

Thème 3 : une histoire du vivant

3.1 La biodiversité et son évolution

**Estimer une abondance par la méthode de capture marquage recapture fondée sur le calcul d'une quatrième proportionnelle. A l'aide d'un tableur, simuler des échantillons de même effectif pour visualiser la fluctuation d'échantillonnage. En utilisant une formule donnée pour un intervalle de confiance à 95%, estimer un paramètre inconnu dans une population de grande taille à partir des résultats observés sur un échantillon. (voir page 158 jusqu'à 161).**

*Contenu maths et statistiques : notion de proportionnalité / notion de fluctuation d'échantillonnage / notion d'intervalle de confiance à 95% / notion d'estimation d'une proportion dans une population à partir d'observations faites sur un échantillon*

La méthode « capture-marquage-recapture » ou « CMR » désigne une méthode statistique couramment utilisée en écologie pour estimer la taille d'une population animale. Une partie de la population que l'on veut représentative est capturée, marquée et relâchée. Ultérieurement, une autre partie est capturée et le nombre d'individus marqués dans l'échantillon est compté. Le nombre d'individus marqués dans le second échantillon étant proportionnel au nombre d'individus marqués dans la population totale, une estimation de la taille de la population totale peut être obtenue en divisant le nombre d'individus marqués par la proportion d'individus marqués dans le second échantillon. Cette méthode se montre la plus utile quand il est difficile de compter individuellement tous les individus d'une population et qu'il faut donc recourir à une estimation statistique.

Dans la situation proposée ci-dessous, déterminer la valeur de  $N$ , l'effectif (ou abondance) de papillons...

**3 Méthode dite de capture-marquage-recapture**

Effectif de papillons  $N$  inconnu.

$M = 8$

$M$  individus de la population d'effectif  $N$  inconnu sont capturés au hasard et marqués par une tache.

Les individus marqués sont ensuite relâchés dans leur milieu.

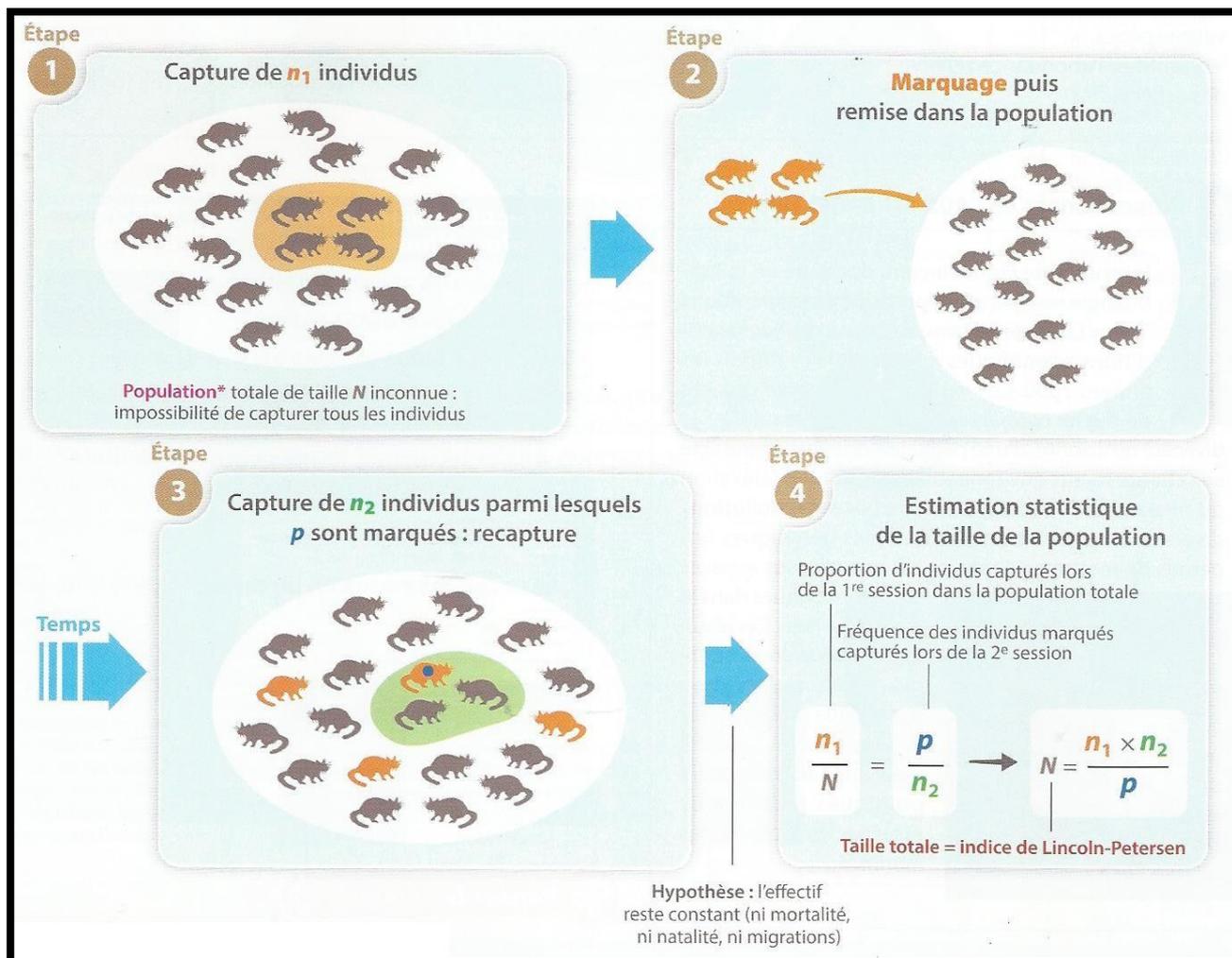
Lors d'une deuxième capture au hasard de  $n$  individus, on dénombre le nombre  $m$  d'individus marqués.

$n = 9$   
 $m = 3$

Principe de la méthode de capture-marquage-recapture

Si on suppose que la proportion des individus marqués dans la population totale et dans la population recapturée est conservée,  $N$  peut être estimé à partir de  $M$ ,  $m$  et  $n$ .

	Papillons (marqués ou non)	Papillons marqués
Effectif de la population	$N$ inconnu Estimation recherchée	$M$
Effectif dans l'échantillon recapturé	$n$	$m$



### Exercice d'application directe



Individus *Eumetopias jubatus*.

Une équipe scientifique souhaite estimer l'effectif d'une population de lions de mer de Steller *Eumetopias jubatus*, une espèce classée « quasi menacée » par l'organisme UICN.

Pour cela, ils ont accès à des données de capture/marquage/recapture dans une zone du nord de l'Océan Pacifique : 57 individus ont été capturés et marqués lors d'une première étude. Un an plus tard, 48 individus ont été capturés dont 19 marqués.

► À partir de ces données et après avoir présenté le principe de la technique utilisée, estimer la taille de la population étudiée.

Exercice d'application moins directe

L'étang de l'Or et ses marges ont été désignés sites Natura 2000 au titre des directives européennes « Habitats » (1992) et « Oiseaux » (1979). Leur périmètre commun s'étend sur 7025 hectares et concerne huit communes de l'Hérault et une commune du Gard pour partie. Les inventaires naturalistes de 2007 ont montré que les marais de l'étang de l'Or abritent la plus importante population naturelle de cistudes d'Europe (voir ci-contre) connue dans le département de l'Hérault.



Un suivi des effectifs de population a été réalisé par la mise en œuvre sur 4 ans (2015-2018) d'une campagne de capture-marquage-recapture (CMR)

Les individus ont été capturés à l'aide de nasses, de verveux ou encore de cages-pièges utilisées pour la capture des tortues exotiques. Les deux premiers systèmes de piégeage sont munis de flotteurs afin qu'une partie des pièges reste toujours émergée pour éviter la noyade des individus capturés. La cage-piège est conçue de telle sorte qu'une partie reste toujours émergée. Différentes tailles existent afin que la cage soit adaptée à la configuration des sites de piégeage. Le marquage des individus se fait par l'intermédiaire d'encoches réalisées sur la carapace à l'aide d'une lime selon un système de notation normé. Le protocole de capture était basé sur trois jours de capture successifs répétés au cours de trois sessions séparées par trois semaines d'intervalle.

L'utilisation de modèles de type Capture-Marquage-Recapture (CMR par la suite) en population fermée permet d'estimer la taille d'une population échantillonnée à plusieurs dates au cours d'une même saison de reproduction (Otis et al, 1978). Ces modèles posent l'hypothèse d'une survie locale de 100% au cours de la saison (pas de mortalité, pas d'émigration), qu'il n'y a pas non plus de recrutement local (pas de natalité, pas d'immigration) et que la zone est prospectée de manière homogène au cours des sessions de capture. Compléter les cases vides de la ligne « effectif total estimé » des tableaux proposés ci-dessous.

**Les tableaux ci-dessous présentent les résultats des CMR sur 3 sites d'études.**

**NB : les données ont été aménagées et simplifiées. Les données brutes sont accessibles dans la source bibliographique.**

Année	Marais Candillargues					Marais du Grès St Nazaire					Marais Tartuguien Lansargus				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Animaux capturés et marqués en C1	84	32	28	pas de données	pas de données	84	66	64	48	62	pas de données	42	76	69	100
Animaux marqués C1 et recapturés en C2	28	3	3			23	13	10	6	12		8	15	14	25
Animaux recapturés en C2	40	6	9			27	19	23	15	21		17	27	28	39
Effectif total estimé															

D'après : Guillem Astruc & Aurélien Besnard Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive  
UMR 5175 - Montpellier -  
**Suivi pluriannuel de la population de Cistude d'Europe sur les marges de l'étang de l'Or (2014-2018) – Janvier 2019**

## Vers la notion d'intervalle de confiance

On considère une population de grande taille pour laquelle la proportion d'un caractère, notée  $p$ , est inconnue.

### DÉFINITION

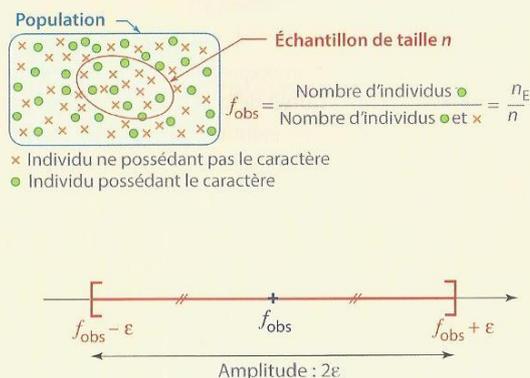
L'intervalle de confiance  $IC$  à un niveau de confiance donné est l'intervalle défini par :

$$IC = [f_{\text{obs}} - \varepsilon ; f_{\text{obs}} + \varepsilon] \text{ où } \varepsilon \text{ est la marge d'erreur.}$$

Cette marge d'erreur dépend de la fréquence observée  $f_{\text{obs}}$  du caractère dans l'échantillon, de la taille  $n$  de l'échantillon et du niveau de confiance fixé :

$$\varepsilon = k \sqrt{\frac{f_{\text{obs}}(1-f_{\text{obs}})}{n}}$$

Pour un niveau de confiance de 95 %,  $k$  est égal à 1,96.  
Pour un niveau de confiance de 99 %,  $k$  est égal à 2,58.



On s'intéresse à la proportion d'un caractère dans une population. Pour ce faire, on prélève un échantillon : si un individu possède ce caractère, alors on note « 1 » ; sinon on note « 0 ». Suite à un prélèvement, on a obtenu le résultat suivant :

« 00101010001100111000101101001000100 ».

**1.** Préciser la taille de l'échantillon  $n$  et le nombre d'individus  $n_E$  possédant le caractère dans cet échantillon. En déduire la fréquence observée  $f_{\text{obs}}$  du caractère.

**2.** Calculer la marge d'erreur  $\varepsilon$  et déterminer l'intervalle de confiance  $IC$  au niveau de confiance 95 % associé à cet échantillon.

**3.** Dans des conditions similaires, on a prélevé un autre échantillon dont voici le résultat : « 11001000001110100110001000011101000001111000000111001011000000111000000100 ».

Répondez aux questions **1** et **2** pour cet échantillon.

**4.** Comparez l'amplitude des deux intervalles de confiance.

### Exercice d'application directe

La vallée de l'Orongorongo est confrontée à la présence de rats noirs. Un petit site de la vallée est pris pour étude.

1. Estimer la taille de la population sur ce site en 2003 puis en 2004.

Après une campagne de dératisation dans la vallée, sur 200 rats retrouvés morts, 100 présentent des signes d'empoisonnement.

2. Déterminer l'IC pour un niveau de confiance de 95% contenant la proportion de la population de rat mort par empoisonnement.

Le gouvernement néo-zélandais considère que cette estimation basée sur un échantillon de 200 rats morts n'est pas assez fiable.

3. Calculer le nombre minimum de rats devant être échantillonnés pour avoir un intervalle de confiance à 95% présentant une amplitude de 6% seulement.

4. Et pour avoir un intervalle de confiance à 95% présentant une amplitude de 2% seulement ?

### 1 Résultats de CMR sur la période 2003-2004 dans la vallée d'Orongorongo

	Session de 2003	Session de 2004
Individus capturés en début de session	34	28
Individus capturés en fin de session	52	60
Individus marqués dans la recapture	26	24

### 2 Calcul de l'intervalle de confiance (IC) pour un niveau de confiance de 95%

$$IC = [f - \varepsilon ; f + \varepsilon] \text{ où } \varepsilon = 1,96 \times \sqrt{\frac{f \times (1-f)}{n}}$$

$f$  : fréquence observée du caractère dans l'échantillon  
 $n$  : taille de l'échantillon

FOCUS MATHS p. 200

## Utilisation de l'intervalle de confiance dans un processus de CMR

### Situation 1

La vallée de l'Orongorongo est confrontée à la présence de rats noirs.

1. Estimer l'abondance de la population sur ce site en 2003.
2. Estimer l'abondance de la population sur ce site en 2004.

On souhaite affiner ces deux estimations en tenant compte de la notion d'intervalle de confiance à 95% rappelée ci-contre.

3. Déterminer un encadrement de la taille de la population en 2003.
4. Déterminer un encadrement de la taille de la population en 2004.

**1 Résultats de CMR sur la période 2003-2004 dans la vallée d'Orongorongo**

	Session de 2003	Session de 2004
Individus capturés en début de session	34	28
Individus capturés en fin de session	52	60
Individus marqués dans la recapture	26	24

**2 Calcul de l'intervalle de confiance (IC) pour un niveau de confiance de 95%**

$$IC = [f - \varepsilon ; f + \varepsilon] \text{ où } \varepsilon = 1,96 \times \sqrt{\frac{f \times (1-f)}{n}}$$

*f* : fréquence observée du caractère dans l'échantillon  
*n* : taille de l'échantillon

**FOCUS MATHS** p. 200

### Situation 2

Dans la situation proposée ci-dessous, on souhaite estimer la valeur de N de l'abondance de papillons.

- Lors de la première capture, M=80 papillons ont été marqués par une tache puis relâchés,
- Lors de la deuxième capture, n=90 papillons ont été recapturés, dont m=30 étaient marqués.

En détaillant votre raisonnement, commencer par estimer l'abondance de cette population de papillon puis proposer un encadrement de cette abondance en vous basant sur un intervalle de confiance à 95%.

Effectif de papillons *N* inconnu.

*M* individus de la population d'effectif *N* inconnu sont capturés au hasard et marqués par une tache.

Les individus marqués sont ensuite relâchés dans leur milieu.

Lors d'une deuxième capture au hasard de *n* individus, on dénombre le nombre *m* d'individus marqués.

Principe de la méthode de capture-marquage-recapture