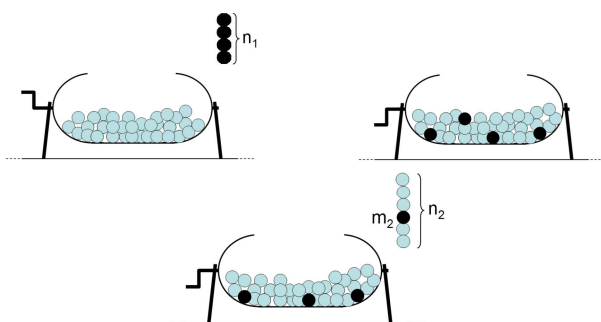


06 / 20

## Méthode CMR



Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

07 / 20

## Taille de la population - indice de Petersen 2 occasions de capture

L'indice de Lincoln Petersen:

- estimateur de la **taille d'une population** étudiée par la méthode de **marquage-recapture** (CMR);
- utilisée à **partir d'un échantillon capturé pendant un temps suffisamment court** durant lequel cette population est considérée comme fixe (la mortalité, la natalité et les mouvements sont négligeables, **populations fermées**);
- utilisée lorsqu'on ne peut pas étudier chacun des individus au sein de la population.

L'estimateur de Lincoln-Petersen est calculé à chaque session de captures.

$$\frac{m_2}{n_2} = \frac{n_1}{N}$$

où  
 $N$  est le nombre d'individus de la population totale;  
 $n_1$  est le nombre d'individus marqués dans la période de marquage 1;  
 $n_2$  est le nombre total d'animaux capturés dans la période de recapture;  
 $m_2$  est le nombre d'animaux marqués recapturés dans la période de recapture.

$$\hat{N} = \frac{n_1 n_2}{m_2}$$

$$\hat{p}_1 = \frac{m_2}{n_2} \quad \hat{p}_2 = \frac{n_1}{N}$$

Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

08 / 20

## Taille de la population - correction de Chapman 2 occasions de capture

Estimation de la taille population

$$\hat{N} = \frac{(n_1 + 1)(n_2 + 1)}{(m_2 + 1)} - 1$$

Estimation de la variance

$$\text{var}_{\hat{N}} = \frac{(n_1 + 1)(n_2 + 1)(n_1 - m_2)(n_2 - m_2)}{(m_2 + 1)^2 (m_2 + 2)}$$

Estimation de l'erreur type

$$\text{SE}_{\hat{N}} = \sqrt{\text{var}_{\hat{N}}}$$

Estimation de variation

$$\text{CV}_{\hat{N}} = \frac{\text{SE}_{\hat{N}}}{\hat{N}}$$

Minimiser les biais pour des échantillons petits

où  
 $N$  est le nombre d'individus de la population totale;  
 $n_1$  est le nombre d'individus marqués dans la période de marquage 1;  
 $n_2$  est le nombre total d'animaux capturés dans la période de recapture;  
 $m_2$  est le nombre d'animaux marqués recapturés dans la période de recapture.

Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

09 / 20

## Taille de la population - correction de Chapman 2 occasions de capture

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
Alpha	1	0
Bravo	1	1
Charlie	1	1
Delta	1	0
Echo	1	1
Foxtrot	1	0
Golf	1	0
Hotel	1	0
India	0	1
Juliet	0	1
Kilo	0	1
	8	6

$$n_1 = 8 \quad n_2 = 6 \quad m_2 = 3$$

$$\hat{N} = \frac{(8+1)(6+1)}{(3+1)} - 1 = 14.75 = 15$$

$$\text{var}_{\hat{N}} = \frac{(8+1)(6+1)(8-3)(6-3)}{(3+1)^2 (3+2)} = 11.81$$

$$\text{SE}_{\hat{N}} = \sqrt{11.81} = 3.43$$

$$\text{CV}_{\hat{N}} = \frac{3.43}{14.75} = 0.23$$

Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

10 / 20

## Taille de la population Modèle avec 2 occasions de capture

- Hypothèse d'une population **fermée**.  
Les naissances, les morts, l'émigration et l'immigration affectent la **probabilité de capture**.
  - Hypothèse de l'égalité des **probabilités de capture**: peu réaliste dans de nombreuses populations sauvages.
    - L'**hétérogénéité de capture**: certains individus sont plus "attrapables" que d'autres, certains sont plus "marqués" que d'autres, les individus ne sont pas distribués aléatoirement dans leur biotope.
    - La **réponse à la capture**: les individus déjà capturés voient leur probabilité de capture diminuer ("trap-shy" - sur-estimation) ou augmenter ("trap-happy" sous-estimation) lors de la capture suivante.
- Le changement de **probabilité de capture** entraîne toujours un biais dans l'estimation de  $N$ .

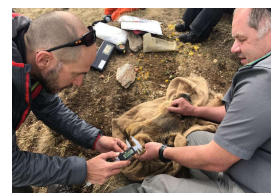
Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

11 / 20

## Taille de la population modèles à partir de captures multiples

Captures associées à d'autres informations:

- animal déjà capturé
- informations sur l'individu:
  - âge,
  - sexe,
  - conditions corporelles (poids, hormones,...)
- informations sur l'effort de capture



Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

12 / 20

## Taille de la population modèles à partir de captures multiples



Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
357_R	1	0	1	0	1	0	0	0	0
358_R	0	0	1	0	1	1	0	0	1
359_R	1	1	0	0	1	0	0	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

où 0: individu non observé; 1: individu observé.

Sexe	Classe d'âge	...
F	adult	...
M	sub-adult	...
M	calf	...
...	...	...

??? L'absence de capture ne signifie pas la mort de l'animal

Calcul de la probabilité de capture

Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

13 / 20

## Particularités de la photo-identification

- Marquage naturel ☹️  
pas d'effets de marquage sur la probabilité de capture ☹️
- Marques uniques et stables ☹️  
certains individus mal marqués ☹️  
certaines marques peuvent changées ☹️
- Reconnaissance des marques n'est pas systématique et totalement fiable ☹️  
dépend du type des marques  
qualité des photos
- Probabilité de capture varie en fonction des animaux ☹️  
probabilité d'être rencontré, photographié et reconnu



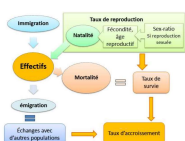
Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

14 / 20

## Taille de la population modèles à partir de captures multiples

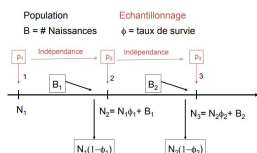
**Modèles de populations fermées**  
Étude à très court terme ( $N$  est stable)  
Prend en compte l'hétérogénéité de  $p$

**Modèles de populations ouvertes**  
Étude à long terme ( $N$  varie)  
Ne prend pas en compte l'hétérogénéité de  $p$   
Utilisés pour estimer les taux de survie



Représentation schématique de l'évolution d'une population ouverte.

$\phi$  (survie) ( $1-\phi$ =mortalité)  
 $B$  (naissance)  
 $p$  (probabilités de capture) dépendent du mécanisme d'observation

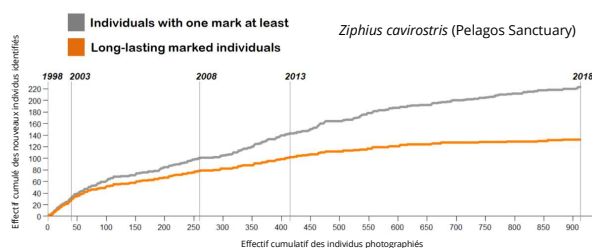


Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

15 / 20

## Courbe de découverte

Indications sur le niveau de marquage de la population  
Indications sur la qualité du suivi



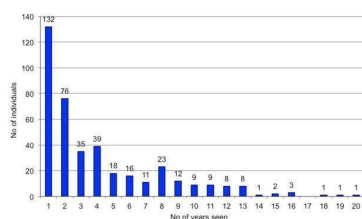
Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

16 / 20

## Nombre de captures par animal identifié

*Balaenoptera musculus* (Canada)

Attention:  
la probabilité de capture dépend des individus non capturés (quand  $x=0$ )

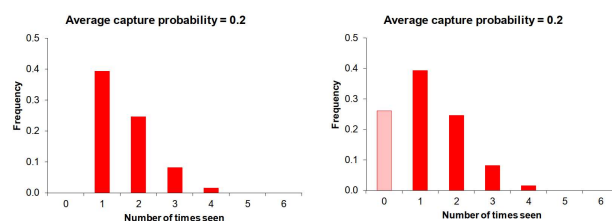


Ramp C., Sears R. (2012)

Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

17 / 20

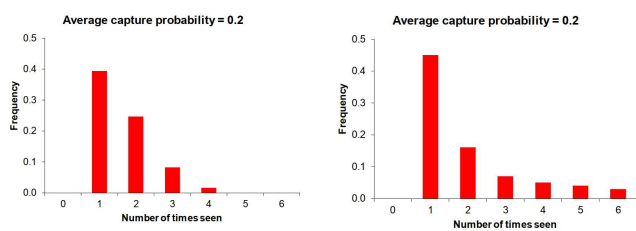
## Probabilités de capture



Joint workshop on Estimating Cetaceans' Abundance  
Bizerte, (Tunisia) 25-28 February 2019

18 / 20

## Probabilités de capture



## Probabilités de capture

