

Ecologie des Populations des petits Cétacés au sein des eaux Atlantiques Françaises

Sous la codirection de **Matthieu AUTHIER** et **Vincent RIDOUX**



De quoi s'agit-il ?

Dans quel contexte ?

Comment ?

Quelles sorties ?

En définitive ?

Et maintenant ?

Ecologie des Populations des petits Cétacés au sein des eaux Atlantiques Françaises

Sous la codirection de **Matthieu AUTHIER** et **Vincent RIDOUX**

Partie 1

- Développer une **Méthodologie**
- Produire des **tables de vie**
- **Projeter** l'évolution des populations

Partie 2

- Estimer le **risque** de Capture
- Quantifier le **nombre** de Captures

Partie 3

- Définir un **seuil** de capture
- Appuyer les politiques de **conservation**

Dynamique des populations / Conservation



De quoi s'agit-il ?

Dans quel contexte ?

Comment ?

Quelles sorties ?

En définitive ?

Et maintenant ?

Ecologie des Populations des petits Cétacés au sein des eaux Atlantiques Françaises

Sous la codirection de **Matthieu AUTHIER** et **Vincent RIDOUX**

Partie 1

- Développer une Méthodologie
- Produire des tables de vie
- Projeter l'évolution des populations

Propos de la présentation

Le développement et la validation d'une méthodologie



De quoi s'agit-il ?

Dans quel contexte ?

Comment ?

Quelles sorties ?

En définitive ?

Et maintenant ?

Modéliser la survie à partir de données d'âge à la mort : **Cadre de régression linéaire mixte**

De quoi s'agit-il ?


Dans quel contexte ?

Comment ?

Quelles sorties ?

En définitive ?

Et maintenant ?



Modéliser la survie à partir de données d'âge à la mort :

Cadre de régression linéaire mixte



Modéliser la survie :
Pourquoi le faire et **comment** le faire ?

Les taux vitaux

Taux démographiques

→ Indices statistiques mesurant les changements qui affectent une population

Survie cumulée (Survivorship)

→ Fonction de Survie $S(t) = P(X > t)$ avec $t \geq 0$

Hazard ou Risque de défaillance

→ Fonction de Hazard $h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$ avec $S(t) > 0$

Les taux vitaux

Taux démographiques

→ Indices statistiques mesurant les changements qui affectent une population

Survie cumulée (Survivorship)

→ Fonction de Survie $S(t) = P(X > t)$ avec $t \geq 0$

Hazard ou Risque de défaillance

→ Fonction de Hazard $h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}$ avec $S(t) > 0$

Tables de vie



Année	Nombre de survivants	Risque instantané	Nombre de décès dans l'année	Nombre cumulé de décès	Taux cumulé de mortalité	Taux de survie
t	$n(t)$	$h(t)$			$F(t)$	$S(t)$
1	200	0.1	20	20	10.0%	90.0%
2	180	0.1	18	38	19.0%	81.0%
3	162	0.1	16	54	27.1%	72.9%
4	146	0.1	15	69	34.4%	65.6%
5	131	0.1	13	82	41.0%	59.0%
6	118	0.1	12	94	46.9%	53.1%
7	106	0.1	11	104	52.2%	47.8%
8	96	0.1	10	114	57.0%	43.0%
9	86	0.1	9	123	61.3%	38.7%
10	77	0.1	8	130	65.1%	34.9%
11	70	0.1	7	137	68.6%	31.4%
12	63	0.1	6	144	71.8%	28.2%
13	56	0.1	6	149	74.6%	25.4%
14	51	0.1	5	154	77.1%	22.9%
15	46	0.1	5	159	79.4%	20.6%

Les enjeux de conservation actuels

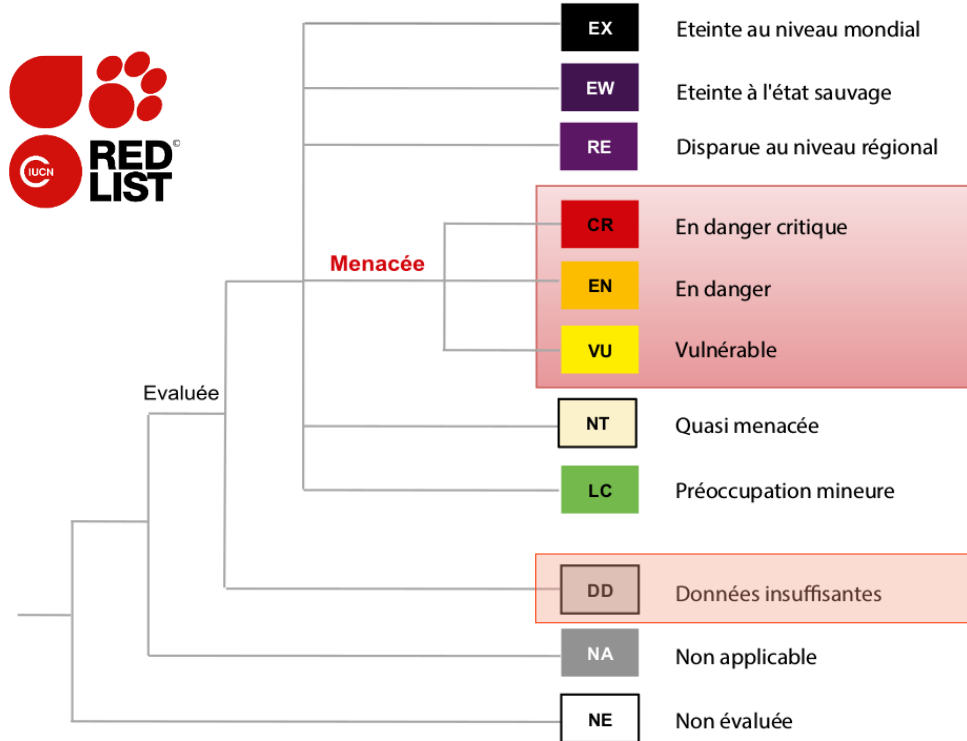
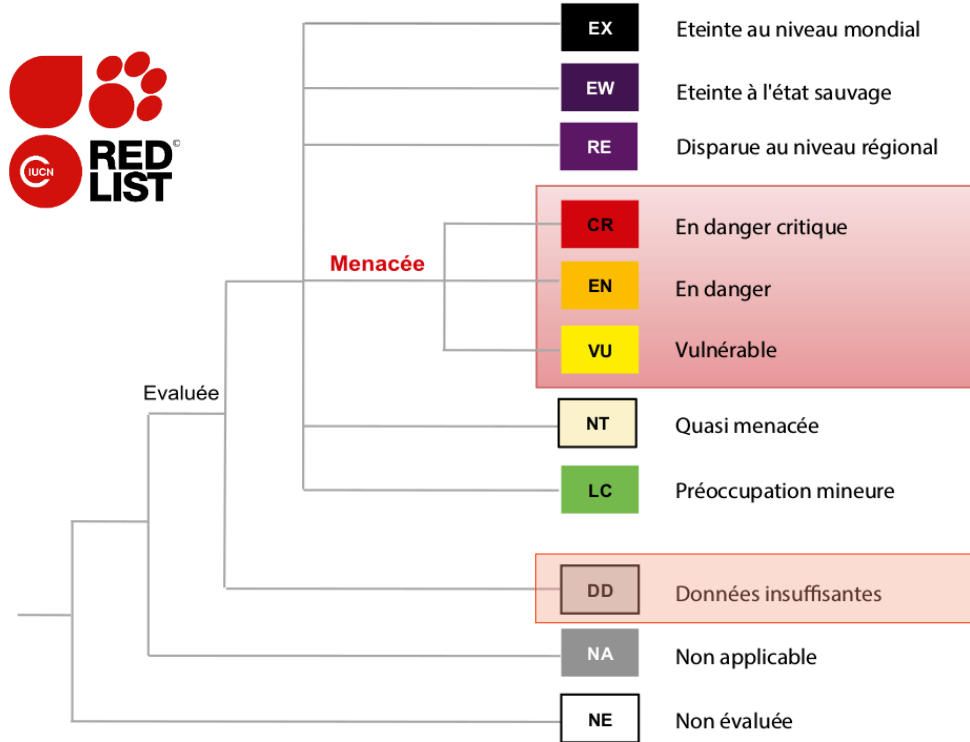


Figure 1. Présentation des catégories de l'IUCN utilisées à une échelle régionale (d'après le Guide 2012 et le Guide régional 2012 de l'IUCN)

	ANNEXE 1	ANNEXE 2	ANNEXE 3
ANIMAUX			
...
Mammifères	≈ 338 spp.	≈ 520 spp.	≈ 63 spp.

Les enjeux de conservation actuels



	ANNEXE 1	ANNEXE 2	ANNEXE 3
ANIMAUX			
...
Mammifères	≈ 338 spp.	≈ 520 spp.	≈ 63 spp.

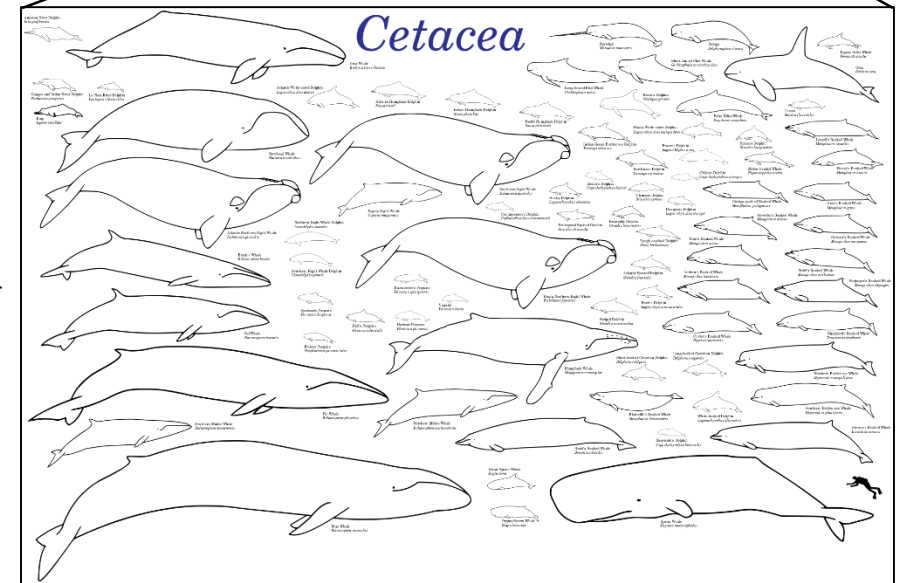
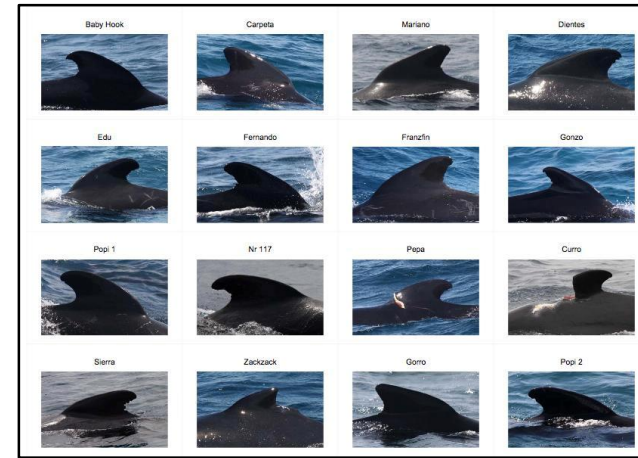
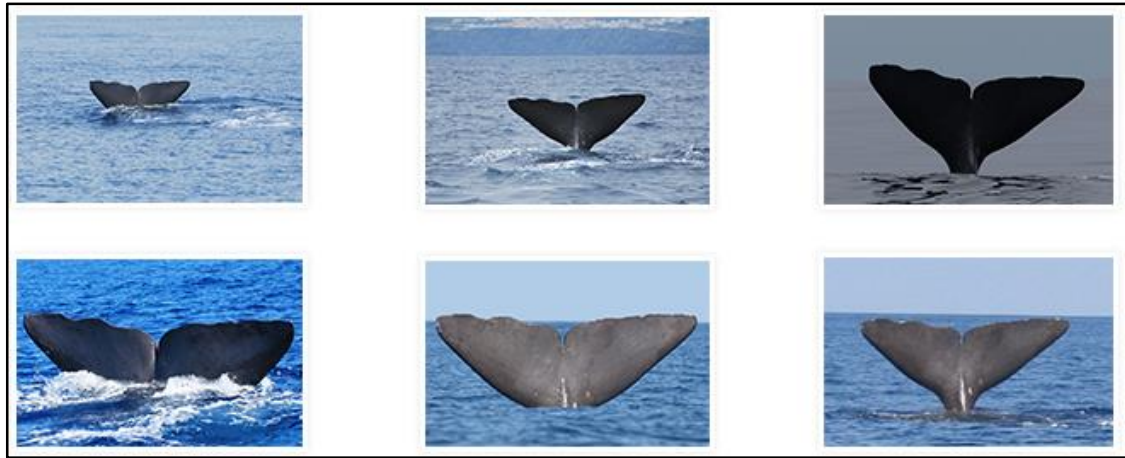


Figure 1. Présentation des catégories de l'IUCN utilisées à une échelle régionale (d'après le Guide 2012 et le Guide régional 2012 de l'IUCN)

Suivi des espèces et Populations

Espèces « accessibles » au suivi à long terme



↳ **Suivi longitudinal (Capture Marquage Recapture)**

Suivi des espèces et Populations

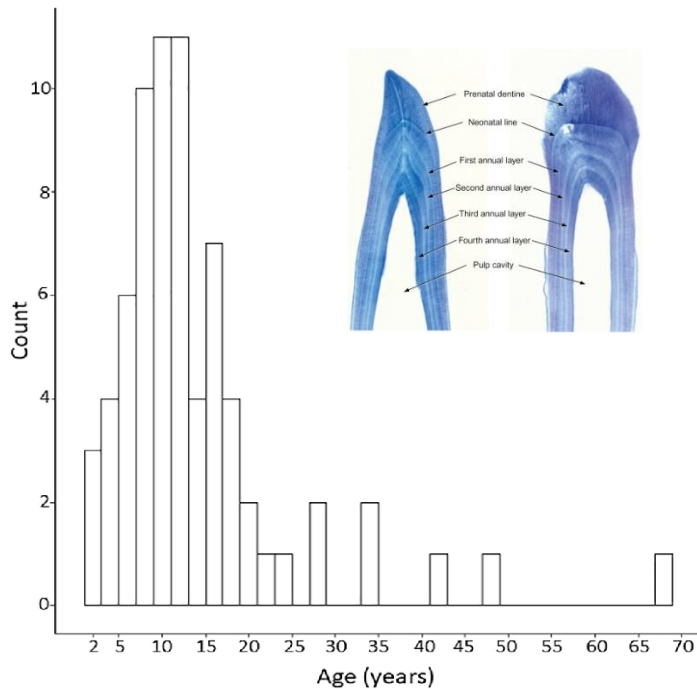
Utiliser les échouages de certaines espèces comme source de donnée



→ **Suivi transversal** de la population (hypothèses plus contraignantes)

Estimer le taux de survie : non paramétrique ?

La donnée

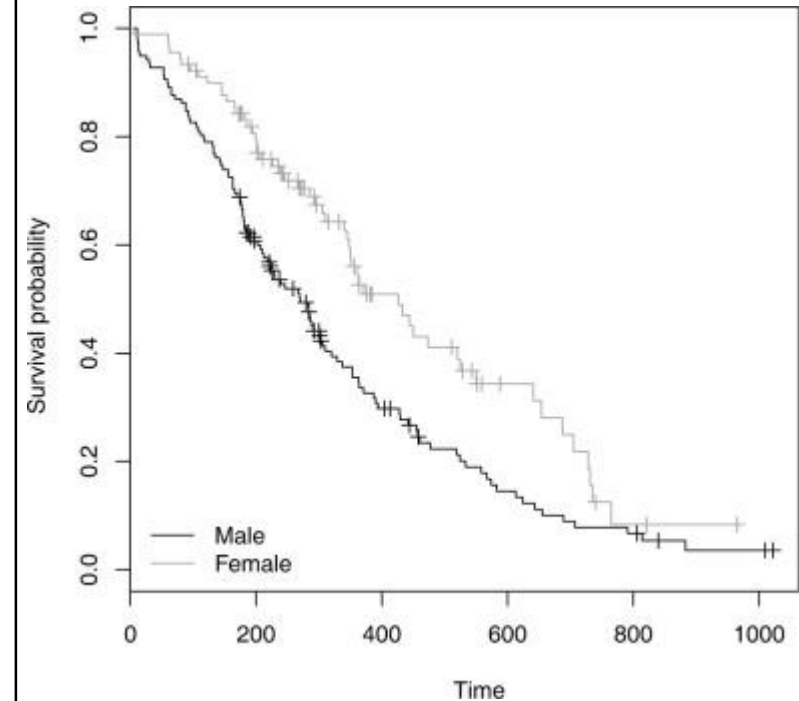


L'estimateur

Kaplan-Meier (non paramétrique)

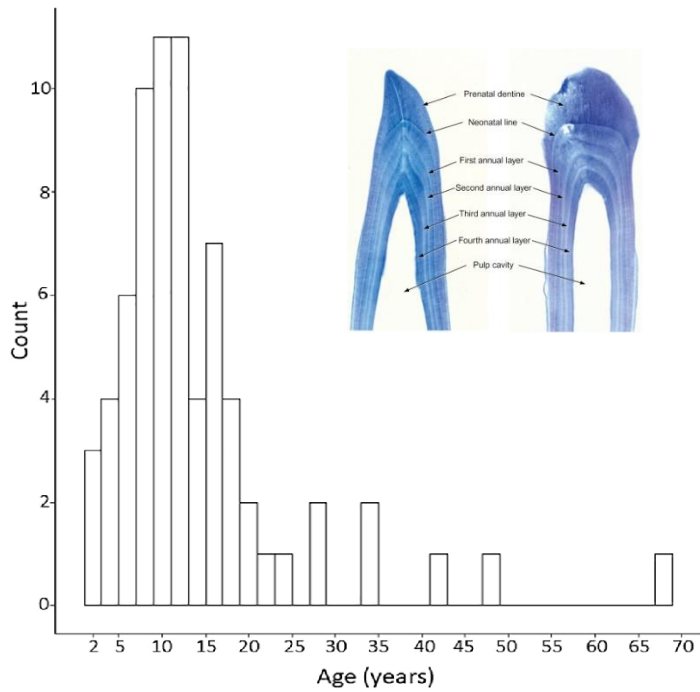
- Absence de paramètres
- Courbes en escalier
- Estimation dépendante du nombre de données
- Survie facile à calculer
- Hypothèses limitées

La sortie



Estimer le taux de survie : paramétrique ?

La donnée

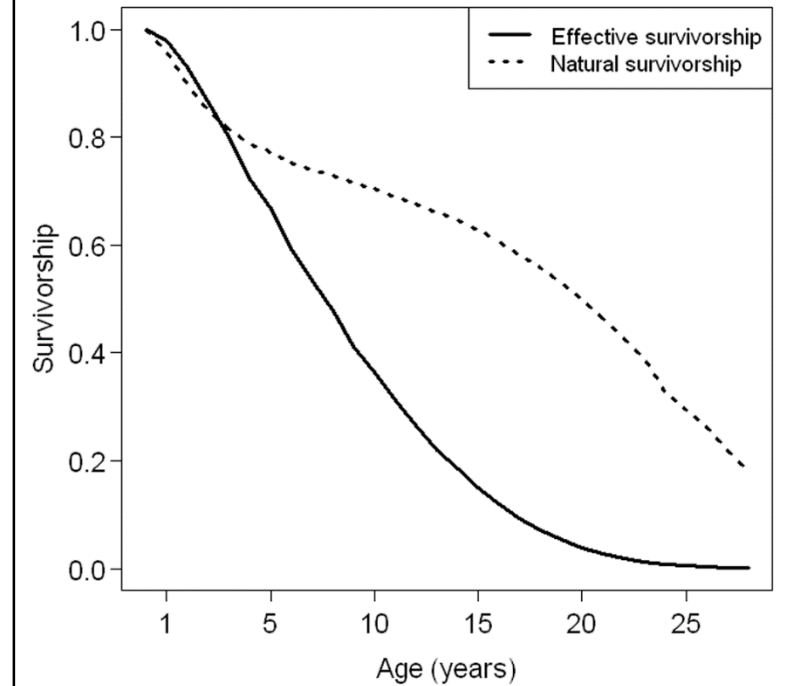


Le modèle

Siler, Heligman-pollard

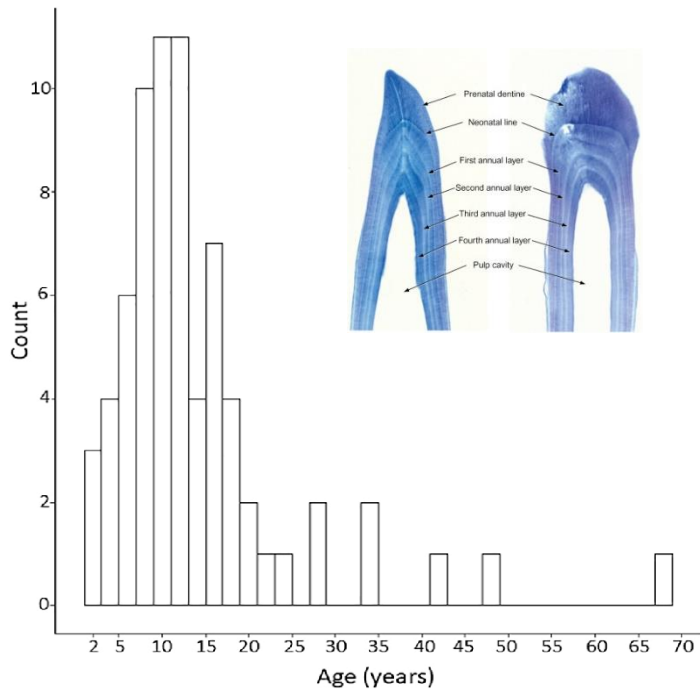
- Survie à décomposer
- Hypothèses à formuler
- Peut être difficile à mettre en place
- Courbe lisse

La sortie



Estimer le taux de survie : Notre approche

La donnée



Le modèle

Reed (2011)

- Hypothèses à formuler
- Courbe lisse
- Estime effet des covariables
- Permet de représenter un « Bathtub hazard »

La sortie

NOSPOILER

Estimer le taux de survie : Notre approche

Régression Linéaire

$$\text{Log}(y_i) = \mu + \sigma \times \varepsilon_i - \frac{z_i}{\beta}$$

Estimer le taux de survie : Notre approche

Régression Linéaire

$$\text{Log}(y_i) = \mu + \sigma \times \varepsilon_i - \frac{Z_i}{\beta}$$

- **Log y_i** : Log temps à l'évènement individuel
- **μ** : Location parameter
- **σ** : Scale parameter
- **$\frac{1}{\beta}$** : Individual Frailty (Scale parameter)
- **Z_i** : Standard exponential deviation

Estimer le taux de survie : Notre approche

Régression Linéaire

$$\text{Log}(y_i) = \mu + \sigma \times \varepsilon_i - \frac{Z_i}{\beta}$$

- **Log y_i** : Log temps à l'évènement individuel
- **μ** : Location parameter
- **σ** : Scale parameter
- **$\frac{1}{\beta}$** : Individual Frailty (Scale parameter)
- **Z_i** : Standard exponential deviation

M1 (Log Normal)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$

M2 (Weibull)

$$\varepsilon_i \sim G(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$

M3 (Normal Laplace)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} > 0$$

Estimer le taux de survie : Notre approche

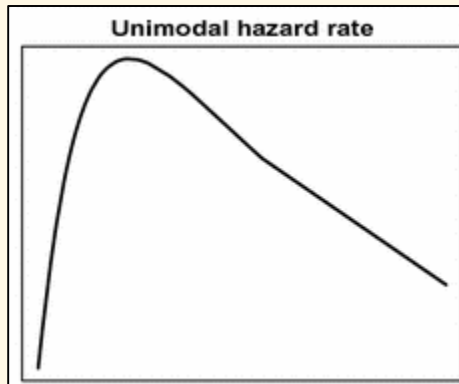
Régression Linéaire

$$\text{Log}(y_i) = \mu + \sigma \times \varepsilon_i - \frac{Z_i}{\beta}$$

- **Log y_i** : Log temps à l'évènement individuel
- **μ** : Location parameter
- **σ** : Scale parameter
- **$\frac{1}{\beta}$** : Individual Frailty (Scale parameter)
- **Z_i** : Standard exponential deviation

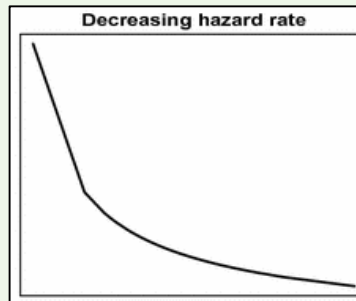
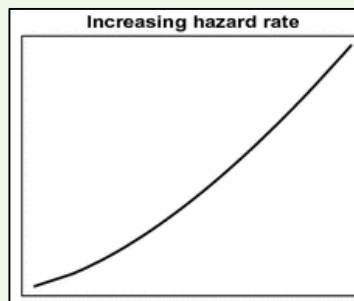
M1 (Log Normal)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$



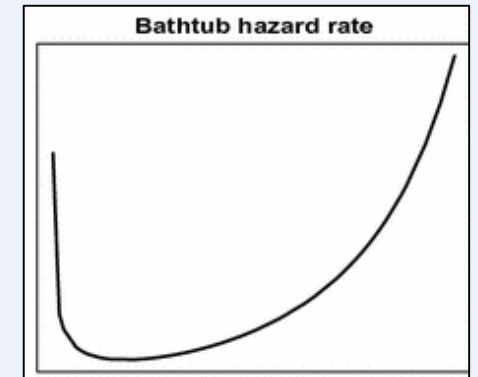
M2 (Weibull)

$$\varepsilon_i \sim G(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$



M3 (Normal Laplace)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} > 0$$



Estimer le taux de survie : Notre approche avec **Covariables**

Régression Linéaire

$$\text{Log}(y_i) = \mu + \sum_{j=1}^p \gamma_j x_{ij} - \frac{Z_i}{\beta} + \sigma \times \varepsilon_i$$

- **Log y_i** : Log temps à l'évènement individuel
- **μ** : Location parameter
- **σ** : Scale parameter
- **$\frac{1}{\beta}$** : Individual Frailty (Scale parameter)
- **Z_i** : Standard exponential deviation
- **x_{ip}** : Matrice de covariables
- **γ_p** : Effet des covariables

M1 (Log Normal)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$

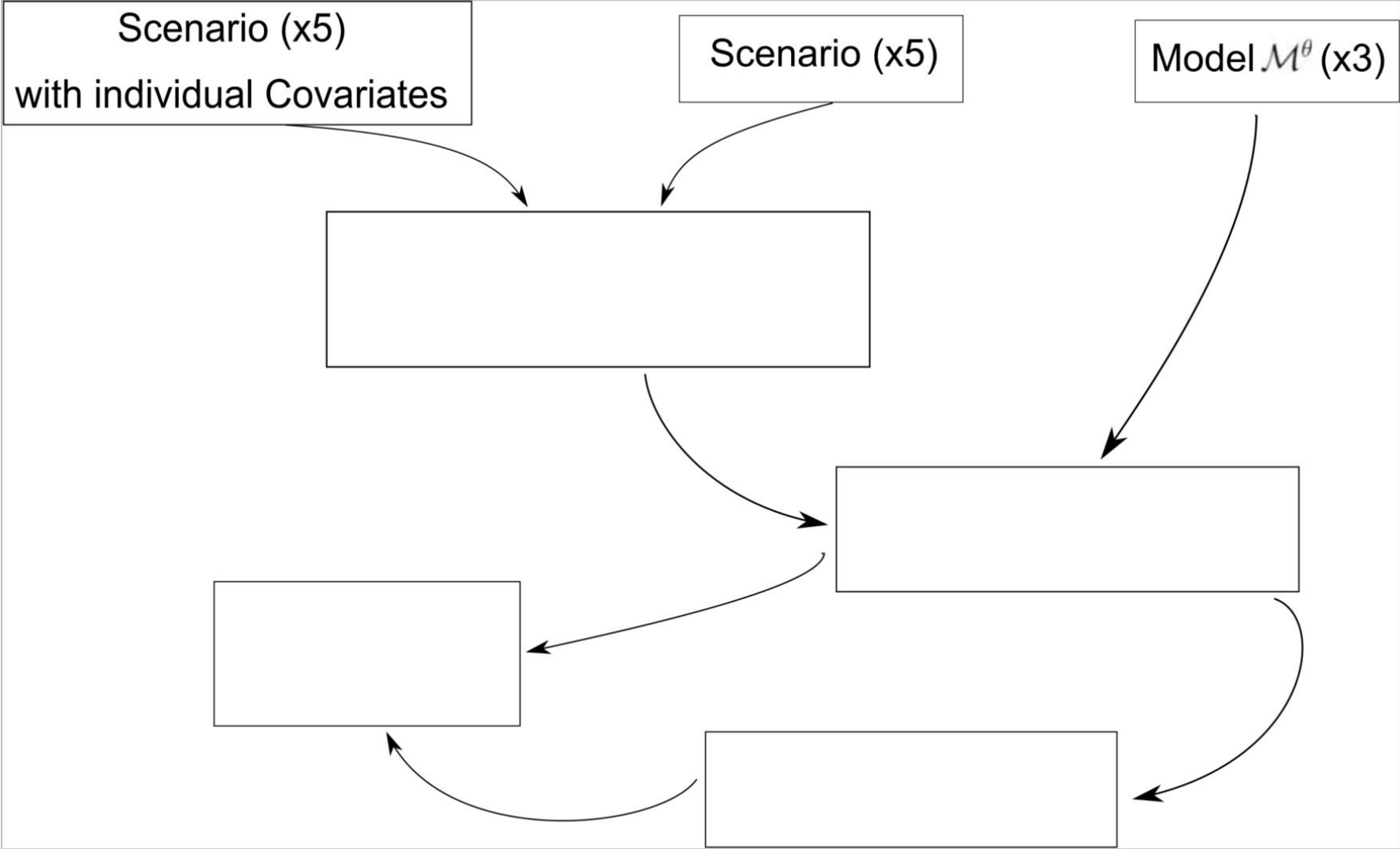
M2 (Weibull)

$$\varepsilon_i \sim G(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} = 0 \quad (\beta = +\infty)$$

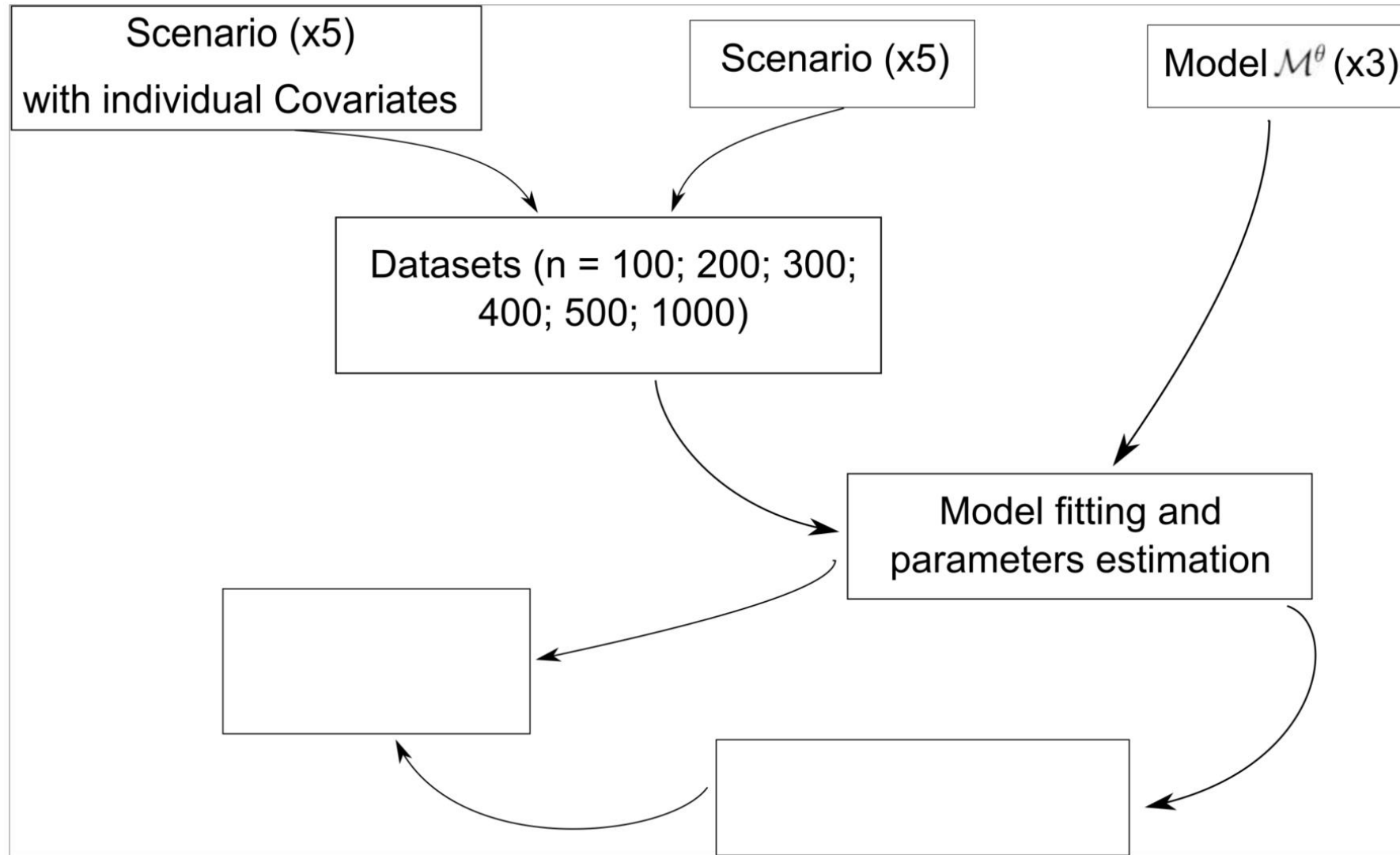
M3 (Normal Laplace)

$$\varepsilon_i \sim N(0, 1) \quad \frac{1}{\beta} > 0$$

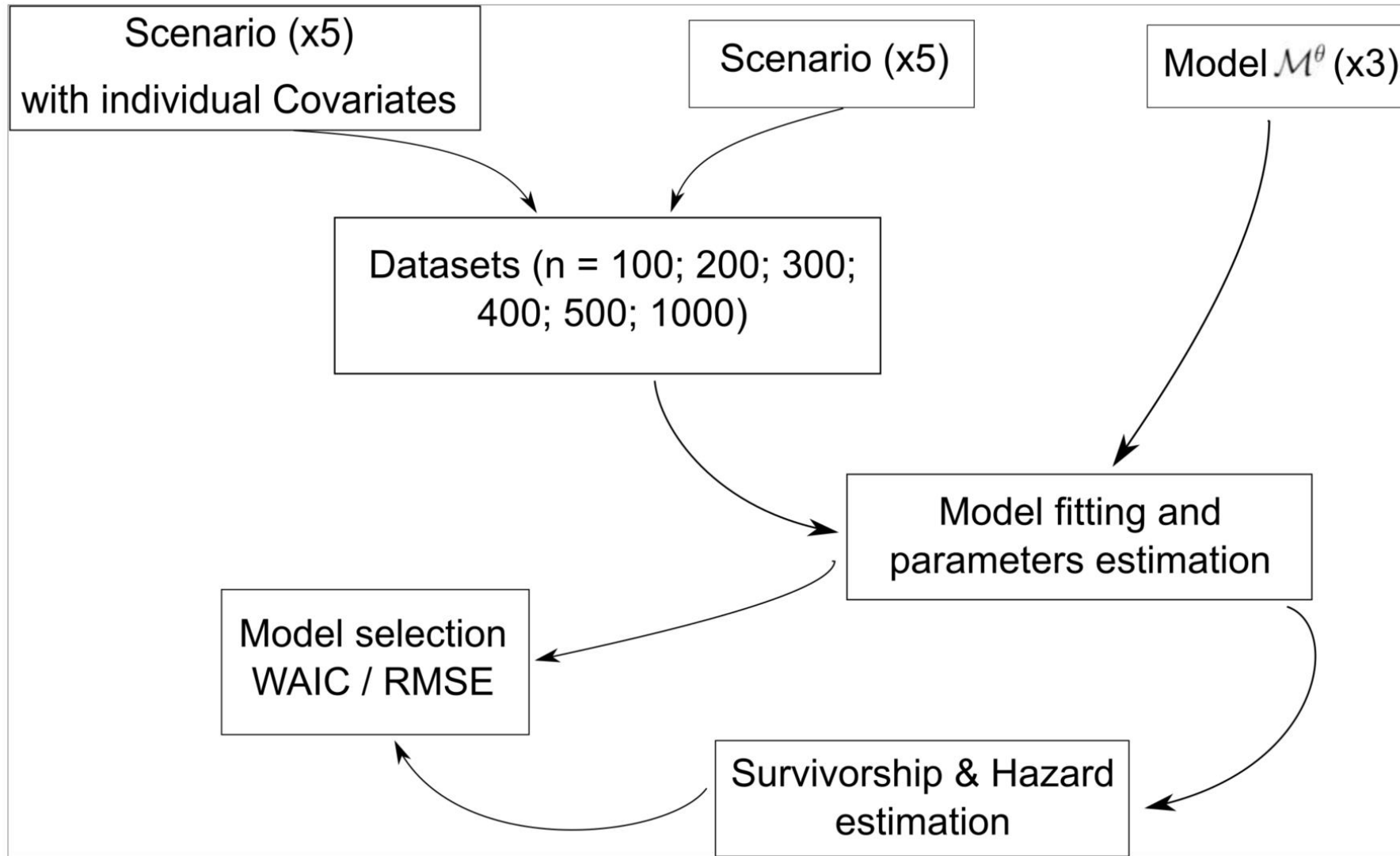
Notre approche : Etude de simulations



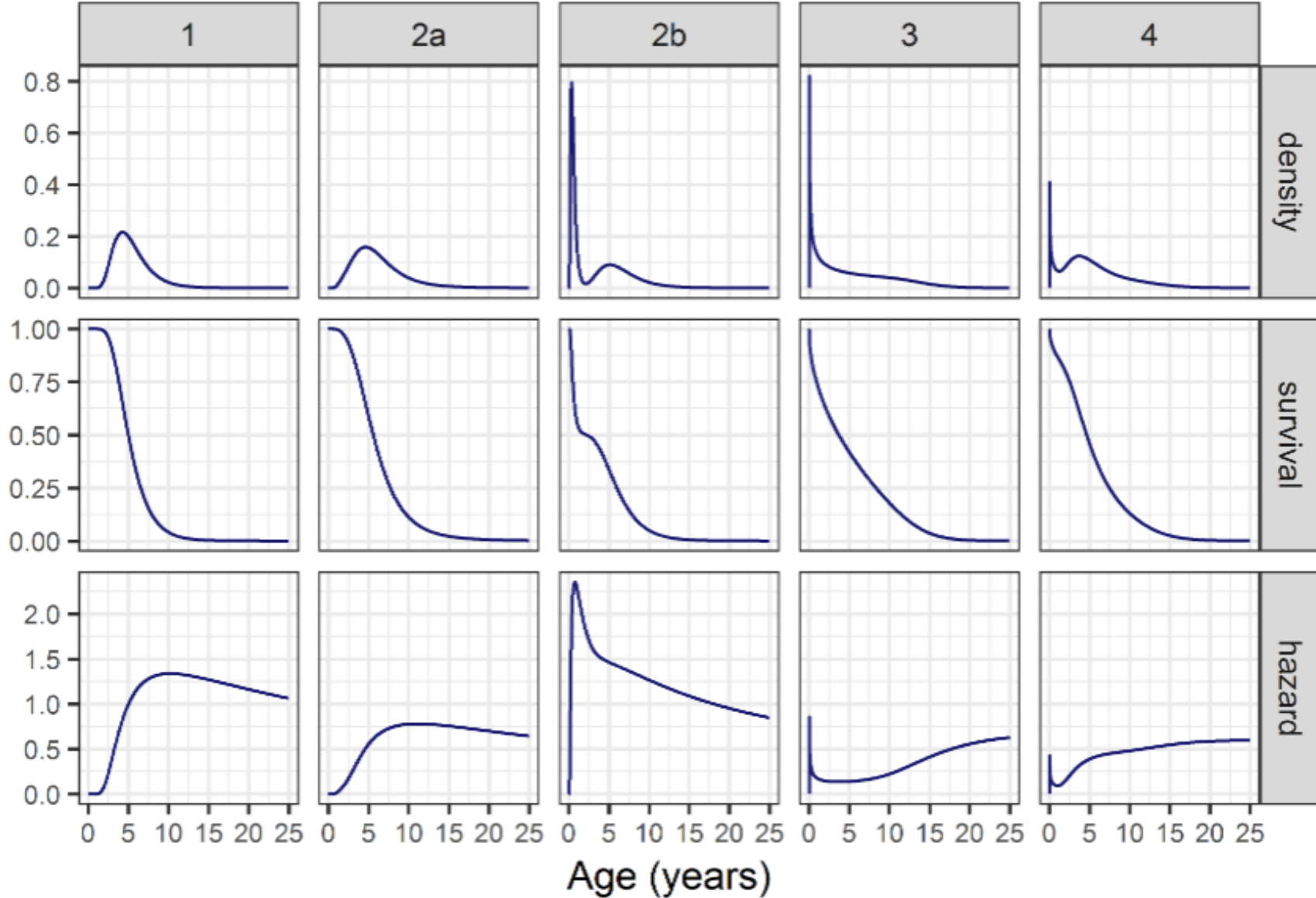
Notre approche : Etude de simulations



Notre approche : Etude de simulations



Les Scénarios

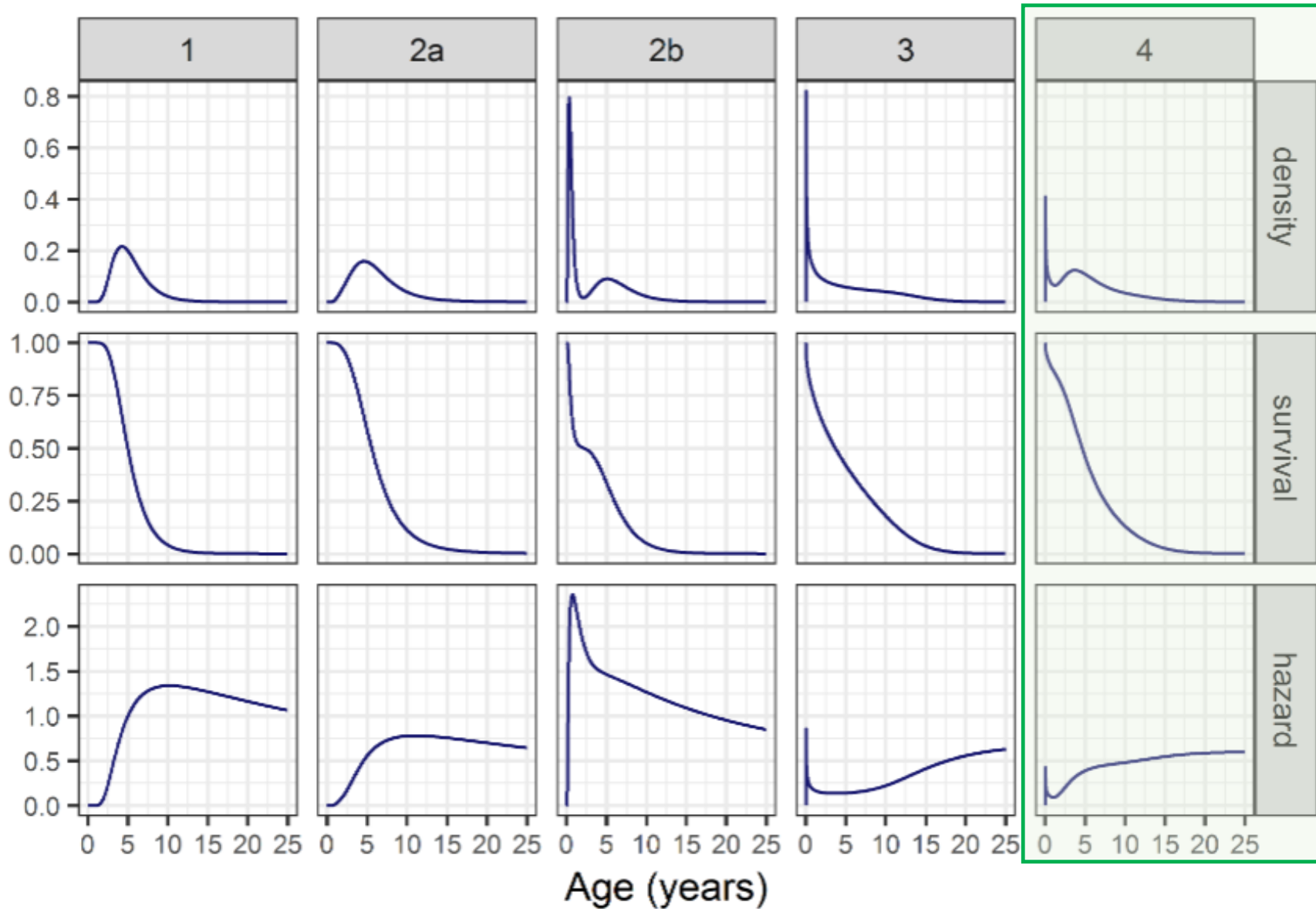


Tailles d'échantillons :

- $N = 100$
- $N = 200$
- $N = 300$
- $N = 400$
- $N = 500$
- $N = 1000$

↪ Précision ?

Les Scénarios




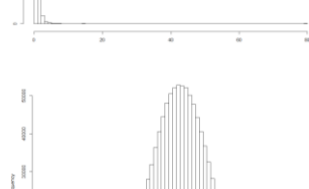


Tailles d'échantillons :

- $N = 100$
- $N = 200$
- $N = 300$
- $N = 400$
- $N = 500$
- $N = 1000$

↪ Précision ?

Modélisation, les Priors :

Priors		
Paramètre	Loi	Aperçu
μ	$N(0, 1.5)$	
σ	$\Gamma\Gamma(0.5, 1, 0.1)$	
$\frac{1}{\beta}$	$\Gamma\Gamma(0.5, 1, \log(2))$	
γ	$N(0, 1.5)$	

Modélisation (avec Stan):



```
Data {
```

```
...
```

```
}
```

```
Parameters {
```

```
...
```

```
}
```

```
Transformed Parameters {
```

```
...
```

```
}
```

```
Model {
```

```
...
```










```
}
```

```
Generated quantities {
```

```
...
```

```
}
```


Inférence (Modèle 3) :

Data					
2	14	6	0,5	27	12
					
5	26	8	3	6	
					

N total = 11

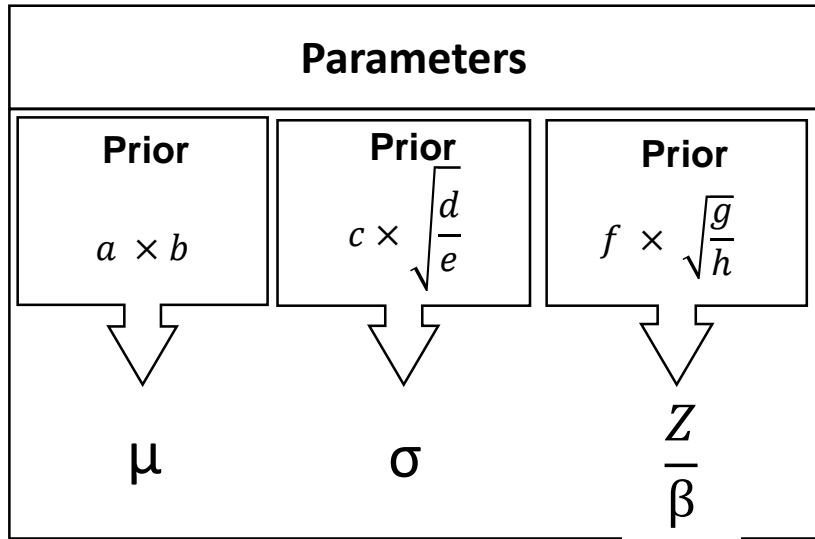
Inférence (Modèle 3) :

Model
$P \left(\log(T) \mid \mu + \frac{Z}{\beta}, \sigma \right)$

Data
2 14 6 0,5 27 12

5 26 8 3 6


N total = 11

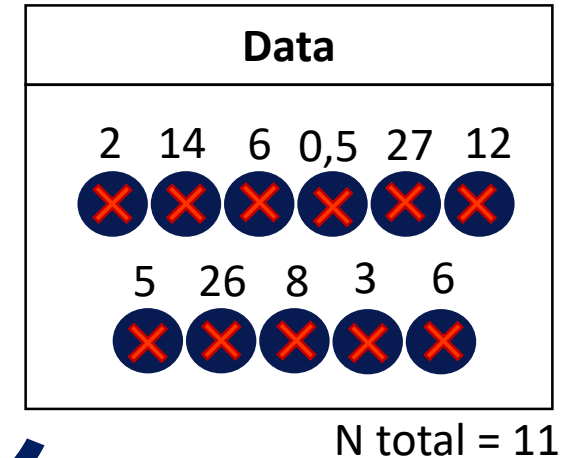
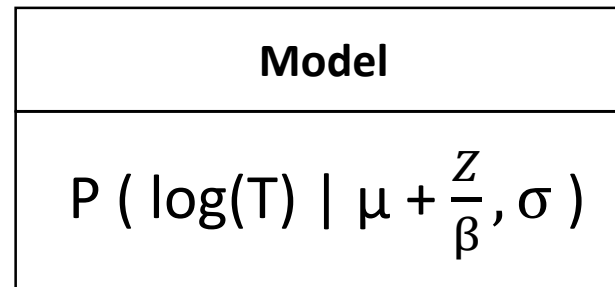
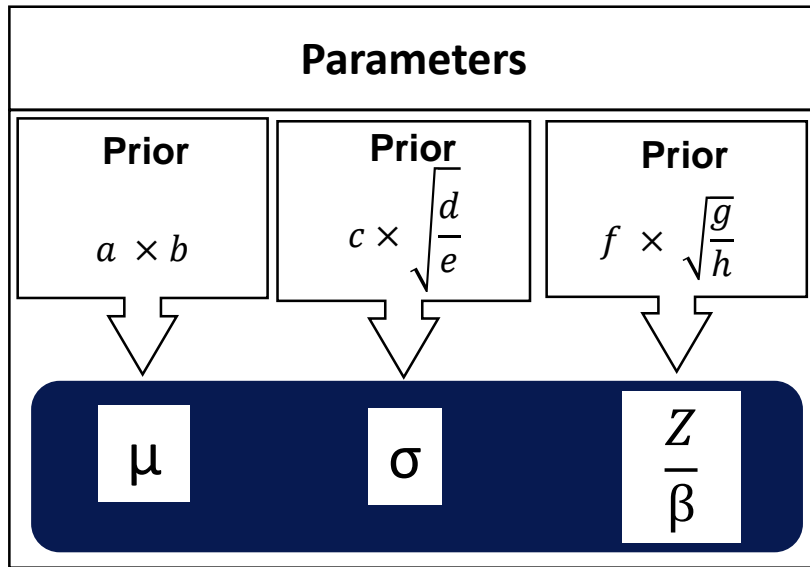
Inférence (Modèle 3) :



Model
$P(\log(T) \mid \mu + \frac{Z}{\beta}, \sigma)$

Data					
2	14	6	0,5	27	12
5	26	8	3	6	
N total = 11					

Inférence (Modèle 3) :

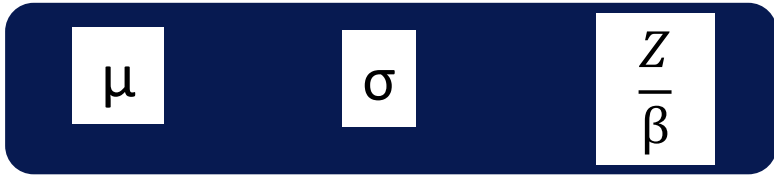
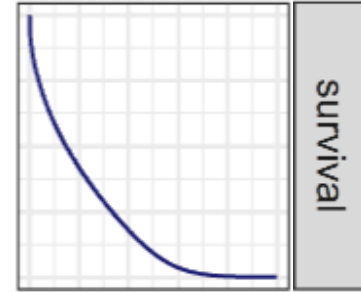


No U-Turn Sampling (**NUTS**)

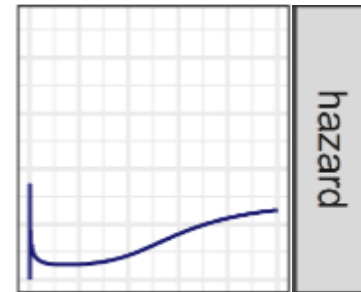
- Ne nécessite plus un nombre de pas
→ Plus efficace et précis que le **HMC**

Inférence (Modèle 3) :

$$S_{M3}(T) = \frac{\phi^c \left(\frac{\log T - \mu}{\sigma} \right) - \exp \left(\beta(\log T - \mu) + \frac{\beta^2 \sigma^2}{2} \right) \times \phi^c \left(\beta\sigma + \frac{\log T - \mu}{\sigma} \right)}{\phi^c \left(\beta\sigma + \frac{\log T - \mu}{\sigma} \right)}$$

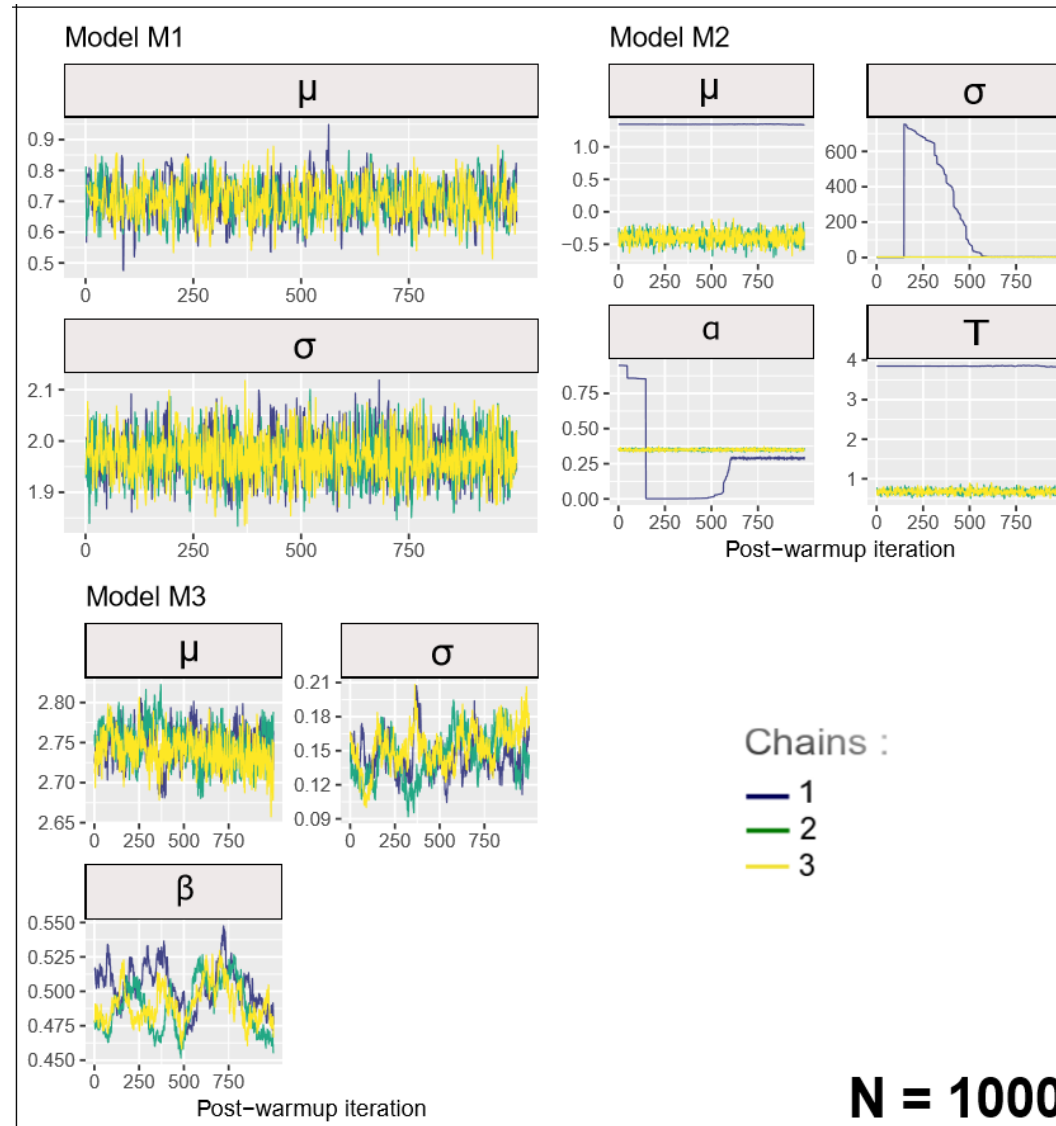


$$h_{M3}(T) = \frac{\beta}{T} \times \frac{R \left(\beta\sigma + \frac{(\log T - \mu)}{\sigma} \right)}{R \left(\frac{(\log T - \mu)}{\sigma} \right) - R \left(\beta\sigma + \frac{(\log T - \mu)}{\sigma} \right)}$$

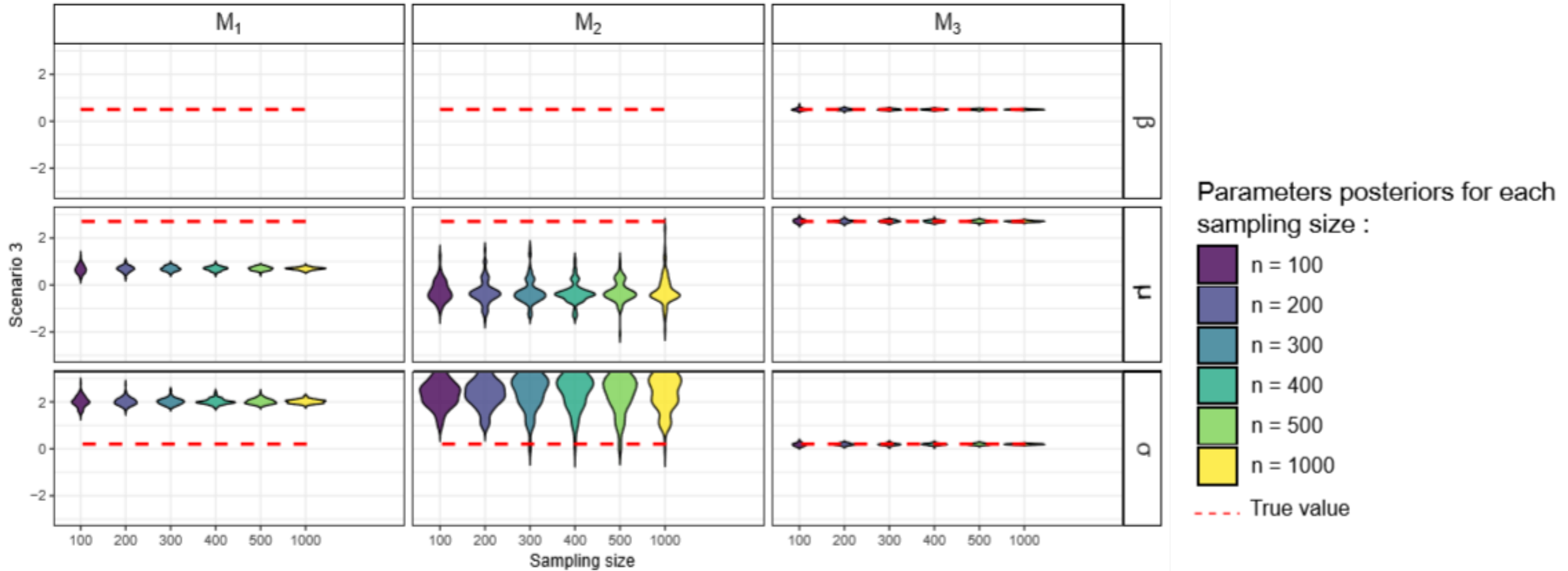


Convergence obtenue pour M1 et M3

Warm-up = 1000
Total = 2000

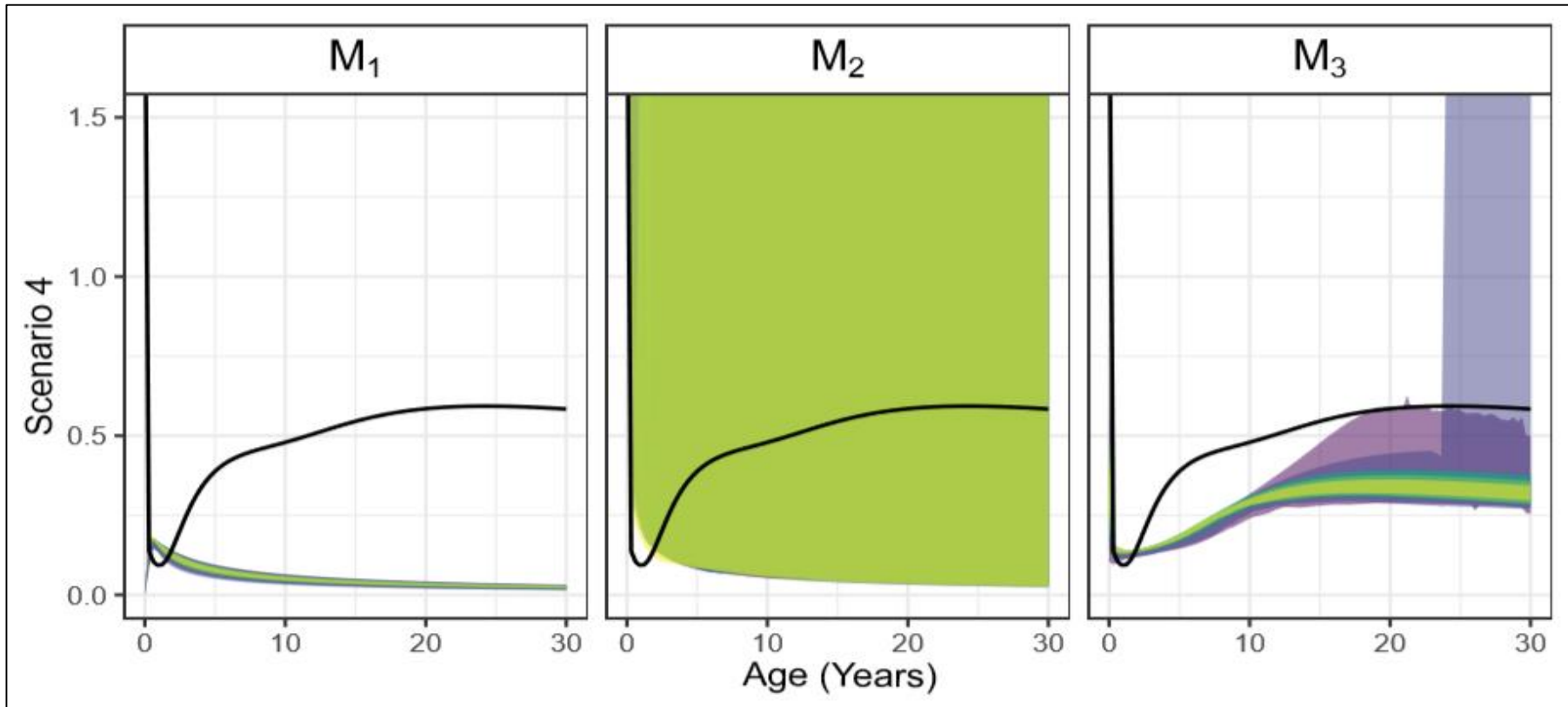


Paramètres (Scénario 3):



Ici, M3 permet d'estimer correctement la valeur des paramètres

Estimation du Hazard (**Scénario 4**):

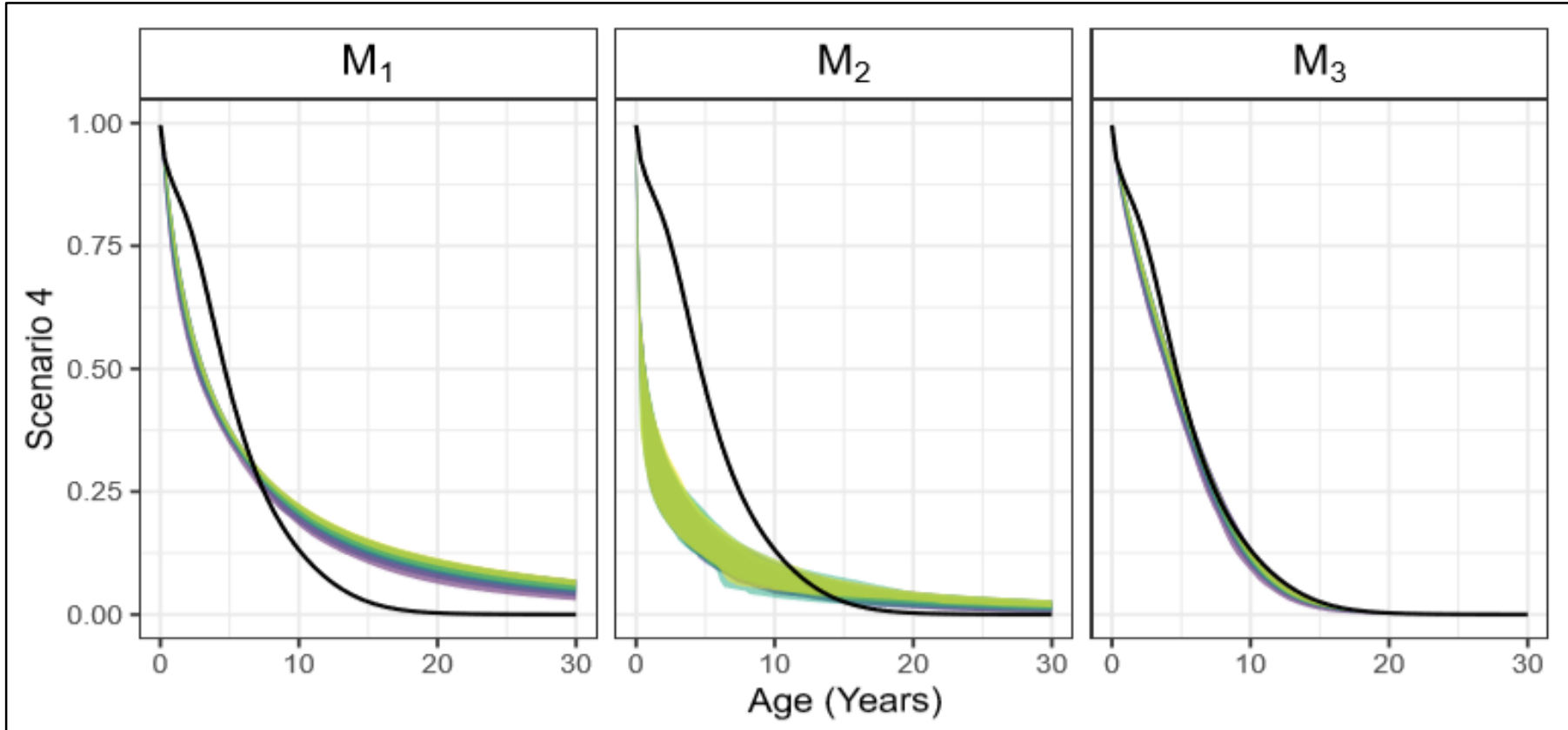


Hazard rate functions :

- $n = 100$ (95% Confidence interval)
- $n = 200$ (95% Confidence interval)
- $n = 300$ (95% Confidence interval)
- $n = 400$ (95% Confidence interval)
- $n = 500$ (95% Confidence interval)
- $n = 1000$ (95% Confidence interval)
- True hazard curve

- M_1 et M_2 ne s'ajustent pas à la courbe attendue
- M_3 permet le « Bathtub shape » mais ne s'ajuste pas

Estimation de la Survie (Scénario 4):

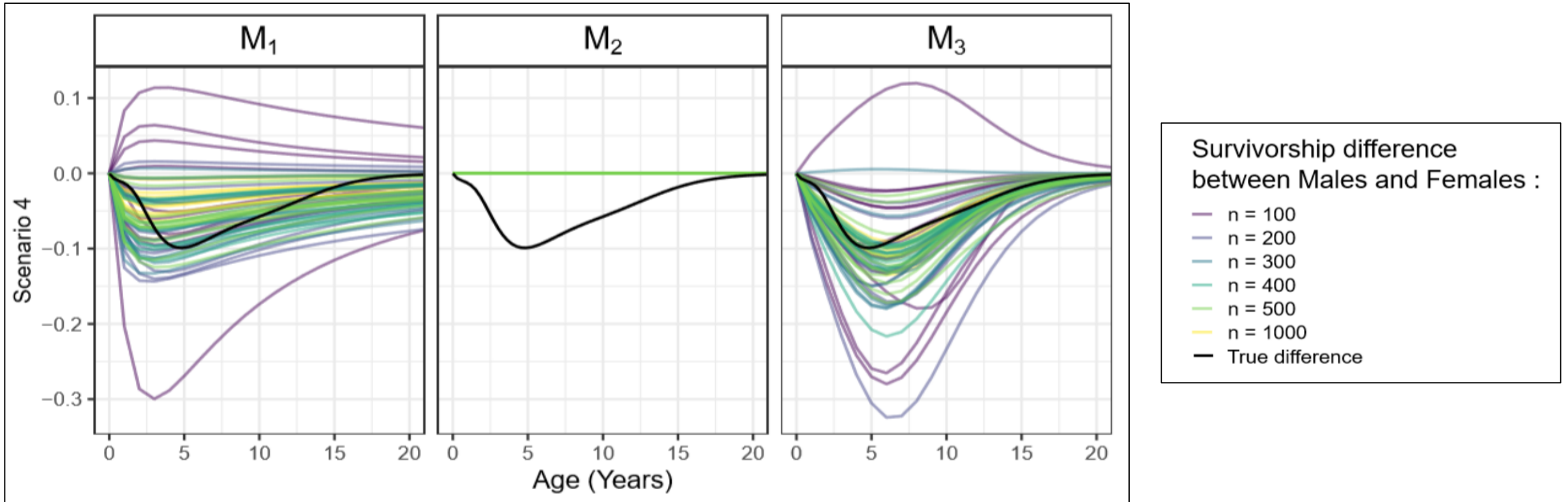


Survivorship functions :

- n = 100 (95% Confidence interval)
- n = 200 (95% Confidence interval)
- n = 300 (95% Confidence interval)
- n = 400 (95% Confidence interval)
- n = 500 (95% Confidence interval)
- n = 1000 (95% Confidence interval)
- True survivorship curve

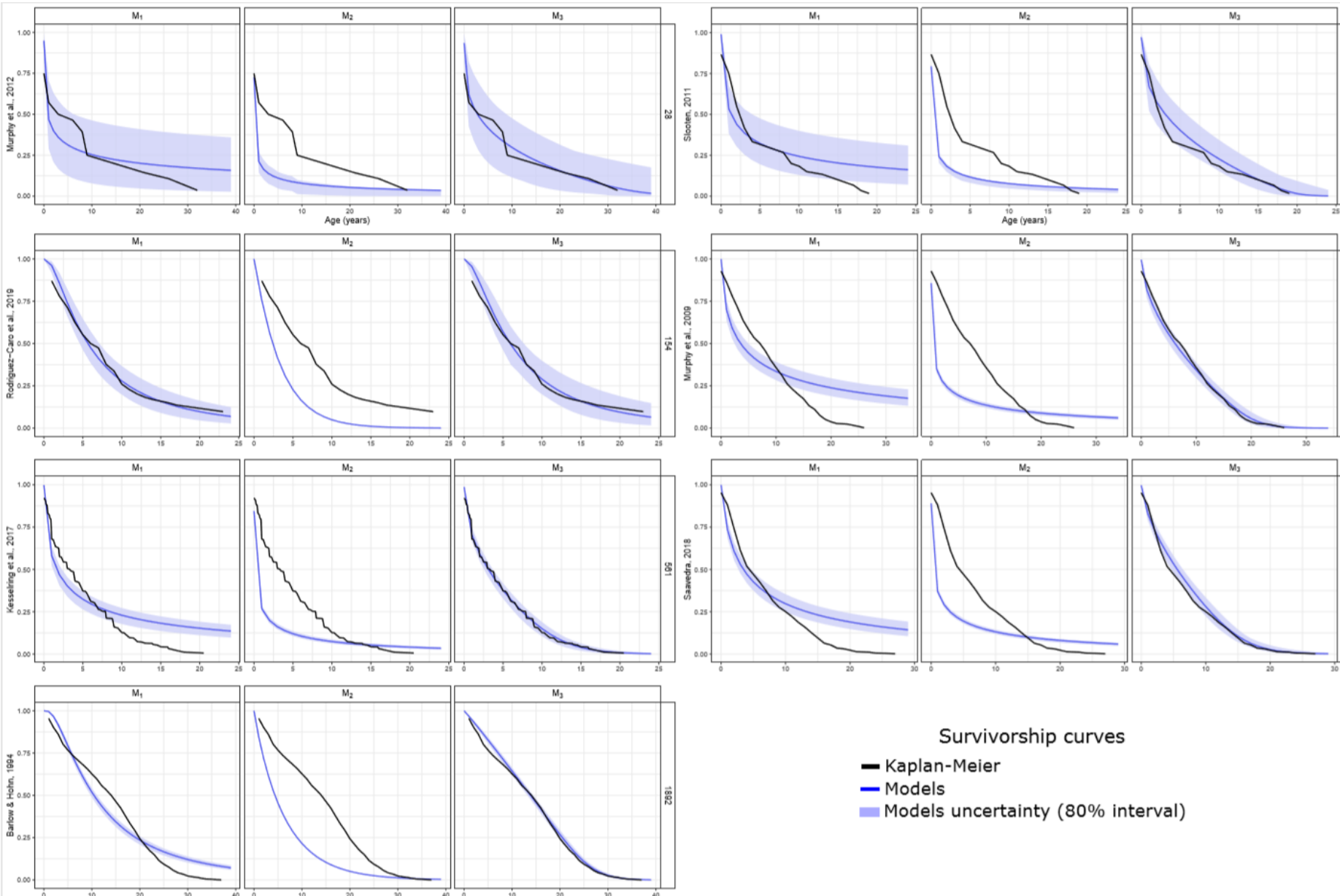
- M1 et M2 ne s'ajustent pas à la courbe attendue
- M3 ne saisit pas la bimodalité mais s'ajuste si $0 < t < 2$ et $5 < t < 30$
- Lorsque M3 est ajusté, même $n = 100$ permet un CI réduit

Estimation de la Survie avec covariables (**Scénario 4**):



- M_1 et M_2 ne s'ajustent pas à la courbe attendue
- M_3 parvient à estimer la différence, mais décalage pour $t = 3$ ans
- La précision est fortement dépendante de n

Etudes de cas, Survie cumulée :



Le modèle 3 s'ajuste bien à Kaplan-Meier

→ Bonne flexibilité quelles que soient les tailles d'échantillons et espèces.

De quoi s'agit-il ?

Dans quel contexte ?

Comment ?

Quelles sorties ?

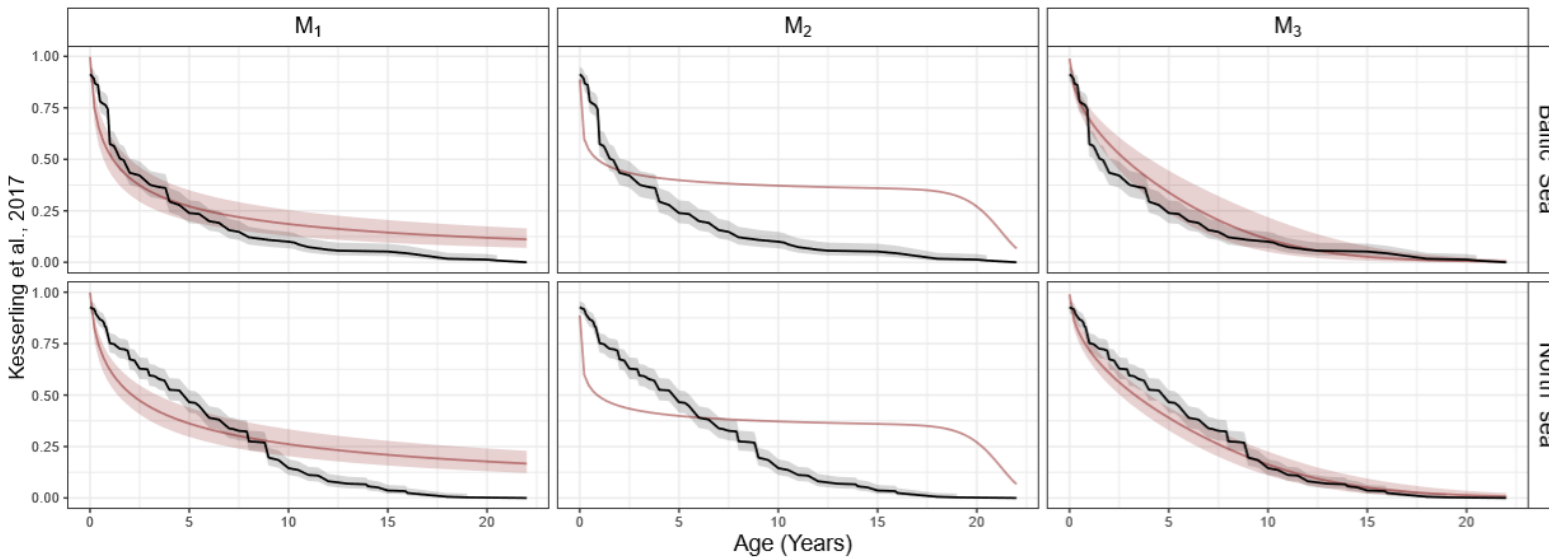
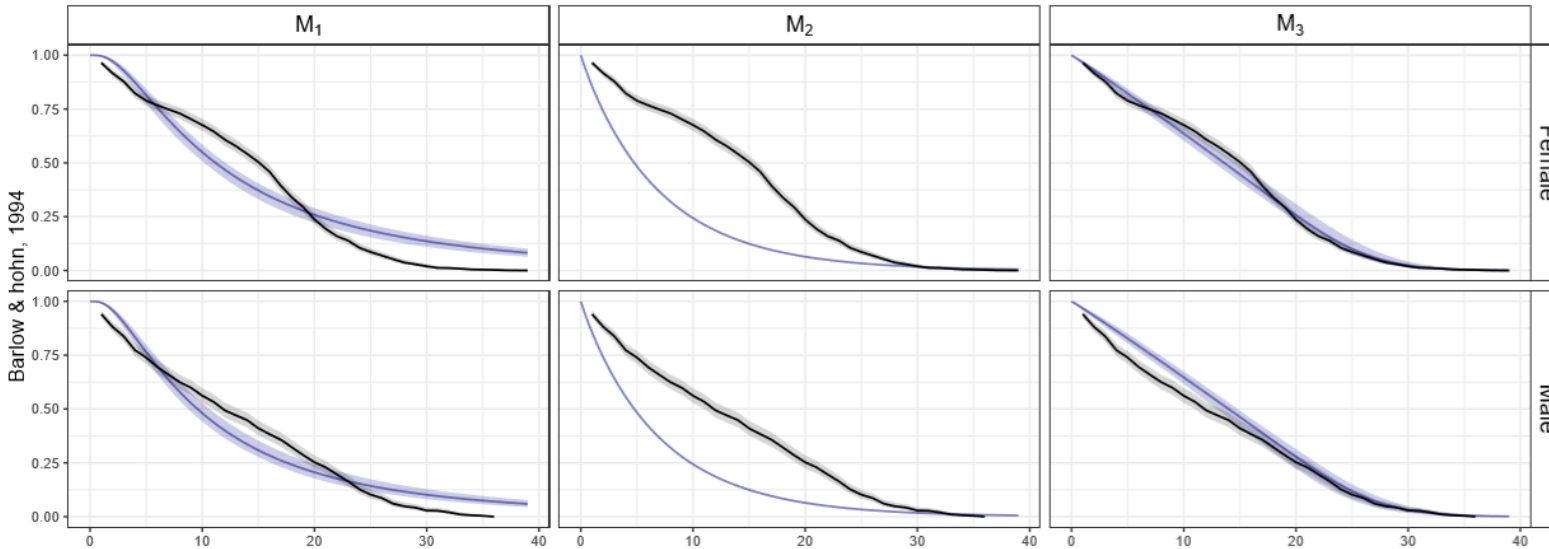
En définitive ?

Et maintenant ?

Etudes de cas, Survie cumulée avec Covariables:

- Des différences de survies sont estimées.
- L'ajustement des modèles n'est pas juste

→ Considérer une fragilité différente pour chaque condition de covariable



Covariate specific survivorship curves

— Kaplan-Meier estimator — Models curves — 80% uncertainty estimates

Implications

Notre approche impliquant le **modèle 3** est **très efficace** pour :

- Estimer la survie cumulée à partir de données d'âge à la mort
- Mettre en valeur des échantillons de petite taille
- Produire rapidement des tables de vie

Implications

Notre approche impliquant le **modèle 3** est **très efficace** pour :

- Estimer la survie cumulée à partir de données d'âge à la mort
- Mettre en valeur des échantillons de petite taille
- Produire rapidement des tables de vie

Notre approche impliquant le **modèle 3** est **prometteuse** pour :

- Estimer l'effet des covariables sur la survie d'une population
- Estimer le Hazard des courbes dites en « Bathtub shape »

Développements à suivre

Travail en cours de publication dans la revue « Population Ecology »

The logo for the journal 'Population Ecology' is displayed within a blue rectangular box. The text 'Population Ecology' is written in a serif font, with 'Population' in a darker blue and 'Ecology' in a lighter blue. The background of the box features a faint grid pattern and binary code (0s and 1s).

- Constituer une véritable base de donnée d'âges à la mort (dauphin commun, marsouin commun)
- Produire les tables de vie associées
- Partager ces bases de données avec la communauté (COMADRE)
- Projeter l'évolution des populations
- Utiliser les taux vitaux et projections pour des analyses en biologie de la conservation (PBR / RLA)

Merci pour votre attention !