

Statistical ecology, hidden Markov models and the management of large carnivores in Europe

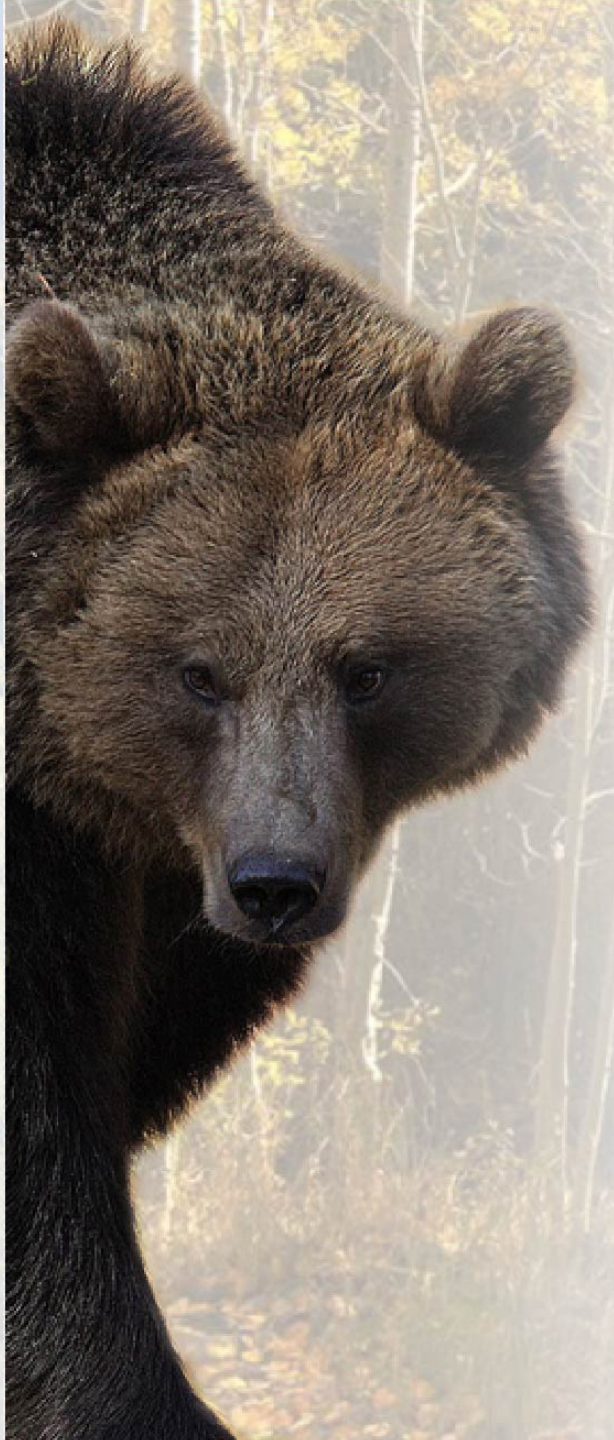
Olivier Gimenez



@oaggimenez



<https://oliviergimenez.github.io/>



Statistical ecology

What is ecology?





**ECOLOGY IS THE STUDY OF
HOW ORGANISMS
INTERACT WITH ONE
ANOTHER AND THEIR NON-
LIVING ENVIRONMENT**

What is statistics?





**STATISTICS IS THE
SCIENCE OF COLLECTING,
ORGANIZING, PRESENTING,
ANALYZING AND DRAWING
CONCLUSIONS FROM DATA**



STATISTICS: THE SCIENCE OF COLLECTING, ANALYZING AND DRAWING CONCLUSIONS FROM DATA



ECOLOGY: THE STUDY OF HOW ORGANISMS INTERACT WITH ONE ANOTHER AND THEIR NON-LIVING ENVIRONMENT

International Statistical Ecology Conference



1-4 JULY 2014 - MONTPELLIER - FRANCE



International Statistical Ecology Conference



1-4 JULY 2014 - MONTPELLIER - FRANCE



BIOLOGY LETTERS

rsbl.royalsocietypublishing.org

Meeting report   CrossMark
click for updates

Cite this article: Gimenez O *et al.* 2014
Statistical ecology comes of age. *Biol. Lett.* **10**:
20140698.

Statistical ecology comes of age

Olivier Gimenez¹, Stephen T. Buckland², Byron J. T. Morgan³, Nicolas Bez⁴, Sophie Bertrand⁴, Rémi Choquet¹, Stéphane Dray⁵, Marie-Pierre Etienne⁶, Rachel Fewster⁷, Frédéric Gosselin⁸, Bastien Mérigot⁹, Pascal Monestiez¹⁰, Juan M. Morales¹¹, Frédéric Mortier¹², François Munoz¹³, Otso Ovaskainen¹⁴, Sandrine Pavoine^{15,16}, Roger Pradel¹, Frank M. Schurr¹⁷, Len Thomas², Wilfried Thuiller¹⁸, Verena Trenkel¹⁹, Perry de Valpine²⁰ and Eric Rexstad²



Accueil

<https://sites.google.com/site/gdrecostat/>

Accueil

▼ Organisation

▼ Actions

▼ Ressources

Liste de diffusion

Annuaire

Contact

Actualités

- 9 - 10 octobre 2023 : 9èmes journées du GDR Ecologie Statistique, Villeurbanne - détails bientôt.

Le GDR EcoStat propose des actions visant à fédérer les scientifiques intéressés par le développement et l'application de méthodes et d'outils statistiques pour répondre aux questions de l'écologie et de la biologie évolutive. Il facilite le transfert de connaissances et les échanges entre biologistes de l'évolution, écologues et statisticiens afin d'améliorer l'analyse et le traitement des données biologiques.

Les principales missions du GDR EcoStat sont

- i) d'évaluer les méthodes statistiques existantes,
- ii) d'explorer l'application de méthodes récentes souvent inconnues des écologues et biologistes de l'évolution,
- iii) de développer de nouvelles approches statistiques et
- iv) d'assurer le transfert de connaissances vers les utilisateurs potentiels de ces méthodes.

Cela passe par un effort sur la communication entre les différentes [thématiques](#) que nous abordons, à l'intérieur du GDR mais aussi à l'extérieur avec toutes les structures ayant un lien avec l'écologie ou les statistiques.

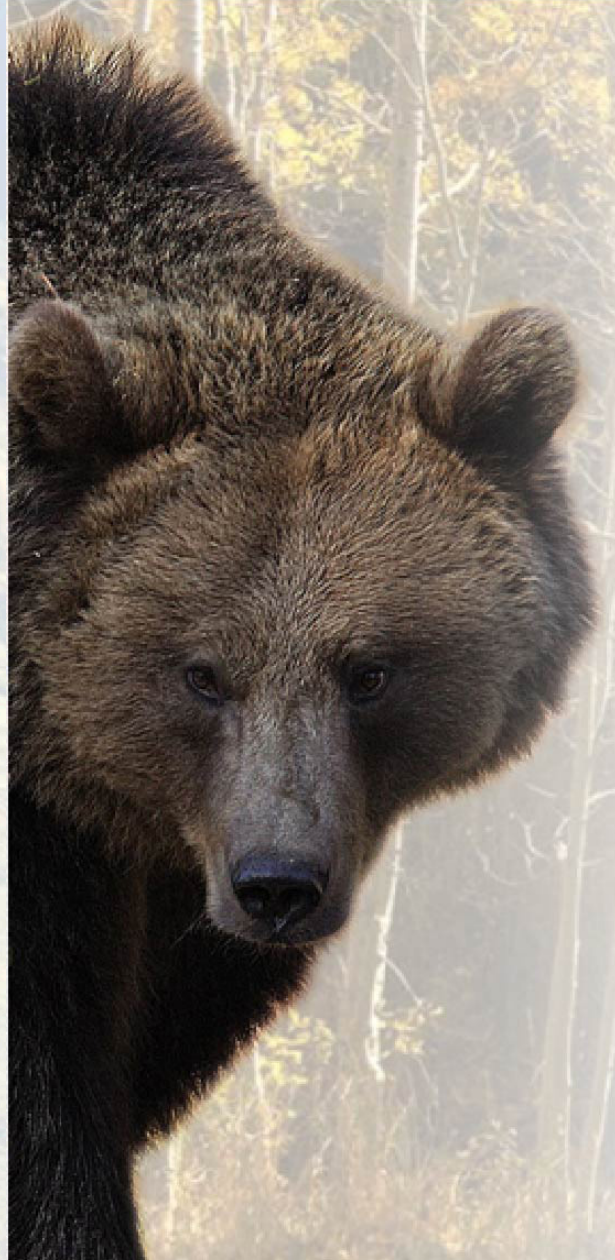
Le GDR a été créé en janvier 2014 (renouvelé en janvier 2018 puis en 2023) et vise à fédérer les différentes forces présentes au niveau national en un réseau structuré. Il soutient l'organisation d'animations scientifiques ([conférence](#), [formations](#), [ateliers](#), etc.) et les échanges entre laboratoires ([bourses de mobilité](#), [annuaire](#), etc.).



Le pilotage du GDR est assuré par son [bureau](#) constitué de Stéphane Dray (co-animateur), Olivier Gimenez (co-animateur), Sakina-Dorothee Ayata, Sonia Kéfi, Valentin Lauret, Marie-Pierre Etienne, François-Marie Martin, Vincent Miele, Wilfried Thuiller et Verena Trenkel.



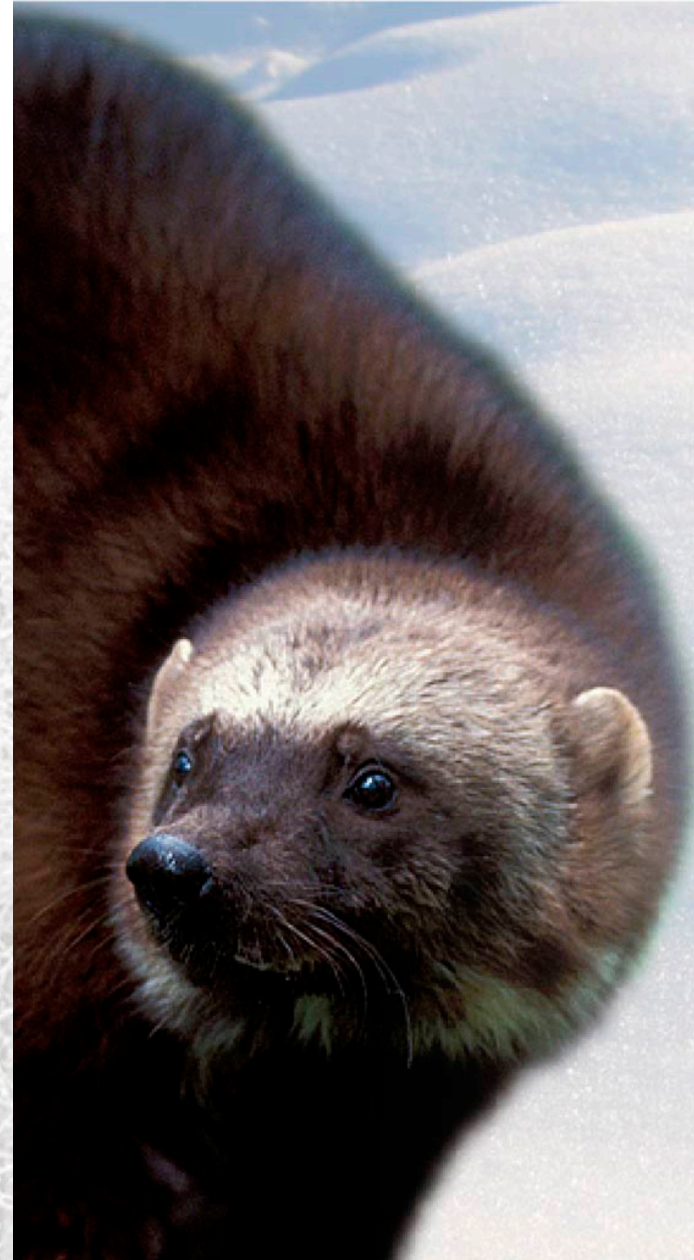
Loup gris



Ours brun

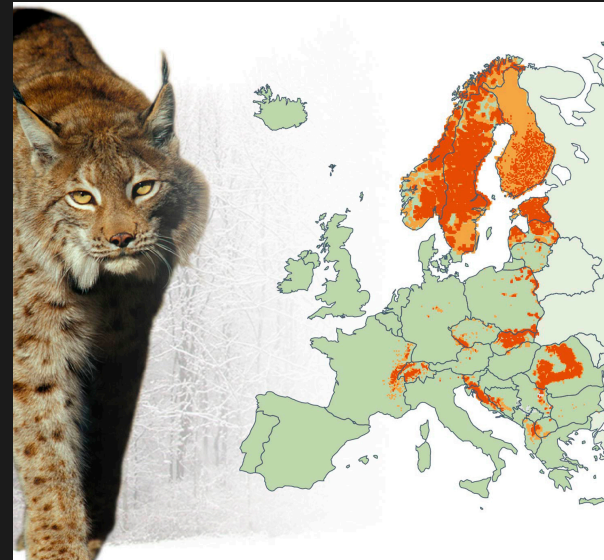


Lynx boréal



Glouton

42 POPULATIONS IN EUROPE





Agricultural abandonment



Ungulates comeback



Law on nature protection



INTERACTIONS COME AT A COST





1. HOW MANY?
2. WHERE?





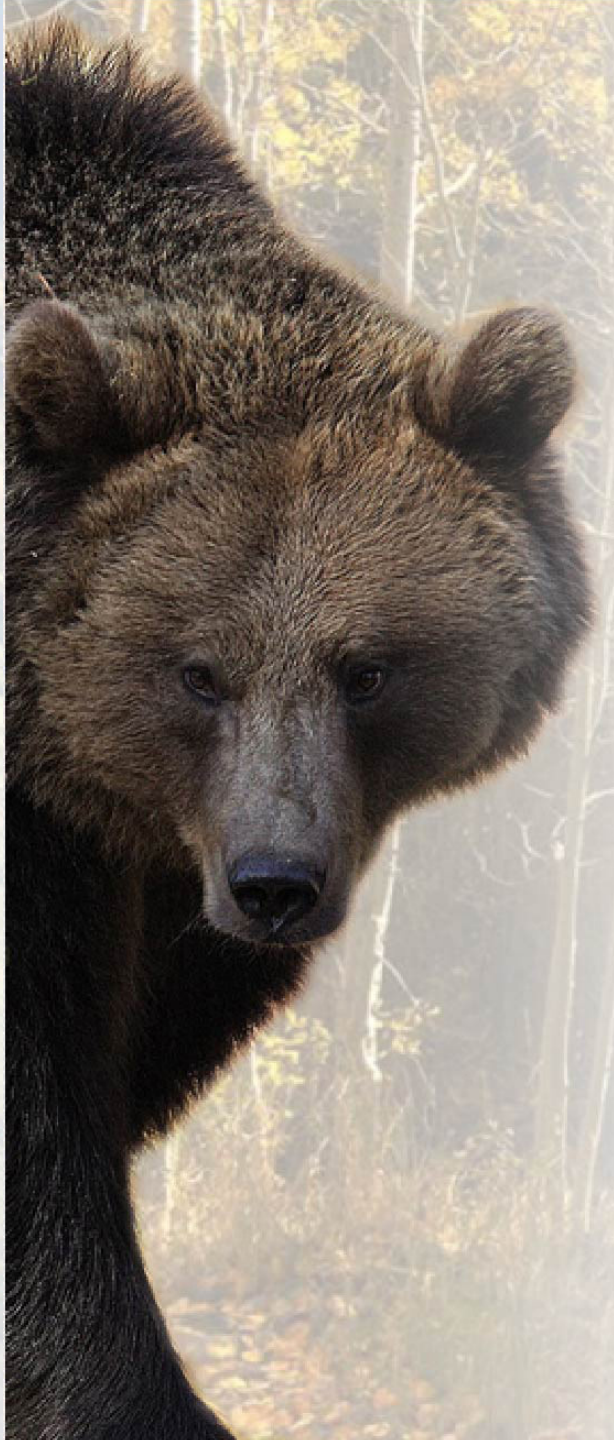




HIDDEN MARKOV MODELS







Ecological questions



1. HOW MANY?
2. WHERE?



COUNTING THINGS IS EASY... OR IS IT?

Population du Royaume, l'île de Corse comprise, suivant l'ordre des généralités, pendant l'année 1783.

NOMBRE qui constatent l'ordre des généralités et provinces.	DÉNOMINATION des généralités du Royaume, l'île de Corse comprise, distinguées en pays d'Élections et en pays d'États, la ville de Paris étant distinguée de la généralité, comme capitale du Royaume.	NAISSANCES.	MARIAGES.	PROFESSIONS en religion.	MORTS			EXCÉDENT des naissances sur les morts.
					dans la société civile.	en religion.	Total des morts.	
	PARIS (ville).....	19 387	4 878	117	18 827	126	18 953	+ 434
	<i>Généralités en pays d'Élections.</i>							
1	Paris.....	45 806	10 285	71	43 158	102	43 260	+ 2 546
2	Orléans.....	28 393	7 105	26	31 803	45	31 848	- 3 455
3	Tours.....	49 517	12 121	47	61 156	96	61 252	- 11 735
4	Poitiers.....	26 816	6 496	45	30 512	48	30 560	- 3 744
5	Bourges.....	22 981	4 423	17	25 687	40	25 727	- 2 749
6	Limoges.....	26 516	6 408	26	26 289	30	26 319	- 107
7	La Rochelle.....	17 756	4 383	18	22 651	24	22 675	- 4 909
8	Bordeaux.....	55 114	18 585	183	49 237	77	49 314	+ 5 800
9	Auch.....	30 289	6 351	31	26 379	25	26 404	- 3 885
10	Montauban.....	22 240	4 980	30	19 679	34	19 713	+ 2 527
11	Grenoble.....	26 848	5 436	34	21 982	42	22 024	+ 4 824
12	Lyon.....	24 218	5 405	26	20 856	60	20 916	- 3 302
13	Riom.....	27 610	5 751	33	23 265	54	23 319	- 4 291
14	Moulins.....	26 188	5 899	15	27 493	37	27 530	- 1 342
15	Châlons.....	32 101	6 856	15	28 526	27	28 553	- 3 548
16	Le Clermontois.....	1 523	286	"	1 175	"	1 175	- 348
17	Soissons.....	17 863	3 997	11	14 976	31	15 007	- 2856
18	Amiens.....	20 872	5 318	19	19 410	31	19 441	- 1 431
19	Rouen.....	28 507	7 266	46	25 989	72	26 061	- 2 446
20	Caen.....	23 999	5 705	29	23 814	47	23 861	- 1 871
21	Alençon.....	19 122	5 010	36	21 749	42	21 791	- 2 669
	<i>Généralités en pays d'États.</i>							
22	Rennes.....	88 401	20 298	86	103 647	178	103 825	- 15 424
23	Perpignan.....	7 090	1 346	3	8 033	9	8 042	- 951
24	Montpellier.....	68 627	13 976	75	59 396	145	59 541	- 9 086
25	Aix.....	28 445	5 925	27	24 816	65	24 881	- 3 564
26	Dijon.....	42 750	9 763	48	43 855	122	43 977	- 1 227
27	Besançon.....	28 388	5 708	31	22 090	69	22 159	- 6 229
28	Strasbourg.....	26 142	5 445	23	20 361	44	20 405	- 5 737
29	Metz.....	14 063	2 587	19	11 521	19	11 540	- 2 523
30	Nancy.....	33 870	6 603	113	28 050	96	28 146	- 5 774
31	Valenciennois.....	10 731	2 527	51	7 817	48	7 865	- 2 897
32	Lille.....	28 189	6 789	130	25 898	171	26 069	- 2 120
33	Île de Corse.....	5 349	1 068	20	4 334	25	4 359	+ 990
	Résultats du Royaume, l'île de Corse comprise.....	975 703	224 890	1 491	946 421	2 081	948 502	- 27 201

Observations. — Les maladies épidémiques dont les généralités de Soissons et d'Amiens ont été affligées pendant l'année 1783 n'ont pas continué en 1784; mais il n'en a pas été de même dans les généralités d'Orléans, de Tours, de Poitiers, de Bourges, de La Rochelle et d'Alençon, où ce fléau a redoublé ses ravages en 1784. La contagion a même gagné dans les généralités de Caen et de Moulins; à l'égard de celle de Bretagne, on ne peut pas attribuer aux seules maladies épidémiques la mortalité de 1783, et elle a dû être accrue par le passage et le séjour successif et continu des troupes, dans de terre que de mer, qui y ont été employées; la ville de Brest ayant toujours été, pendant la dernière guerre, le point de réunion de presque toutes les forces maritimes opposées aux Anglais.

Observations sur le premier Tableau relatif à la population de Paris. — Dans ce premier Tableau, qui représente les naissances, les mariages et les morts, à Paris, depuis 1771 jusqu'en 1781, la colonne horizontale du total comprend, non seulement les naissances, les mariages, les morts et les enfants trouvés dans cet intervalle, mais encore ceux de l'année 1770, et que l'on trouve à la page 34 de nos Mémoires pour l'année 1771; ainsi, cette colonne du total est relative aux quinze années, depuis 1770 inclusivement jusqu'en 1781 exclusivement.

CAPTURE-RECAPTURE: 'POPULATION IN THE KINGDOM, INCLUDING CORSICA ISLAND (...) YEAR 1783.'



Laplace 1784



Alexander Kopatz



Lucile Marescot



Sarah Cubaynes

Single-state capture-recapture model as a HMM

Single-state capture-recapture model as a HMM

Initial states

A *D*

A = alive; D = dead

Single-state capture-recapture model as a HMM

Initial states

A	D
(1	0)

A = alive; D = dead

Single-state capture-recapture model as a HMM

Initial states

A	D
$(1$	$0)$

State process

	A	D	$t+1$
t	A	$\begin{pmatrix} \phi & 1 - \phi \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	
	D		

Markov model

A = alive; D = dead

ϕ = survival

Single-state capture-recapture model as a HMM

Initial states

$$\begin{matrix} A & D \\ (1 & 0) \end{matrix}$$

State process

$$\begin{matrix} & A & D & t+1 \\ t & A & \begin{pmatrix} \phi & 1 - \phi \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Markov model

Observation process

$$\begin{matrix} & 0 & 1 & t \\ t & A & \begin{pmatrix} 1 - p & p \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

hidden

A = alive; D = dead
 ϕ = survival, p = detection

What about individual heterogeneity?

- From a *statistical* point of view, heterogeneity can induce bias in parameter estimates
- From an *ecological* point of view, heterogeneity is of interest – individual quality/behavior

Sources of heterogeneity?

Sources of heterogeneity?

- In wolves, there is a social hierarchy with dominant vs. subordinate individuals.



Sources of heterogeneity?

- In wolves, there is a social hierarchy with dominant vs. subordinate individuals.



- Dominant individuals are more mobile within pack territory and more likely to mark territory with feces & urine.

Rewriting Pledger's model for heterogeneity

Rewriting Pledger's model for heterogeneity

Initial states

$$\begin{array}{ccc} A_1 & A_2 & D \\ (\pi_1 & 1 - \pi_1 & 0) \end{array}$$

A_j = alive in class j ; D = dead

π_j = prop of individual in class j

Rewriting Pledger's model for heterogeneity

Initial states

$$\begin{array}{ccc} A_1 & A_2 & D \\ (\pi_1 & 1 - \pi_1 & 0) \end{array}$$

State process

$$\begin{array}{ccccc} & A_1 & A_2 & D & \mathbf{t+1} \\ \mathbf{t} & A_1 & \left(\begin{array}{ccc} \phi & 0 & 1 - \phi \end{array} \right) & & \\ & A_2 & \left(\begin{array}{ccc} 0 & \phi & 1 - \phi \end{array} \right) & & \\ & D & \left(\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 1 \end{array} \right) & & \end{array}$$

Markov model

A_j = alive in class j ; D = dead

π_j = prop of individual in class j

Moving between classes of heterogeneity

State process

$$\begin{array}{c} \mathbf{t} \\ \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ D \end{array} \end{array} \begin{pmatrix} & A_1 & A_2 & D \\ \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ D \end{array} & \left(\begin{array}{ccc} \phi(1 - \psi_{12}) & \phi\psi_{12} & 1 - \phi \\ \phi\psi_{21} & \phi(1 - \psi_{21}) & 1 - \phi \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \end{pmatrix} \begin{array}{c} \mathbf{t+1} \\ \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ D \end{array} \end{array}$$

A_j = alive in class j ; D = dead

ψ_{ij} transition prob between classes i and j of heterogeneity

Rewriting Pledger's model for heterogeneity

Initial states

$$\begin{array}{ccc} A_1 & A_2 & D \\ (\pi_1 & 1 - \pi_1 & 0) \end{array}$$

State process

$$\begin{array}{cccc} & A_1 & A_2 & D & \mathbf{t+1} \\ \mathbf{t} & A_1 & \begin{pmatrix} \phi & 0 & 1 - \phi \end{pmatrix} & & \\ & A_2 & \begin{pmatrix} 0 & \phi & 1 - \phi \end{pmatrix} & & \\ & D & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & & \end{array}$$

Markov model

Observation process

$$\begin{array}{ccc} & 0 & 1 & \mathbf{t} \\ \mathbf{t} & A_1 & \begin{pmatrix} 1 - p_1 & p_1 \end{pmatrix} & \\ & A_2 & \begin{pmatrix} 1 - p_2 & p_2 \end{pmatrix} & \\ & D & \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} & \end{array}$$

hidden

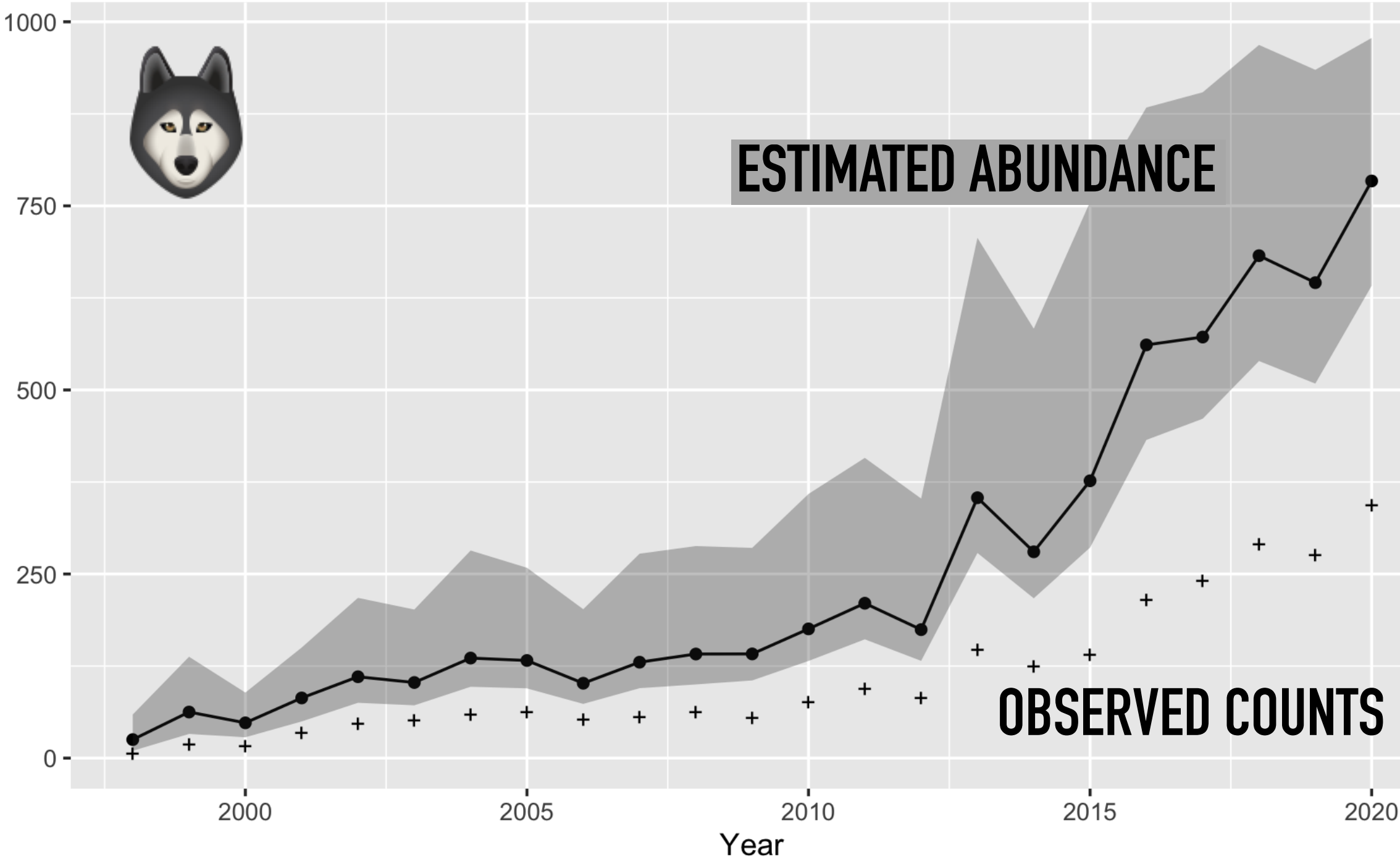
A_j = alive in class j ; D = dead

π_j = prop of individual in class j ; p_j = detection in class j



ESTIMATED ABUNDANCE

OBSERVED COUNTS

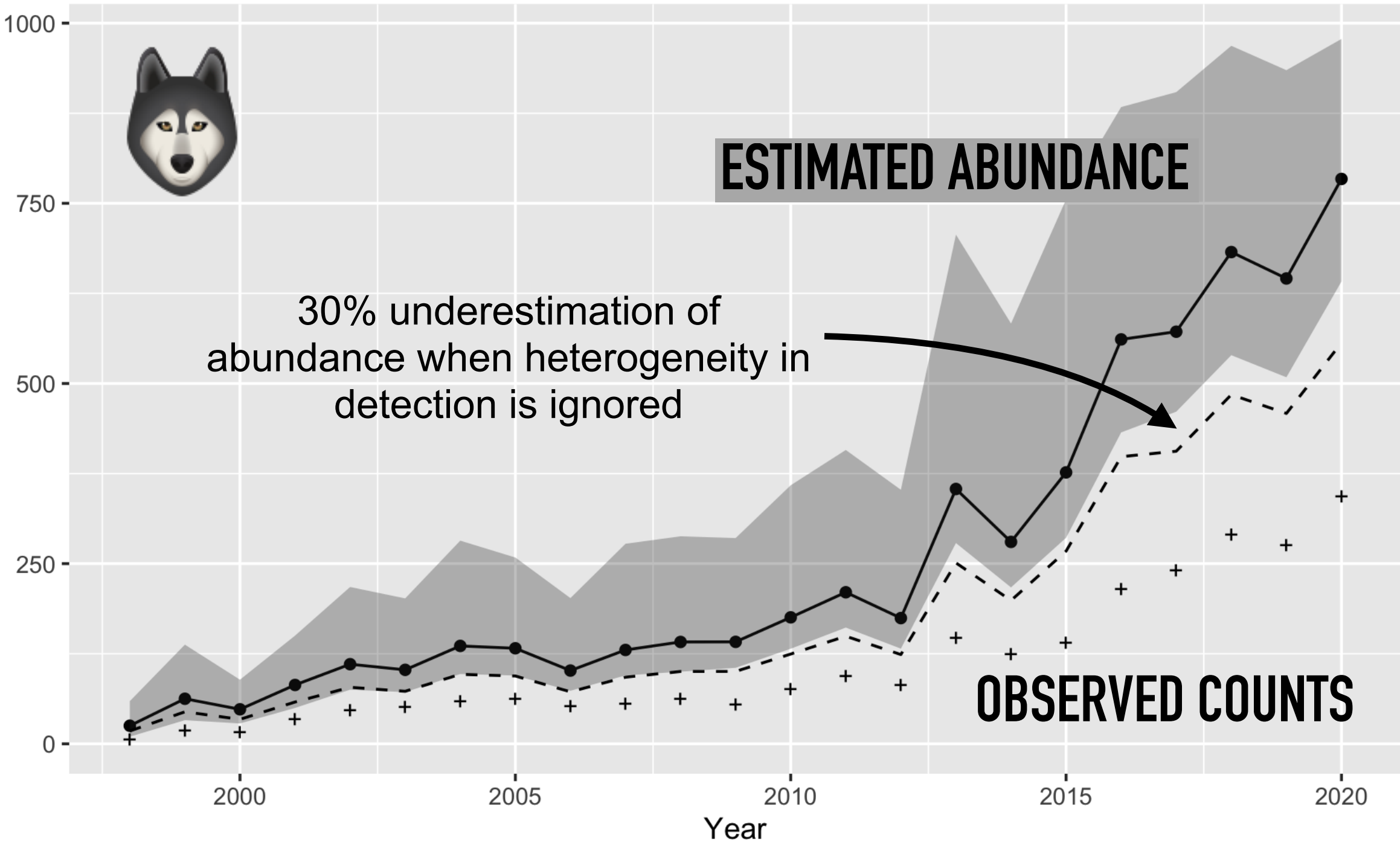


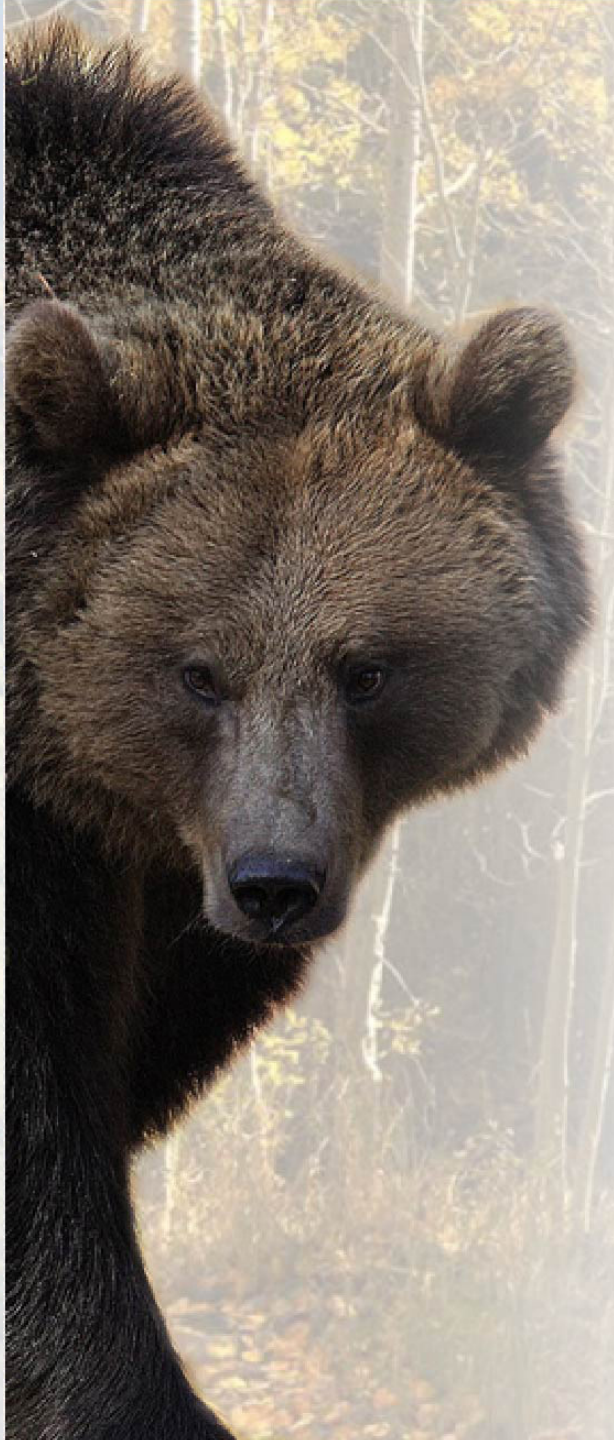


ESTIMATED ABUNDANCE

30% underestimation of abundance when heterogeneity in detection is ignored

OBSERVED COUNTS



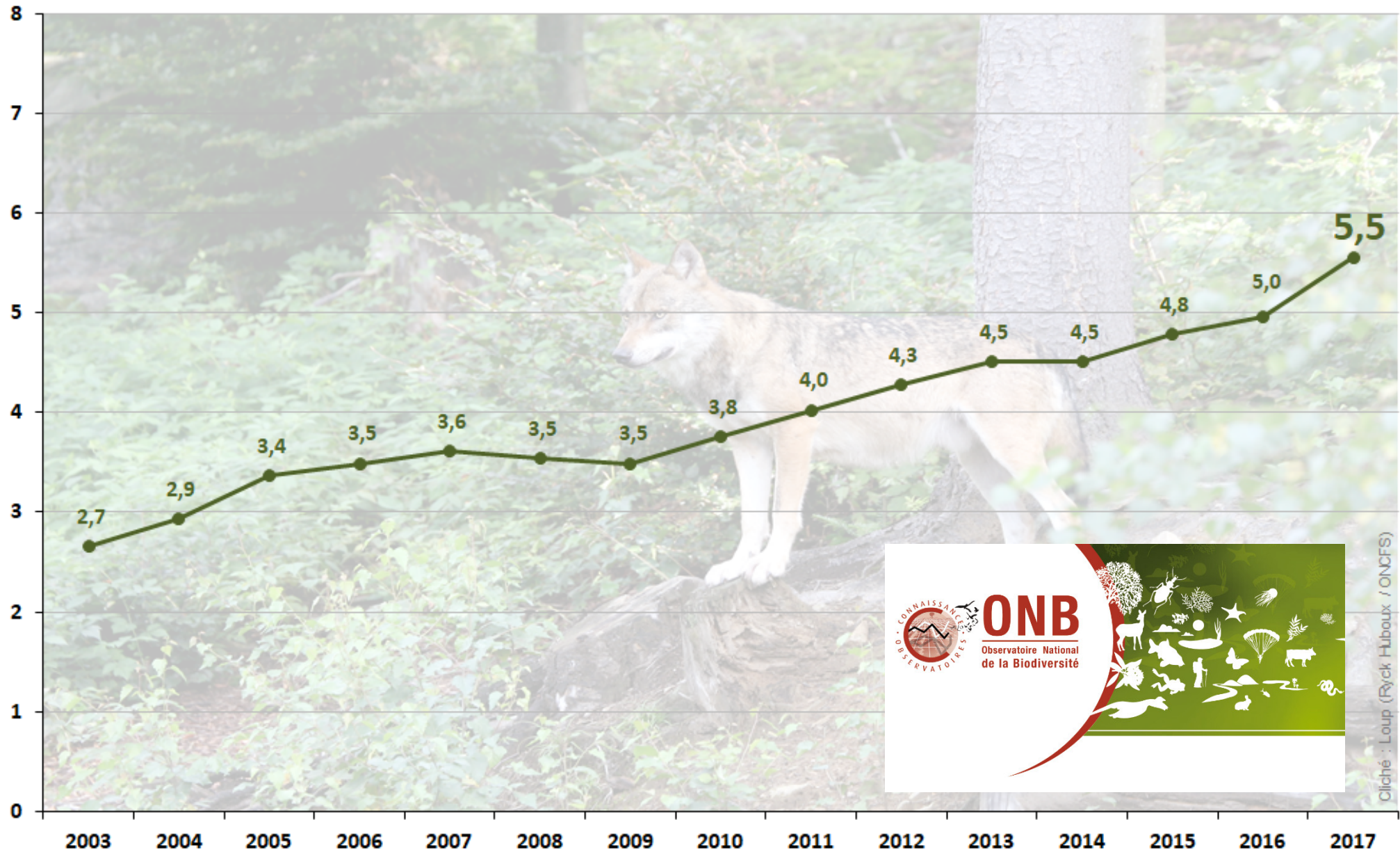


Ecological questions



1. HOW MANY?
2. WHERE?

Proportion in % of France occupied by large carnivores



Cliché : Loup (Ryck Huboux / ONCFS)

Proportion of area = occupancy

0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

True occupancy = 25%

Species detection is imperfect

0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

True occupancy = 25%

0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

Species detected in 6 occupied sites

We underestimate occupancy

0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

True occupancy = 25%

0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1

Species detected in 6 occupied sites

Naive occupancy estimate = $6/40 = 15\%$



HIDDEN MARKOV MODELS

Single-season occupancy model as a HMM

Initial states

U *O*

O = occupied; U = unoccupied

Single-season occupancy model as a HMM

Initial states

$$\begin{matrix} & U & O \\ (1 - \psi_1 & \psi_1) \end{matrix}$$

O = occupied; U = unoccupied

ψ_1 = occupancy

Single-season occupancy model as a HMM

Initial states

$$\begin{matrix} & U & O \\ (1 - \psi_1 & \psi_1) \end{matrix}$$

State process

$$\begin{matrix} & U & O & t+1 \\ t & U & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Markov model

O = occupied; U = unoccupied

ψ_1 = occupancy

Single-season occupancy model as a HMM

Initial states

$$\begin{matrix} & U & O \\ (1 - \psi_1 & \psi_1) \end{matrix}$$

State process

$$\begin{matrix} & U & O & t+1 \\ t & U & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ & O & \end{matrix}$$

Markov model

Observation process

$$\begin{matrix} & 0 & 1 & t \\ t & U & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 - p & p \end{pmatrix} \\ & O & \end{matrix}$$

hidden

O = occupied; U = unoccupied
 ψ_1 = occupancy, p = detection

Static (single-season) occupancy models

ψ_1 = prob. a site is occupied - **occupancy**

p = prob. species is detected (given presence) – **detection**

Dynamic (multi-season) occupancy models

ψ_1 = prob. a site is occupied - **occupancy**

p = prob. species is detected (given presence) – **detection**

γ = prob. unoccupied site becomes occupied – **colonisation**

ε = prob. occupied site becomes unoccupied – **extinction**

Dynamic occupancy model as a HMM

Initial states

$$\begin{matrix} & U & O \\ (1 - \psi_1 & \psi_1) \end{matrix}$$

State process

$$\begin{matrix} & U & O \\ U & \begin{pmatrix} 1 - \gamma & \gamma \end{pmatrix} \\ O & \begin{pmatrix} \epsilon & 1 - \epsilon \end{pmatrix} \end{matrix}$$

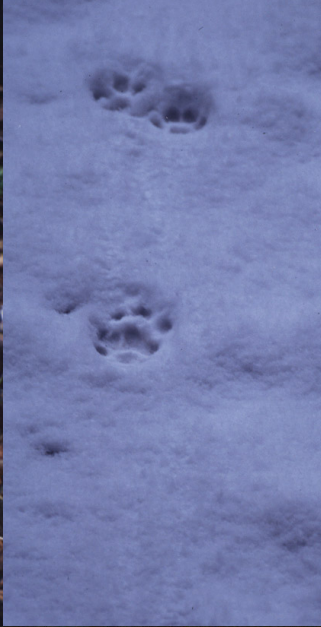
Markov model

Observation process

$$\begin{matrix} & 0 & 1 \\ U & \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \\ O & \begin{pmatrix} 1 - p & p \end{pmatrix} \end{matrix}$$

hidden



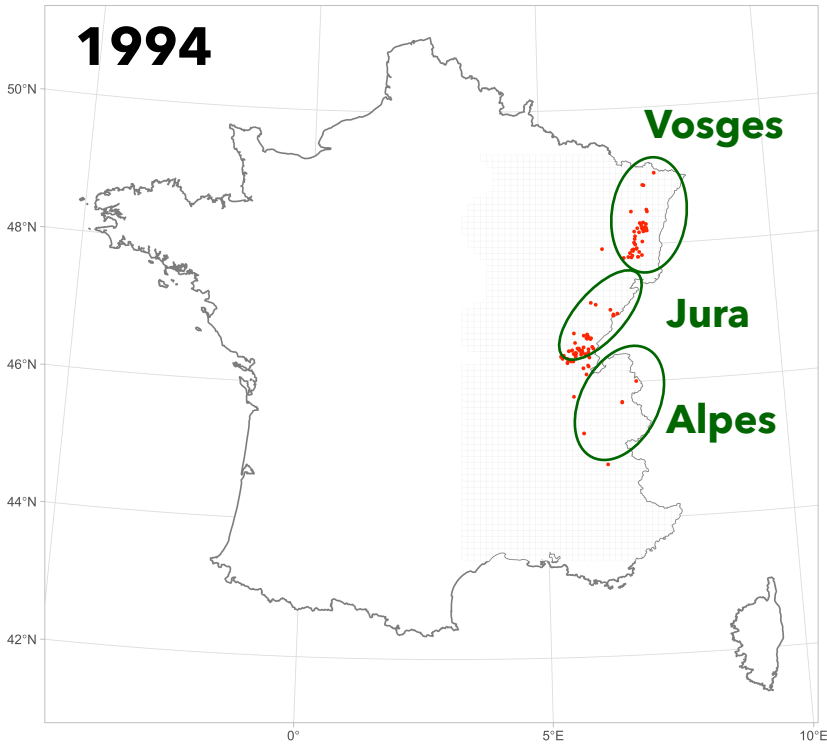


2/12/2006 6:10 AM

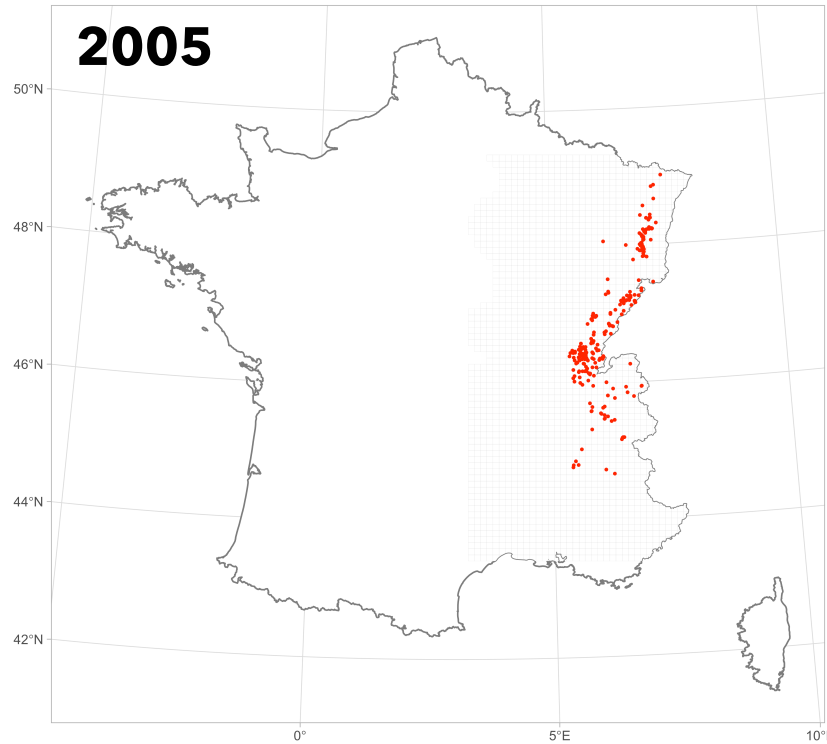
LYNX DETECTIONS



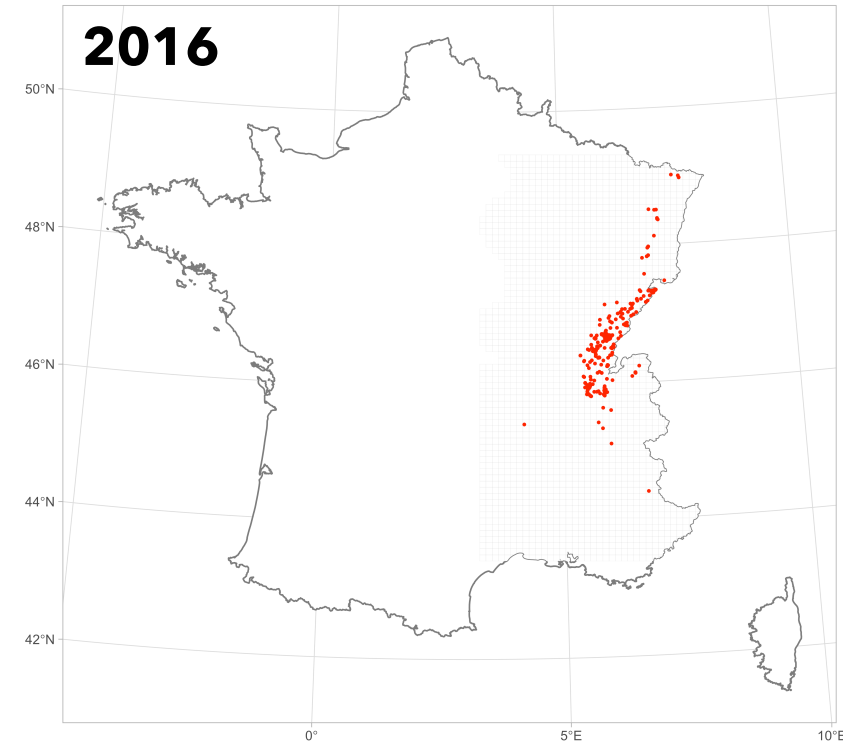
1994



2005



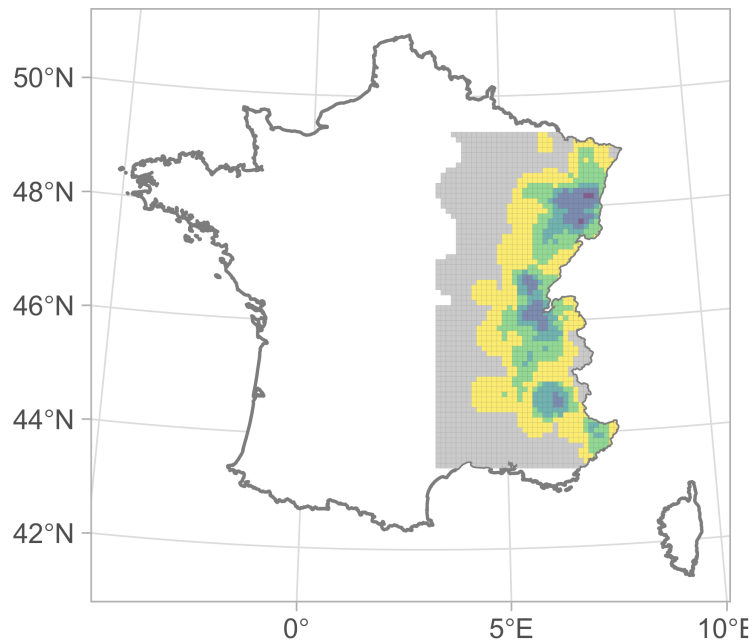
2016



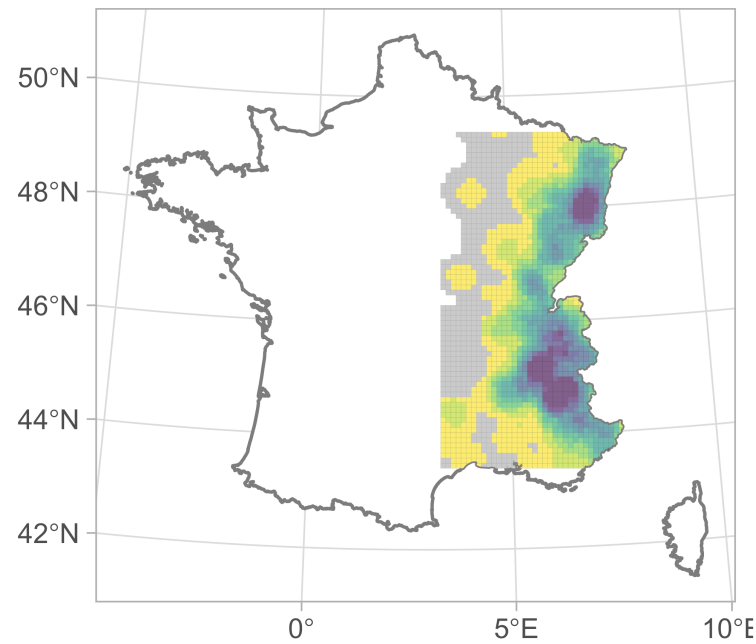
SAMPLING EFFORT



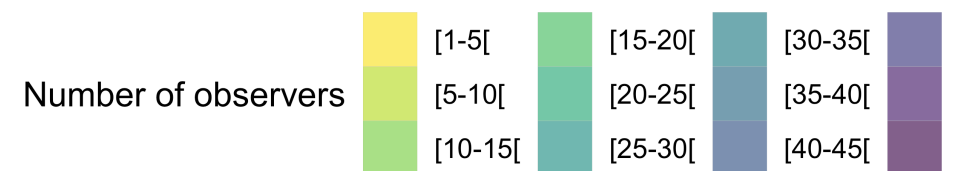
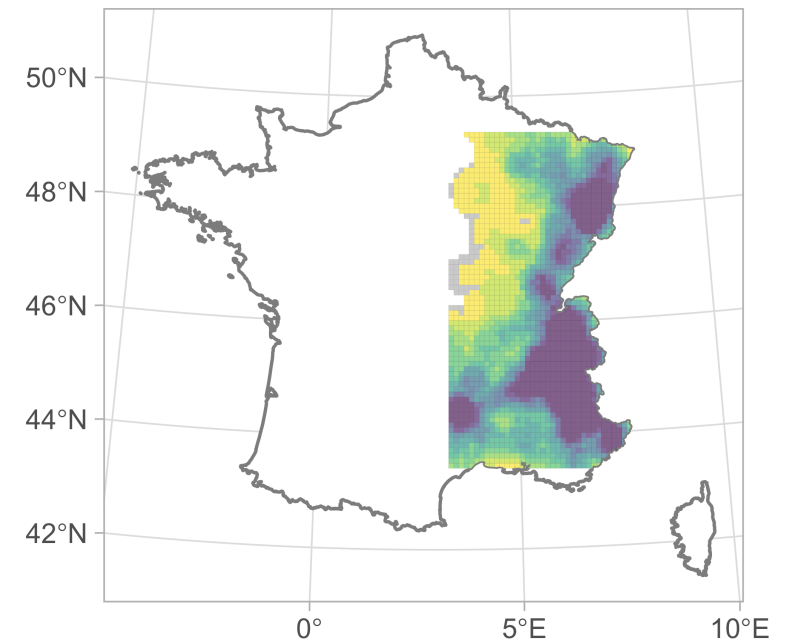
1994



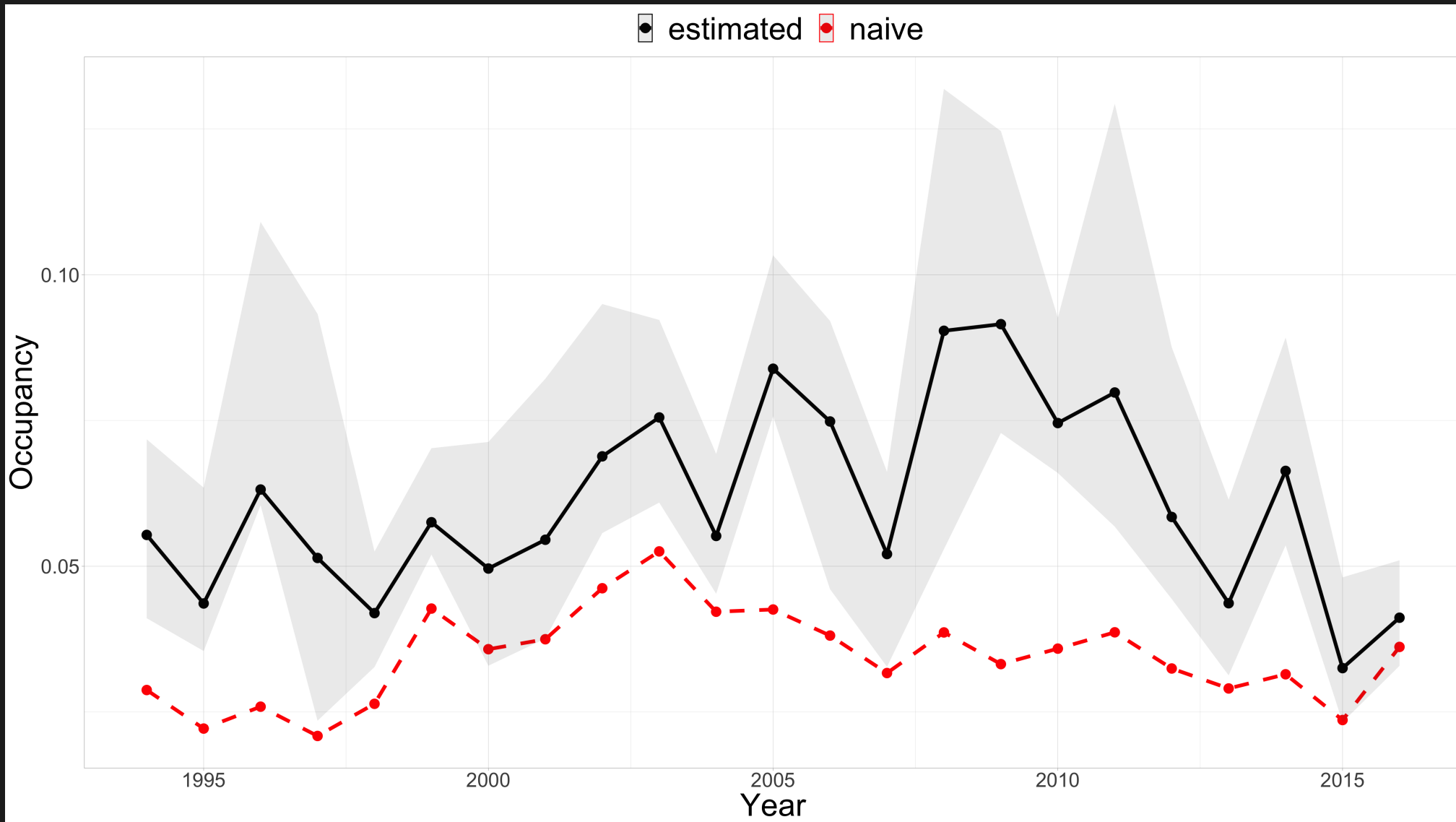
2005



2016



TRENDS IN OCCUPANCY





Valentin Lauret



Julie Louvrier

Use of h
estimat
Applicat
animal

Nina Luisa Sa
Reggioni, Oli

Ecological Modelling 387 (2018) 61–69

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel



ELSEVIER

Accounting for misidentification using hidden Markov models

Julie Louvrier^{a,b,*}, Thierry Chambert^a, Er

^a CEFE, Univ Montpellier, CNRS, Univ Paul Valéry Montpellier 3, EPHE
^b Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, CNERA prédateurs
^c ONCFS, Gières, France

Capture–recapture population detection heterogene

LUCILE MARESCOT,^{1,5} ROGER PRADEL,¹ CHR
RÉMI CHOQUET,¹ CHR

Ecological
© 2011 by

THE JOURNAL OF
**WILDLIFE
MANAGEMENT**

Estimating Admixture at the Population Scale: Taking Imperfect Detectability and Uncertainty in Hybrid Classification Seriously

Nina L. Santostasi , Olivier Gimenez, Romolo Caniglia, Elena Fabbri, Luigi Molinari, Willy Reggioni, Paolo Ciucci



ELSEVIER

Conservation Biology



Conservation Methods

Use of ambiguous detections to improve estimates from species distribution models

Julie Louvrier , Anja Molinari-Jobin, Marc Kéry, Thierry Chambert, David Miller, Fridolin Zimmermann, Eric Marboutin, Paolo Molinari, Oliver Müller, Rok Černe, Olivier Gimenez

First published: 16 July 2018 | <https://doi.org/10.1111/cobi.13191> | Citations: 4

s detections can improve understanding of large-carnivore

ECOGRAPHY

A JOURNAL OF SPACE
AND TIME IN ECOLOGY

Mapping and explaining wolf recolonization in France using dynamic occupancy models and opportunistic data

Julie Louvrier , Christophe Duchamp, Valentin Lauret, Eric Marboutin, Sarah Cubaynes, Rémi Choquet, Christian Miquel, Olivier Gimenez

tion Biology

ing for Detection imating Abundance: es

RÉMI CHOQUET,* CHRISTOPHE DUCHAMP,††

JEAN-MICHEL GAILLARD,‡ JEAN-DOMINIQUE LEBRETON,* ERIC MARBOU
CHRISTIAN MIQUEL¶ ANNE-MARIE REBOULET,* CAROLE POILLOT,¶ PIERRE TABERLET,¶
AND OLIVIER GIMENEZ*

*Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, UMR 5175, Campus CNRS, 1919 Route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 5, France

†Institut de Mathématiques et Modélisation de Montpellier, UMR 5149, place E. Bataillon, F-34095 Montpellier Cedex 5, France

††Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, CNERA Prédateurs et Animaux déprédateurs, Parc Micropolis, F-05000 Gap, France

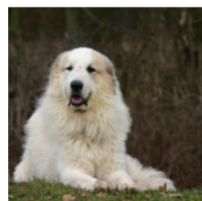
‡Université de Lyon, F-69000, Lyon, Université Lyon 1, Centre National de la Recherche Scientifique, UMR 5558, Laboratoire de Biométrie et Biologie Evolutive, F-69622, Villeurbanne, France

§Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, ZI Mayencin, 5 Allée de Béthléem, F-38610 Gières, France

¶Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR CNRS 5553, Université J. Fourier, BP 53, F-38041 Grenoble Cedex 9, France



Plan national **D'ACTIONS 2018-2023** sur **LE LOUP** et les **ACTIVITÉS D'ÉLEVAGE**

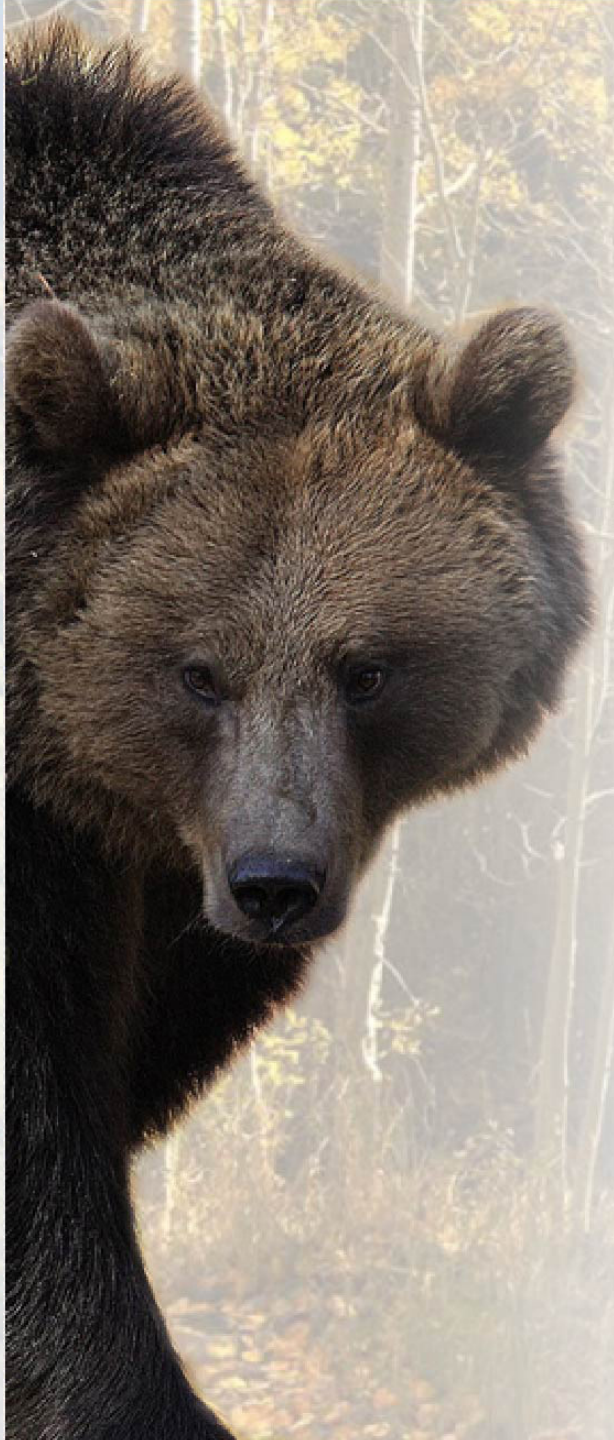


PNA LYNX

Plan National d'Actions
en faveur du lynx boréal
(*Lynx lynx*)

2022
2026

Rétablir le Lynx
dans un état
de conservation favorable
en France



Conclusions

Why HMMs?

- Make natural distinction ecological process vs observation
- Highly modular with complexity broken in smaller problems
- Toolbox of useful methods for estimation and inference
- HMMs as a versatile modelling framework?

A few perspectives for HMMs

- Model evaluation via goodness-of-fit testing
- Continuous time, with focus on citizen science data
- HMMs used a lot in trajectometry; A framework to merge movement ecology and population dynamics?

Indicative bibliography

- Gimenez et al. (2014). Fitting occupancy models with E-SURGE: hidden Markov modelling of presence–absence data. *Methods Ecol. Evol.*, 5, 592–597.
- Gimenez et al. (2012). Estimating demographic parameters using hidden process dynamic models. *Theor. Popul. Biol.*, 82, 307–316.
- Gimenez (2024?). *Bayesian Analysis of Capture-Recapture Data with Hidden Markov Models: Theory and Case Studies in R and Nimble*. CRC Press.
- McClintock et al. (2020). Uncovering ecological state dynamics with hidden Markov models. *Ecology Letters* 23: 1878-1903.
- Pradel, R. (2005). Multievent: An extension of multistate capture-recapture models to uncertain states. *Biometrics*, 61, 442–447.
- Zucchini, W., MacDonald, I.L. & Langrock, R. (2016). *Hidden Markov Models for Time Series: An Introduction Using R*, 2nd edn. Boca Raton: CRC Press.

SCIENCES

STATISTIQUE

Statistique et écologie

**Approches statistiques
pour les variables cachées
en écologie**

sous la direction de
Nathalie Peyrard
Olivier Gimenez

ISTE
editions

SCIENCES

STATISTICS

Statistics and Ecology

**Statistical Approaches
for Hidden Variables
in Ecology**

Coordinated by
Nathalie Peyrard
Olivier Gimenez

ISTE

WILEY

thanks!

Tombow
ABT
Acid Free

N15