



Prévalence, distribution et étiologie de la fibropapillomatose chez les tortues vertes immatures des Antilles



1^{er} janvier 2022 – 31 décembre 2024

Doctorant :

Pierre Lelong

Direction :

Damien Chevallier

Co-direction :

Marc Girondot

Caroline Hibold

Fabienne Priam





- Caractéristiques de la fibropapillomatose (FP)
 - Augmentation de la prévalence dans les années 80
 - Présente dans le monde entier
 - Apparition de tumeurs externes puis internes pouvant entraîner la mort
 - Conséquences physiologiques importantes

- Etiologie peu connue
 - ChHV5 (herpesvirus)
 - Eutrophisation et pollution des eaux côtières
 - Transmission horizontale





➤ Etude préliminaire de la FP chez les tortues vertes de Martinique :
Roost et al. 2022

- Accroissement du nombre d'observation de tortues touchées par la FP sur certains sites
- Prévalence plus importante sur les sites les plus pollués
- Nécessité de poursuivre les investigations





1) Déterminer les variations spatio-temporelles de la prévalence de la FP

- Sites les plus touchés
- Saisonnalité

2) Expliquer cette évolution au regard de différents cofacteurs environnementaux, éthologiques et virologiques

- Dégradation de l'habitat (herbiers, *H.stipulacea*, qualité de l'eau)
- Transmission horizontale
- Génétique du virus ChHV5

3) Déterminer les conséquences démographiques, physiologiques et éthologiques de la fibropapillomatose

- Survie
- Croissance
- Constantes sanguines
- Modification du comportement



Campagnes de Capture-Marquage-Recapture

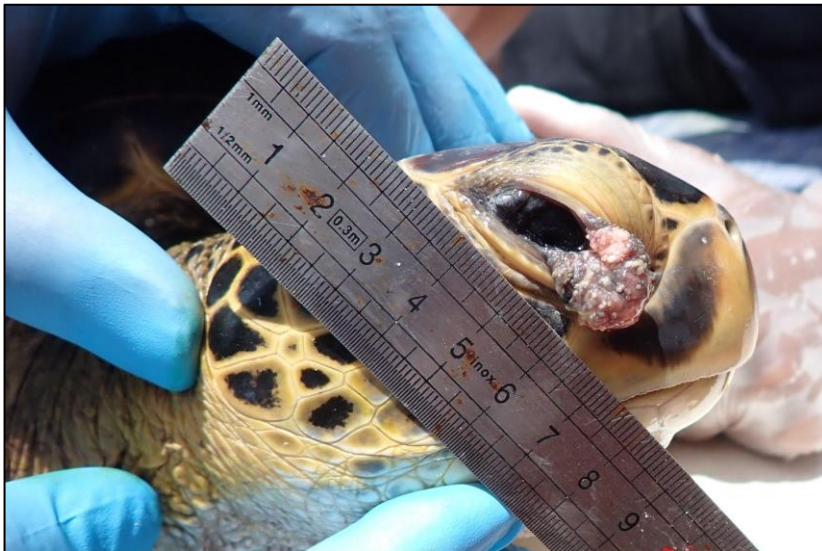


➤ Méthode de capture

Equipe d'apnéistes professionnels

Profondeur max : -25m

Manipulations scientifiques sur un bateau aménagé



➤ Données récoltées

Marquage des individus (Transpondeur TROVAN)

Photo-identification

Morphométrie (CCL, CCW, queue, condition corporelle, yeux)

Contrôle de l'état de santé (nombre de tumeurs, taille des tumeurs)

Biopsies (chair, sang, tumeurs, écaille)

Pose de biologgers (caméra, accéléromètre, gyroscope, magnétomètre, profondimètre, luminosité, GPS, hydrophone)



Analyse de la qualité de l'eau côtière et de la ressource alimentaire (phanérogames, macro-algues)



➤ Méthode d'échantillonnage employée

- 15 sites répartis sur l'ensemble de la Martinique
- Prélèvements d'eau entre 0 et -15m

POPs

Métaux lourds

ChHV5

Hydrocarbures

Coliformes

Nutriments inorganiques

Chlorophylle α

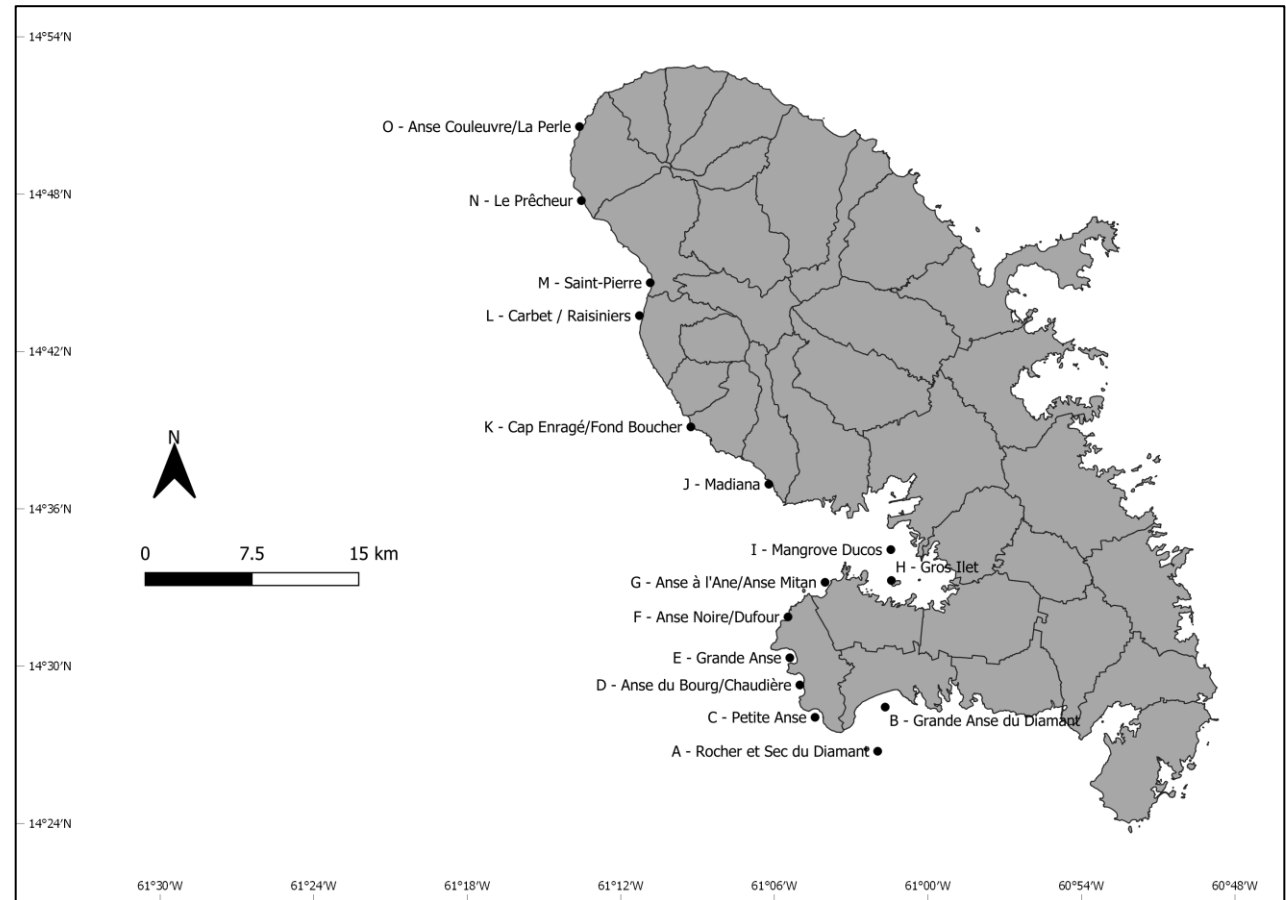
- Prélèvements de benthos (phanérogames, macro-algues)

POPs

Métaux lourds

Arginine

Epiphytes carcinogènes





Analyse de la qualité de l'eau côtière et de la ressource alimentaire (phanérogames, macro-algues)



➤ Eutrophisation de l'eau

- Nutriments inorganiques
- Chlorophylle α
- Coliformes fécaux (*E.coli*, *Enterobacter*, *E. faecalis*, *C. perfringens*)

➤ Polluants Organiques Persistants (POPs)

- Chlordécone
- Triazine
- Carbamates (Aldicarb)

➤ Phycotoxines

- Cyanobactéries (*L.majuscula*)
- Dinoflagellés (*Prorocentrum* spp.)

➤ Métaux

- Ag, Al, **Cu**, **Pb**, Cd, Hg, As, Zn, **Fe**, Ni, Mn, Co, Cr, Se, Tl, Ge

➤ Hydrocarbures

- Hydrocarbures polycycliques aromatiques (PAH)

Van Houtan et al. 2014, Eutrophication and the dietary promotion of sea turtle tumors

Bocquéne et Franco 2005, Pesticide contamination of the coastline of Martinique

Arthur et al. 2008, The exposure of green turtles (*Chelonia mydas*) to tumour promoting compounds produced by the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* and their potential role in the aetiology of fibropapillomatosis

Landsberg et al. 1999, The Potential Role of Natural Tumor Promoters in Marine Turtle Fibropapillomatosis

Da Silva et al. 2016, Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles *Chelonia mydas* from the southern Atlantic Ocean

Vilca et al. 2018, Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in liver samples of juvenile green sea turtles from Brazil: Can these compounds play a role in the development of fibropapillomatosis?

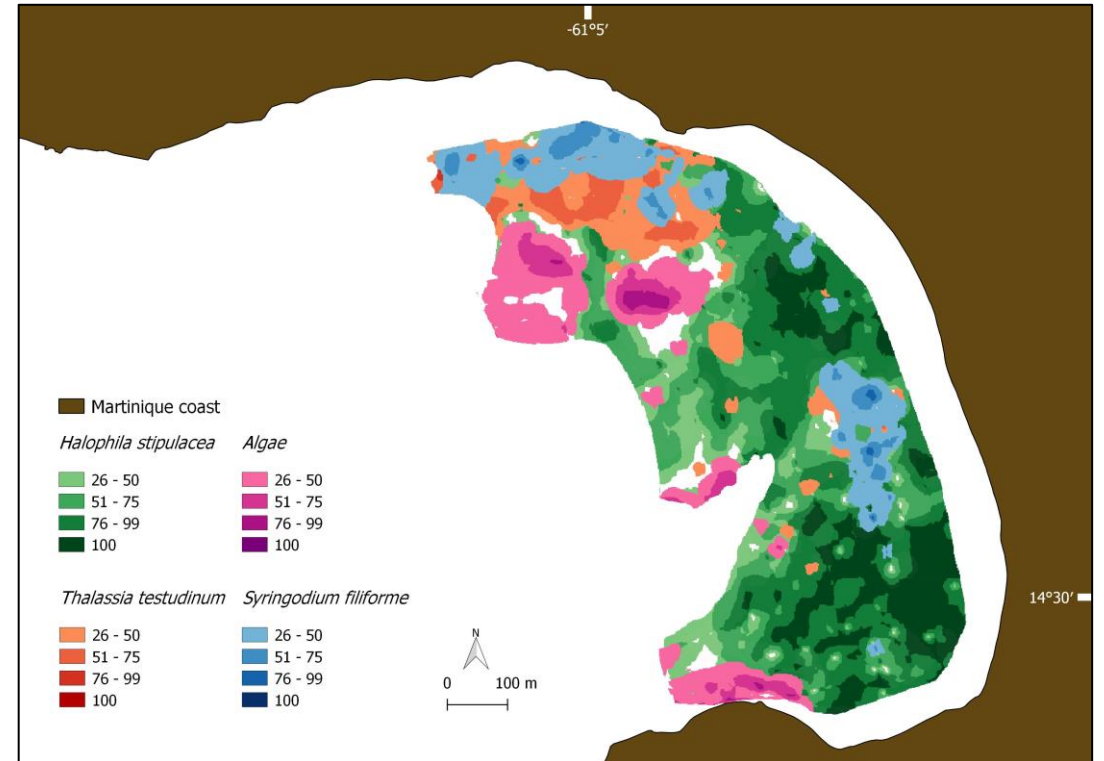


Cartographie des biocénoses benthiques



- **Méthode d'échantillonnage employée**
 - Photographie de quadrats d'1x1m
 - Détermination de la couverture de chaque espèce végétale
 - Interpolation via logiciel SIG

- **Détermination de la surface de l'herbier invasif *H. stipulacea* et des herbiers indigènes *T. testudinum* et *S. filiforme***
 - Disponibilité en ressources alimentaires
 - Couplé aux données des biologgers : Préférences alimentaires
 - Apport énergétique ingéré par jour



Cartographie des biocénoses benthiques de Grande Anse d'Arlet (2018)

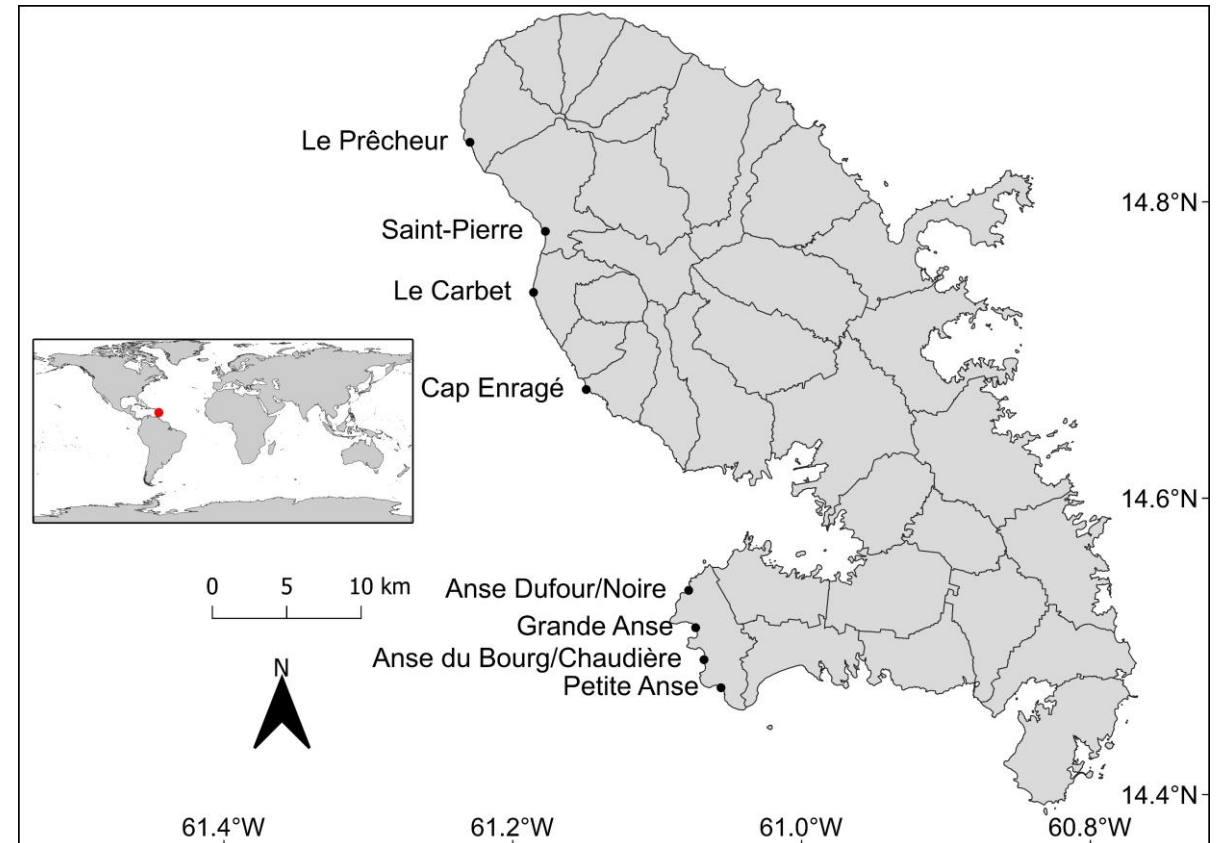


- 2 articles en cours de préparation

Problématique : Déterminer les paramètres démographiques des populations de tortues vertes juvéniles de Martinique.

Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*

Article n°2 : Lelong et al. Estimation of the somatic growth rates of immature green turtles *Chelonia mydas* from Martinique foraging grounds. *in prep.*



Zones prospectées dans le cadre du programme CMR de Martinique



➤ Données CMR de 2011 à 2022, à l'exclusion de 2014

➤ Caractéristiques des données:

Grande Anse d'Arlet (GA) **(A)** :

CCL moyenne = $65,28 \pm 15,26$ cm

N = 430 captures

56% de recaptures

Anse du Bourg d'Arlet / Anse Chaudière (ABAC) **(B)** :

CCL moyenne = $66,02 \pm 13,24$ cm

N = 223 captures

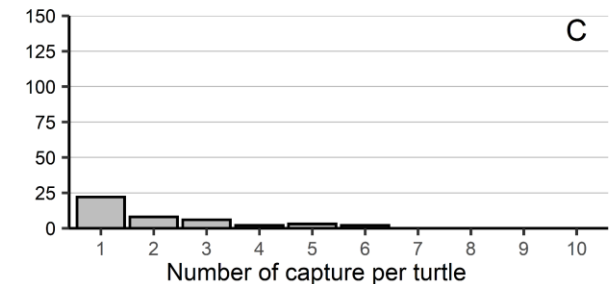
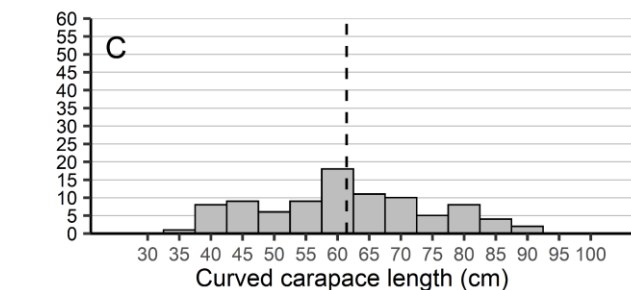
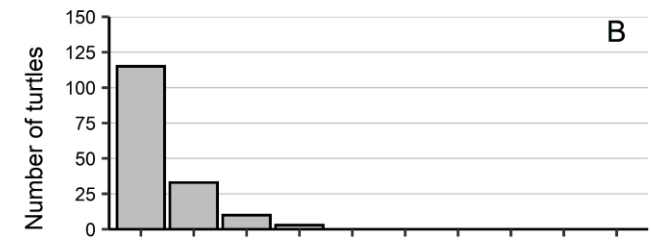
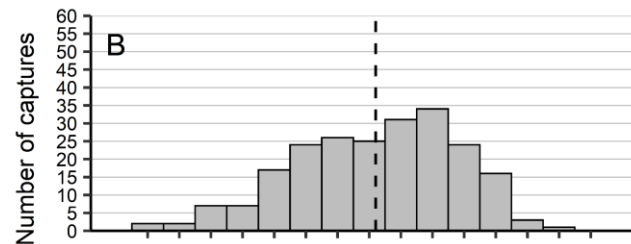
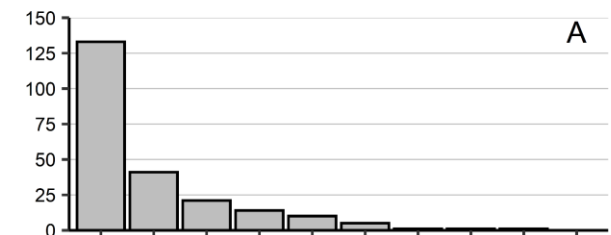
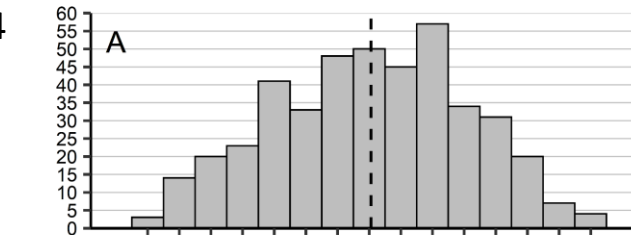
28,7% de recaptures

Anse Noire / Anse Dufour (ANAD) **(C)** :

CCL moyenne = $61,43 \pm 13,43$ cm

N = 85 captures

54,1% de recaptures



Nombre de captures en fonction de la CCL (cm)

Nombre de captures effectuées par tortue



Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



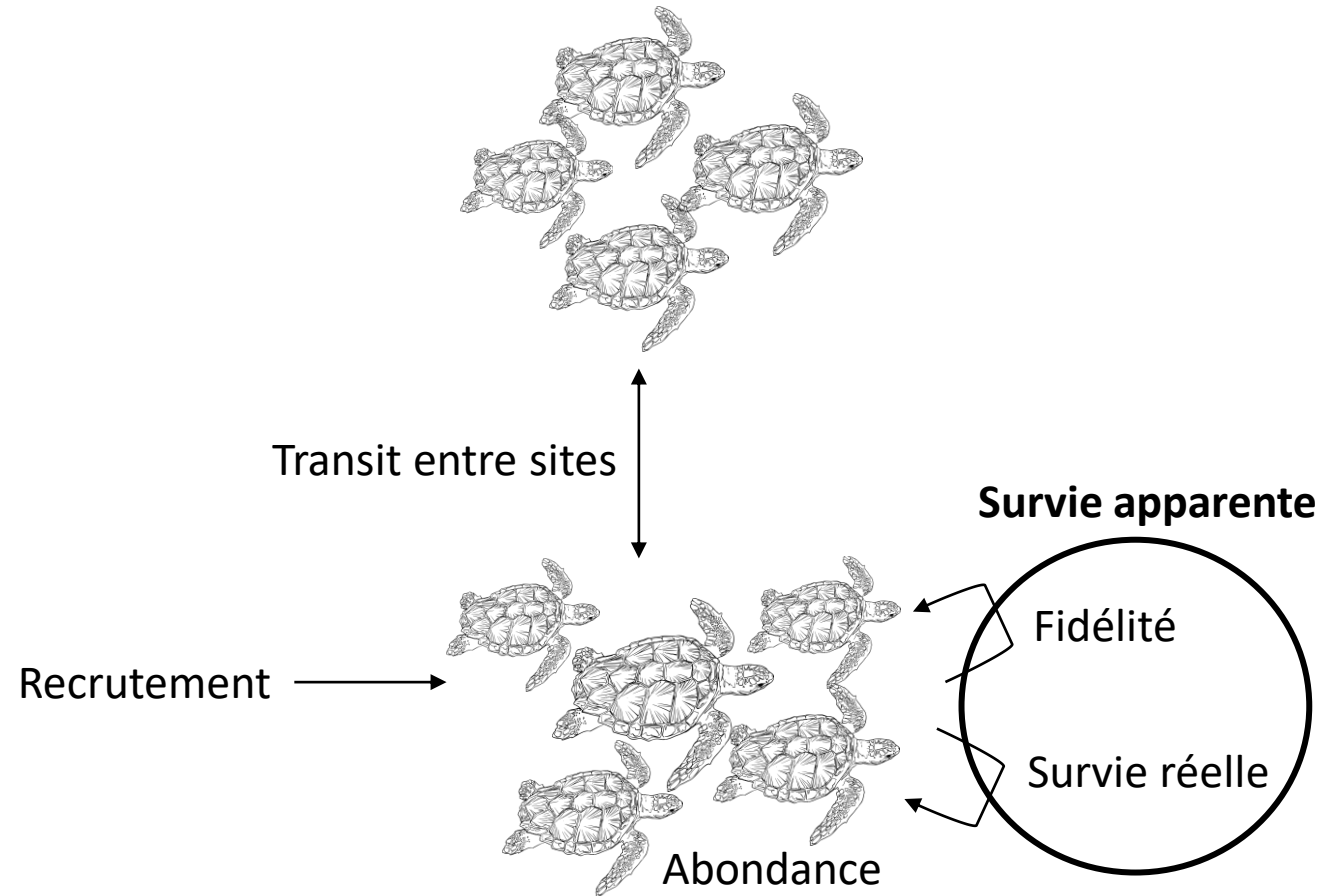
Etat des lieux des paramètres démographiques des populations de tortues vertes juvéniles de Grande Anse et Anse du Bourg/Chaudière

➤ Modèles CMR possibles

Cormack Jolly-Seber
Modèle de Burnham
Multi-états

➤ Modèle choisi

Multi-états Jolly-Seber





Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



➤ Structure du modèle multi-état Jolly-Seber

5 paramètres estimés : ϕ , p , Ψ , pent , π , N

$\text{Pent} * \pi * N$ = Nb de nouvelles tortues par an

$N_i = n_i / p_i$



Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



➤ Structure du modèle multi-état Jolly-Seber

5 paramètres estimés : ϕ , p , Ψ , pent , π , N

$\text{Pent} * \pi * N$ = Nb de nouvelles tortues par an

$N_i = n_i / p_i$

Size class 1 (SC1) = CCL < 59cm

Size class 2 (SC2) = 59cm < CCL < 73cm

Size class 3 (SC3) = 73cm < CCL

Taille minimum de départ en migration observée : 78,5cm



Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



➤ Structure du modèle multi-état Jolly-Seber

5 paramètres estimés : ϕ , p , Ψ , pent , π , N

$\text{Pent} * \pi * N$ = Nb de nouvelles tortues par an

$N_i = n_i / p_i$

Size class 1 (SC1) = CCL < 59cm

Size class 2 (SC2) = 59cm < CCL < 73cm

Size class 3 (SC3) = 73cm < CCL

Taille minimum de départ en migration observée : 78,5cm

➤ Types de transitions possibles entre états

Même site/même classe (SSI/SSC)

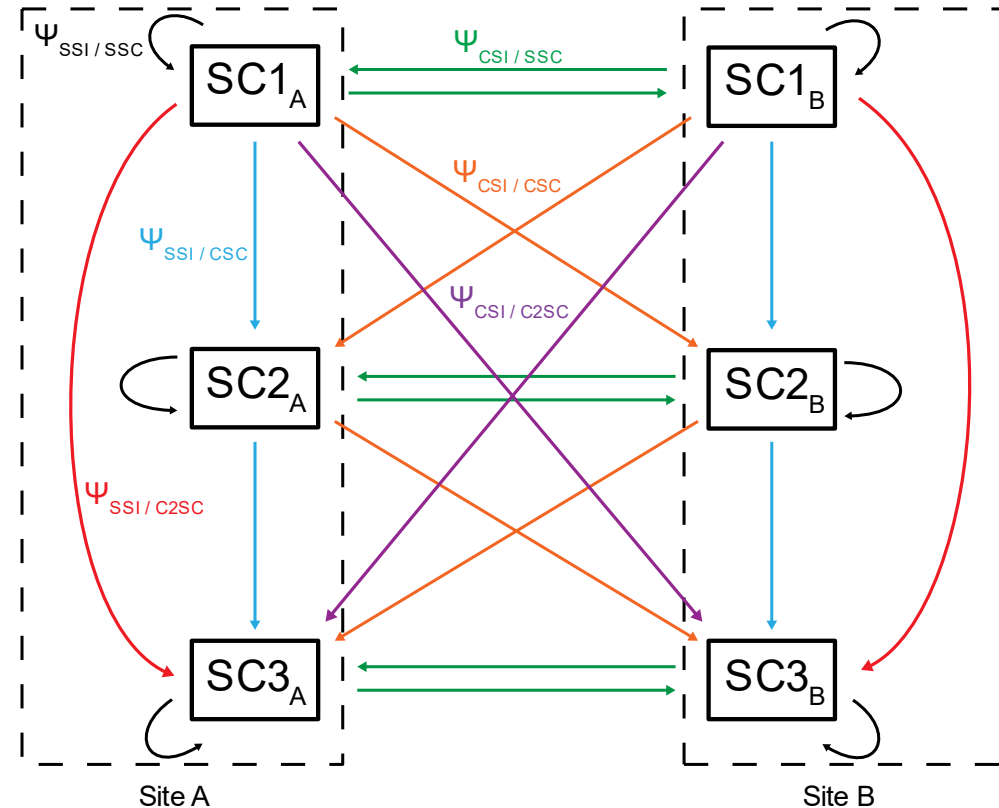
Même site/+1 classe (SSI/CSC)

Change de site/même classe (CSI/SSC)

Change de site/+1 classe (CSI/CSC)

Change de site/+2 classes (CSI/CS2C)

Même site/+2 classes (CSI/CS2C)



Transitions possibles entre les différents états du modèle



Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



➤ Résultats obtenus

Meilleur modèle : $\phi(\text{CT}+t)$ $p(\text{Site} + \log\text{EC} + \text{turbidity})$ $\Psi(\text{T_type})$ $\text{pent}(\text{CT}+t)$ $\pi(\text{CT})$

- Taux de capture varie selon le site, l'effort de capture et la turbidité
- Transitions très faibles entre sites : Forte fidélité aux sites déjà mesurée précédemment
- La survie apparente varie en fonction des classes de taille et du temps
- Le recrutement varie en fonction des classes de taille et du temps

Liste des modèles testés sous MARK

Modèle	Delta AICc	AICc Weights	Num. Par	Deviance
{Phi(CT+ t)p(Site+logEC+Turb)Psi(T_type)pent(CT+ t)pi(CT)}	0	0,97877	31	556,7032
{Phi(CT+SC3 t)p(Site+logEC+Turb)Psi(T_type)pent(CT+ t)pi(CT)}	7,6625	0,02122	31	564,3657
{Phi(CT)p(Site+logEC+Turb)Psi(T_type)pent(CT+ t)pi(CT)}	23,4099	0,00001	26	591,2279
{Phi(CT)p(Site+logEC+ Turb)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	31,4509	0	19	614,4863
{Phi(CT)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(CT)pi(St)}	49,6143	0	20	630,4998
{Phi(CT)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(St)pi(CT)}	51,7893	0	21	630,5171
{Phi(CT)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	51,8547	0	18	637,0322
{Phi(St)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(St)pi(CT)}	52,5045	0	24	624,7106
{Phi(CT)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(St)pi(St)}	52,8349	0	23	627,223
{Phi(St)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	54,3295	0	21	633,0572
{Phi(St)p(Site+logEC)Psi(T_type)pent(St)pi(St)}	54,5794	0	26	622,3974
{Phi(CT)p(Site)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	133,4714	0	17	720,783
{Phi(.)p(Site)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	166,6991	0	15	758,2558
{Phi(Site)p(Site)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	167,6949	0	16	757,133
{Phi(.)p(.)Psi(T_type)pent(CT)pi(CT)}	198,8927	0	14	792,5602
{Phi(.)p(.)Psi(T_type)pent(.)pi(CT)}	244,7349	0	12	842,6012



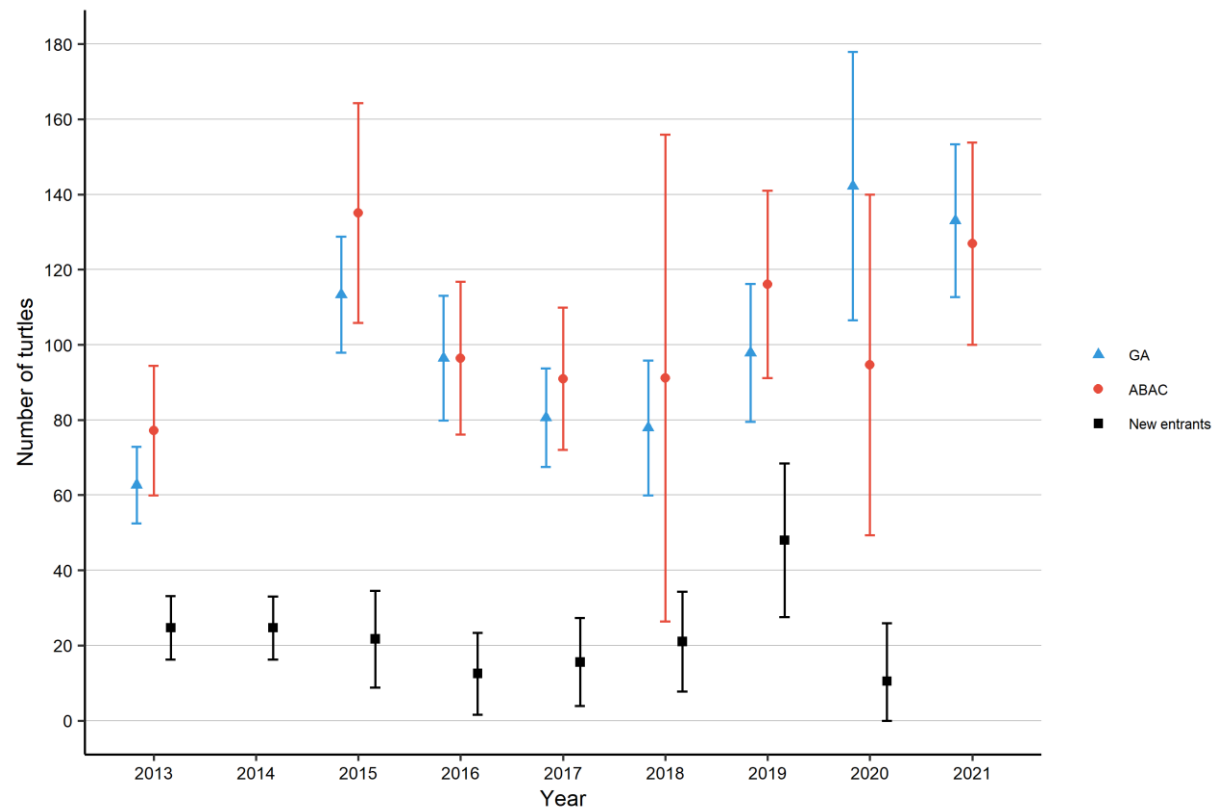
Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



➤ Résultats obtenus

Meilleur modèle :

$\phi(CT+t)$
 $p(\text{Site} + \log EC + \text{turbidity})$
 $\Psi(T_type)$
 $\text{pent}(CT+t)$
 $\pi(CT)$



Abondance de tortues vertes (toutes classes de taille confondues) et recrutement (SC1) par année



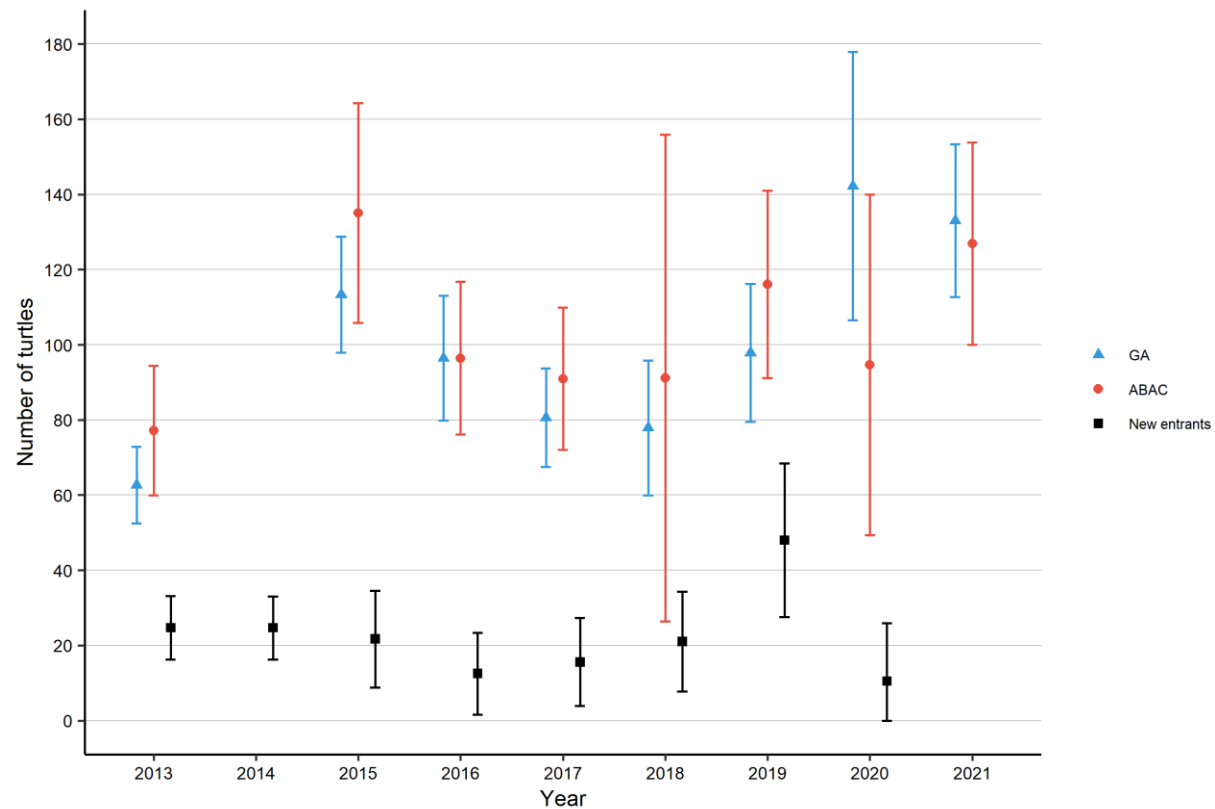
Article n°1 : Lelong et al. First estimation of the demography of two immature green turtle *Chelonia mydas* populations using a multi-state modeling approach, *in prep.*



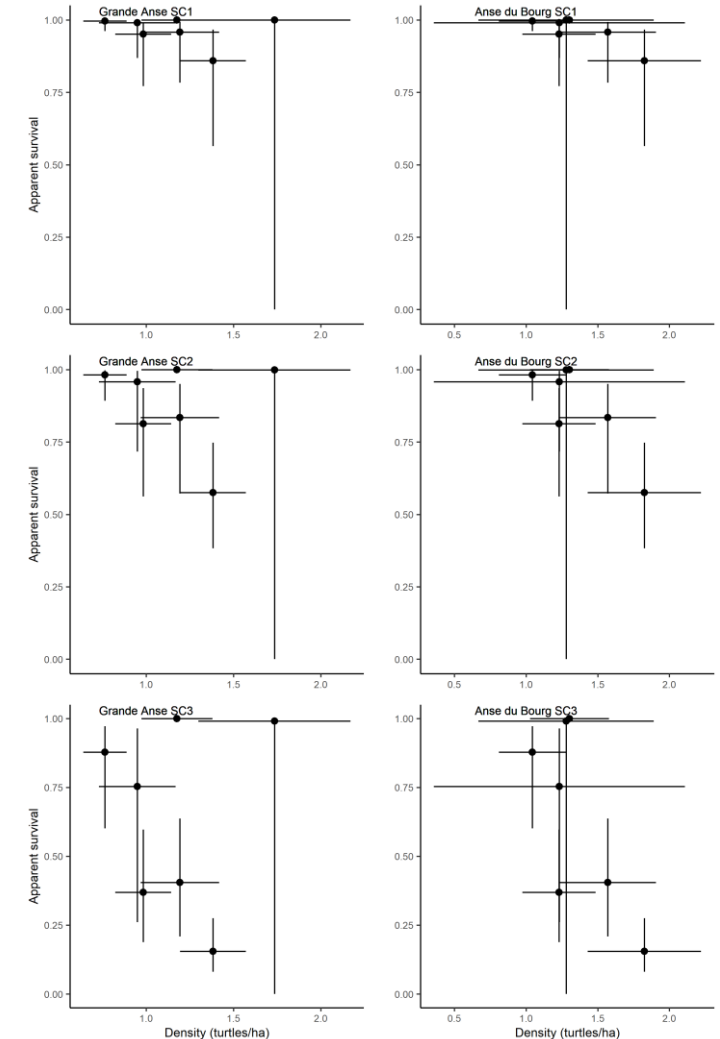
➤ Résultats obtenus

Meilleur modèle :

$\phi(CT+t)$
 $p(\text{Site} + \log EC + \text{turbidity})$
 $\Psi(T_type)$
 $\text{pent}(CT+t)$
 $\pi(CT)$



Abondance de tortues vertes (toutes classes de taille confondues) et recrutement (SC1) par année



Survie apparente en fonction de la densité de tortue (ind/ha)



Article n°2 : Lelong et al. Estimation of the somatic growth rates of immature green turtles *Chelonia mydas* from Martinique foraging grounds. *in prep.*



Détermination de la croissance somatique des juvéniles de tortues vertes de Grande Anse, Anse du Bourg/Chaudière et Anse Noire / Dufour

➤ Modèles utilisés dans la littérature

Modèle additif généralisé (mixte ou non)
= GAM ou GAMM

Permet de tenir compte de la courbe de croissance non linéaire des juvéniles

➤ Paramètres testés

- CCL (cm)
- Site
- Année de capture
- Intervalles de recapture
- Densité de tortues

Effet aléatoire : ID



Article n°2 : Lelong et al. Estimation of the somatic growth rates of immature green turtles *Chelonia mydas* from Martinique foraging grounds. *in prep.*



➤ Résultats obtenus

Résumé du GAMM utilisé pour estimer la croissance des TV juvéniles

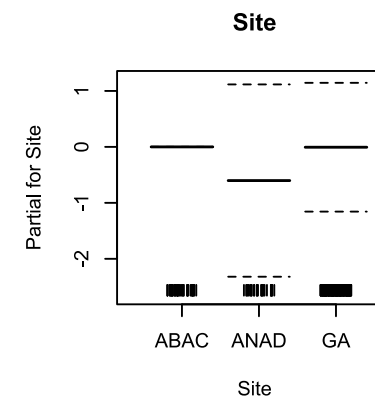
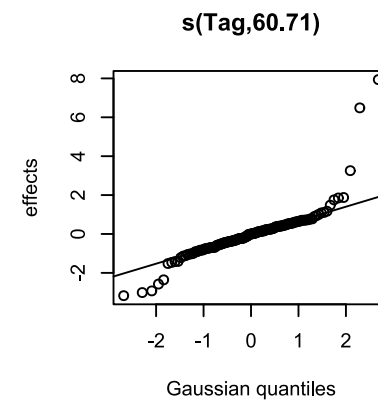
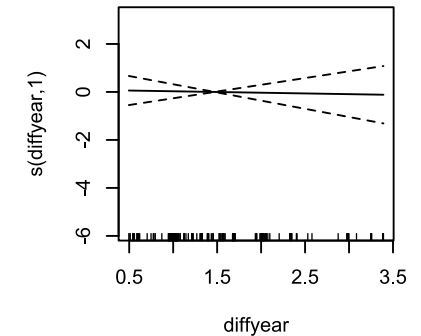
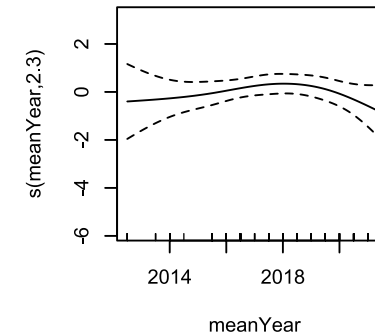
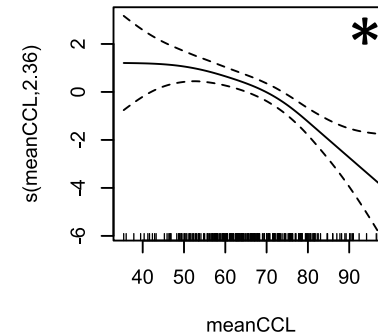
Component	Term	Estimate	Std Error	t-value	p-value
A. parametric coefficients	(Intercept)	6.539	0.496	13.195	0.0000 ***
	SiteANAD	-0.602	0.859	-0.701	0.4845
	SiteGA	-0.006	0.575	-0.010	0.9919

Component	Term	edf	Ref. df	F-value	p-value
B. smooth terms	s(meanCCL)	2.359	2.869	8.770	0.0000 ***
	s(meanYear)	2.297	2.734	0.800	0.3373
	s(diffyear)	1.001	1.002	0.038	0.8485
	s(Tag)	60.711	135.000	0.928	0.0000 ***

Signif. codes: 0 <= '***' < 0.001 < '**' < 0.01 < '*' < 0.05

Adjusted R-squared: 0.395, Deviance explained 0.565

-REML : 388.860, Scale est: 6.356, N: 244



Résumé graphique du GAMM pour les différentes variables testées



Article n°2 : Lelong et al. Estimation of the somatic growth rates of immature green turtles *Chelonia mydas* from Martinique foraging grounds. *in prep.*



➤ Croissance moyenne :

Grande Anse : 6,54cm/an (SE : 0,29)

Anse du Bourg/Chaudière : 6.54cm/an (SE : 0,50)

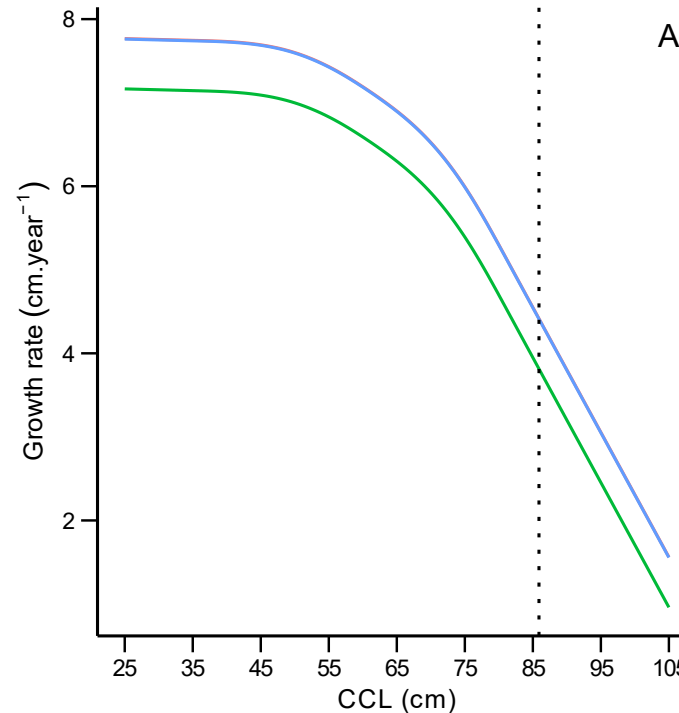
Anse Noire/Anse Dufour : 5.94 cm/an (SE : 0,69)

➤ Temps écoulé pour atteindre 85,9cm :

Grande Anse : 8,94 ans

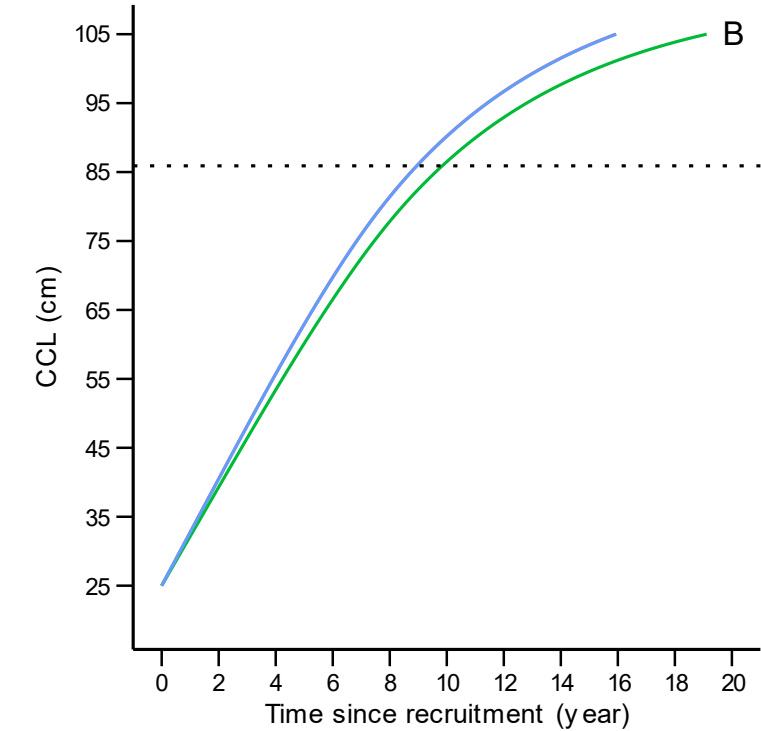
Anse du Bourg/Chaudière : 8,95 ans

Anse Noire/Dufour : 9,84 ans



(A) Croissance (cm/an) en fonction de la CCL (cm)

Site
 — ABAC
 — ANAD
 — GA



(B) CCL (cm) en fonction du temps écoulé depuis recrutement



Perspectives de recherche

- Prévalence observée
- Taux de survie et croissance selon le « tumour score »
- Possibilités de transmission horizontale (Densité de tortues, utilisation de l'habitat, interactions)
- Budget-temps des tortues

Poursuite des campagnes CMR



Perspectives de recherche

Prévalence observée

- Taux de survie et croissance selon le « tumour score »
- Possibilités de transmission horizontale (Densité de tortues, utilisation de l'habitat, interactions)
- Budget-temps des tortues

VS

Prévalence réelle

- Constantes physiologiques (anémie, immunité, corticostérone)
- Bioaccumulation des polluants dans différents tissus
- Activité virale du ChHV5 dans différents tissus
- Variations du génome du ChHV5 entre sites et implications
- Prédispositions génétiques

Poursuite des campagnes CMR

Analyses biopsies



Perspectives de recherche

Prévalence observée

- Taux de survie et croissance selon le « tumour score »
- Possibilités de transmission horizontale (Densité de tortues, utilisation de l'habitat, interactions)
- Budget-temps des tortues

VS

Prévalence réelle

- Constantes physiologiques (anémie, immunité, corticostérone)
- Bioaccumulation des polluants dans différents tissus
- Activité virale du ChHV5 dans différents tissus
- Variations du génome du ChHV5 entre sites et implications
- Prédispositions génétiques

- Saisonnalité de la concentration d'éléments nocifs dans les eaux côtières
- Degré d'exposition des tortues à la pollution côtière
- Lien avec les analyses écotoxicologiques

Poursuite des campagnes CMR

Analyses biopsies

Qualité environnementale

Merci de votre attention !

