

# RAPPORT FINAL GICC

## Impacts de la variabilité climatique sur les ressources vivantes de l'océan Atlantique

### **Coordinateur :**

Jean-Yves Georges, chargé de recherche au CNRS

Centre d'Ecologie et Physiologie Energétiques, CNRS UPR 9010, 23 rue Becquerel, 67087  
Strasbourg

Tel : +33 388 106 947 ; fax : +33 388 106 906 ; mél : [jean-yves.georges@c-strasbourg.fr](mailto:jean-yves.georges@c-strasbourg.fr)

**Septembre 2006**

# SOMMAIRE

<b>1. RAPPEL SUR LE PROJET .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objectifs .....	1
1.2. Partenaires .....	1
<b>2. TRAVAUX ABOUTIS.....</b>	<b>2</b>
2.1. Investissement reproducteur et ONA .....	2
2.2. Saison de ponte et ONA .....	4
2.3. Fréquence de reproduction et ONA .....	5
2.4. Fréquence de reproduction et effort reproducteur.....	6
2.5. intégration des resultats dans un nouveau modèle matriciel de dynamique de populations.....	6
<b>3. CONCLUSIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>4. REFERENCES CITEES .....</b>	<b>9</b>
<b>5. VALORISATION DES TRAVAUX .....</b>	<b>9</b>
5.1. publications .....	9
5.2. conférences.....	9
<b>6. MISSIONS DE TERRAIN EFFECTUEES DANS LE CADRE DU PROJET.....</b>	<b>10</b>

# **1. RAPPEL SUR LE PROJET**

## **1.1. OBJECTIFS**

Le projet propose de tester l'hypothèse selon laquelle les tendances de population observées chez les tortues luth de Guyane sont corrélées aux variations de l'Oscillation Nord Atlantique (ONA) et si tel est le cas, d'intégrer ces paramètres dans un modèle matriciel de dynamique des populations.

Le budget accordé par le GICC avait pour objectif de financer des missions de terrain et des ateliers de travail entre partenaires.

## **1.2. PARTENAIRES**

Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution, UMR 8079, CNRS et Université Paris Sud

Marc Girondot, Professeur UPS

Anne-Caroline Prévot-Julliard, MCU IUUFM Versailles

Jean-Paul Briane, IR CNRS

Philippe Rivalan, ATER UPS

Elodie Guirlet, Doctorante UPS

Johan Chevalier, Doctorant MNHN Paris

Vivien Le Curieux, Stagiaire M2 Environnement UPS

Laurent Ponge, Stagiaire Ecole Pratique des Hautes Etudes

Xavier Desparde, Stagiaire Licence

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, UMR 7178, CNRS et Université Louis Pasteur, Strasbourg

Jean-Yves Georges, CR CNRS

Sabrina Fossette, Doctorante ULP

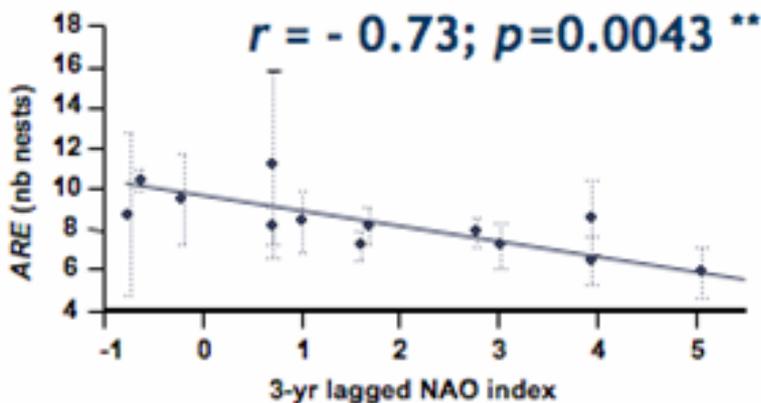
## 2. TRAVAUX ABOUTIS

L'étude de la dynamique des populations de tortues luths ne peut s'effectuer que sur des données de capture-marquage-recapture et est donc limitée à la population de femelles reproductrices. Comme c'est le cas chez la plupart des reptiles, la dynamique de la population est guidée par le nombre de femelles et donc, sauf cas de limitation dans le nombre de mâles, il est possible de considérer la partie mâle de la population comme une boîte noire.

### 2.1. INVESTISSEMENT REPRODUCTEUR ET ONA

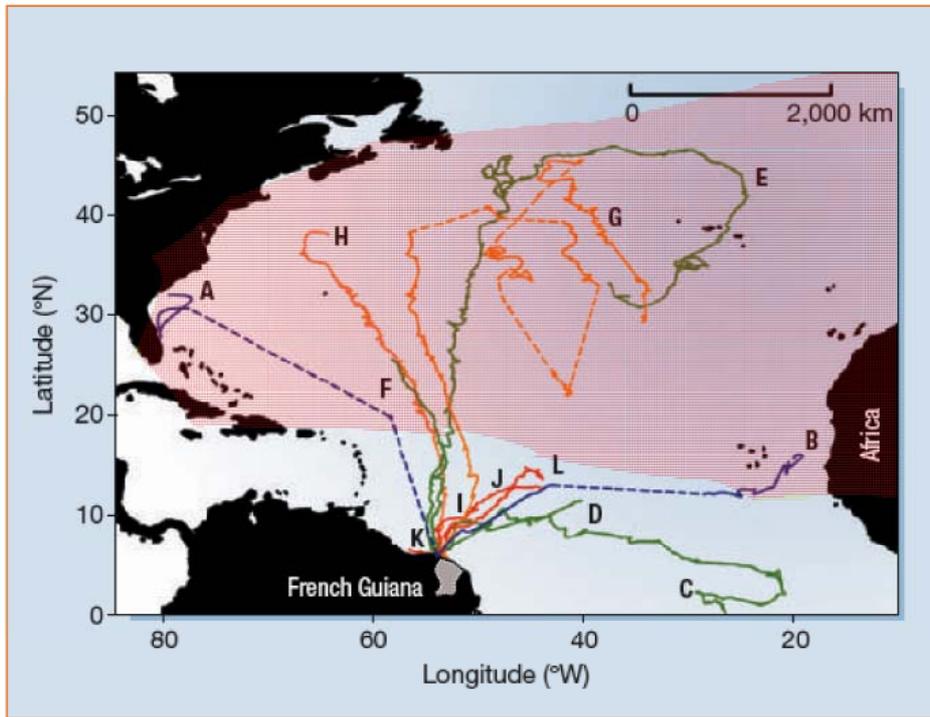
Dans un premier temps, nous avons recherché si le nombre de pontes par femelle (une mesure de l'investissement reproducteur) était corrélé aux conditions climatiques au niveau de l'Atlantique Nord.

La mesure de l'investissement reproducteur utilisée est basée sur le temps de résidence de l'animal sur le site de ponte. Une première tentative a été d'utiliser le Stop-Over (Schaub et al. 2001), une mesure qui prend en compte la probabilité d'arriver sur site et la probabilité de départ associées à une probabilité d'observation. Nous avons montré que le Stop-Over est corrélé à l'indice ONA avec un décalage de trois ans (**Figure 1**).



*Figure 1: Relation entre le Stop-Over et la ONA trois ans avant l'année de ponte.*

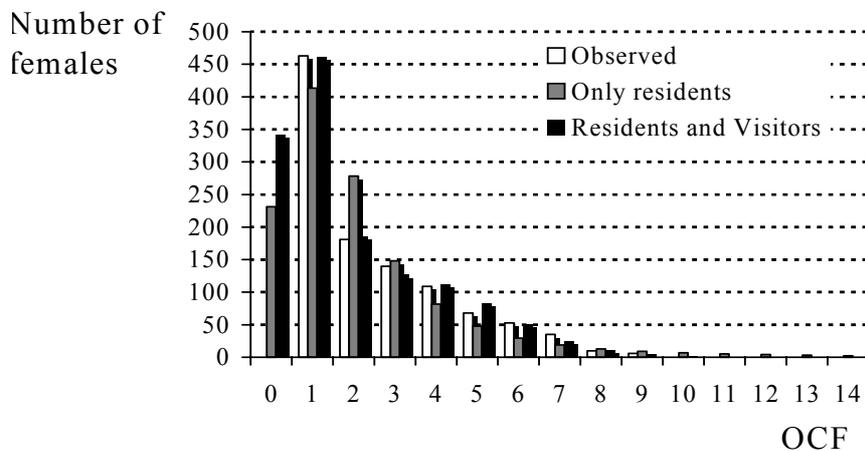
L'investissement reproducteur est d'autant moins important que le ONA était fort trois ans auparavant. Or la partie sud du dipôle du ONA correspond à la zone d'alimentation des tortues luths dans l'Atlantique (**Figure 2**), cette zone étant plus froide et la production biologique moins forte lorsque le ONA est positif.



**Figure 2:** Trajets de tortues luths au départ de Guyane française [2] avec superposition de la partie sud du dipôle du NAO

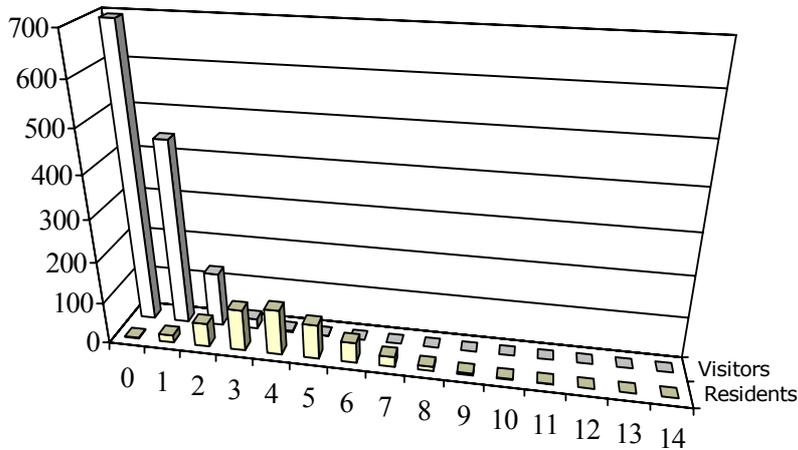
Nous avons développé une alternative à l'utilisation du Stop-Over qui permet d'intégrer facilement une hétérogénéité dans le comportement des femelles, chose que ne peut pas gérer la théorie du Stop-Over. Cette nouvelle méthode permet ainsi de modéliser de manière plus réaliste la distribution du nombre attendu de pontes observés.

Nous montrons que la distribution observée du nombre de pontes par femelle ne s'accorde pas avec un modèle sans hétérogénéité mais plutôt avec un modèle possédant deux catégories de femelles : les **femelles résidentes** et les **femelles visiteuses**, qui se distinguent par leur probabilité d'observation sur le site : modèle n'incluant que les résidents:  $-\ln L=100.02$   $AIC=206.04$  ; modèle incluant résidents et visiteurs:  $-\ln L=33.91$   $AIC=79.83$  (**Figure 3**).



**Figure 3:** Distribution observée du nombre de pontes par femelle (Observed Clutch Frequency) et deux distributions théoriques selon la présence ou non d'une hétérogénéité de capture.

Ce nouveau modèle nous a permis de calculer la distribution exacte du nombre de pontes par femelle, paramètre qui était précédemment biaisé par le Stop-Over (**Figure 4**).



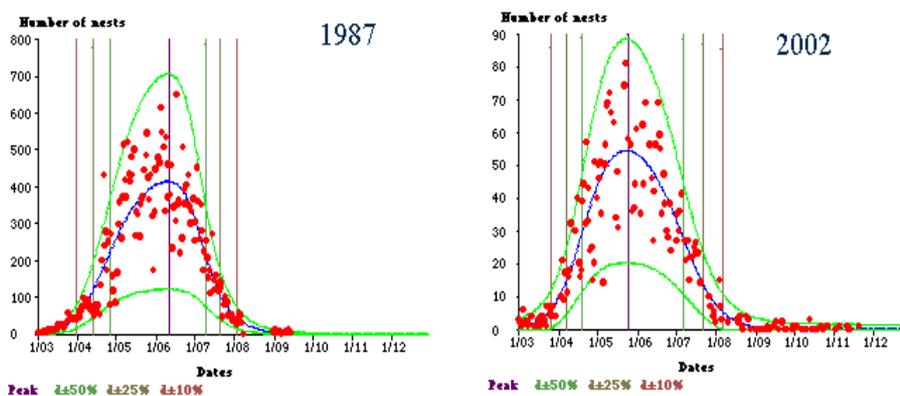
*Figure 4: Nombre de pontes par femelle (Observed Clutch Frequency) effectuées sur la plage de suivi selon les deux catégories de femelles (visiteuse versus résidente)*

Le ONA aurait donc une influence sur le nombre moyen de pontes des femelles. On peut donc s'attendre à ce que la saison de pontes soit d'autant plus longue que l'ONA a été faible 3 ans auparavant.

## 2.2. SAISON DE PONTE ET ONA

Nous avons donc développé une description statistique de la saison de ponte pour tester cette hypothèse.

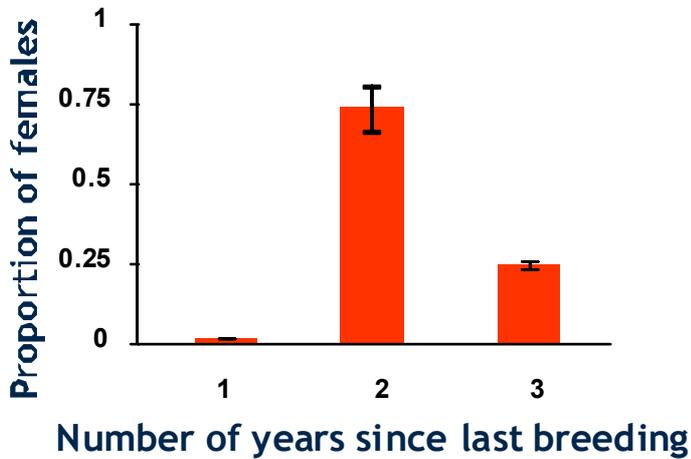
Nous montrons que la longueur de la saison de ponte en Guyane est effectivement dépendante du ONA avec un décalage de 3 ans (**Figure 5**).



*Figure5: Exemples de modélisation statistique de la saison de ponte de la tortue luth en Guyane française*

### 2.3. FREQUENCE DE REPRODUCTION ET ONA

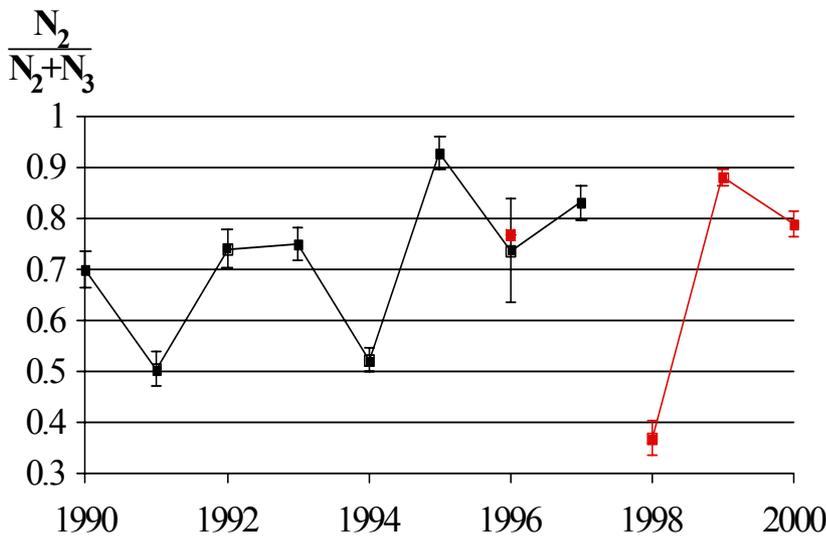
Les tortues luth ne pondent pas tous les ans (Rivalan et al. 2005). Un modèle de capture-marquage-recapture multi-états a permis de montrer qu'une majorité d'animaux revenait après 2 ans, moins après 3 ans mais quasiment aucun (#1/1000) après un an (**Figure 6**).



*Figure 6: Probabilité de retour sur le site de ponte après 1, 2 ou 3 ans.*

La zone océanique que fréquentent les tortues luth pendant leur migration étant dans la zone d'influence du ONA (Ferraroli et al. 2004, **Figure 2**), on peut donc s'attendre à ce que le facteur déterminant un retour après 2 ou 3 ans soit lié au ONA.

Pour chaque année disponible, nous avons donc recherché comment variait la proportion des femelles revenant pondre après 2 versus 3 ans de migration (**Figure 7**).



*Figure 7: Proportion des femelles revenant après 2 ans ( $N_2$ ) ou 3 ans ( $N_3$ ) en fonction de l'année de dernière ponte. Les points noirs sont les données de bague et les points rouge ceux de transpondeurs électroniques.*

Nous avons développé un modèle linéaire généralisé avec un lien binomial prenant en compte la survie annuelle des individus et la probabilité de perte des bagues. Ce nouveau modèle montre que la probabilité de retour à 2 ou 3 ans dépend de la valeur du ONA 2 ans auparavant et ONA de l'année en cours ainsi que de leur interaction (**Figure 8**).

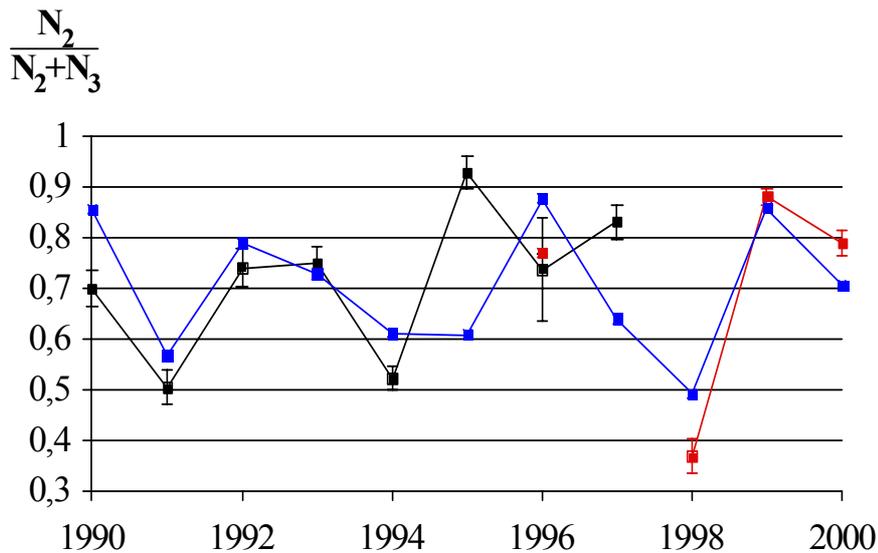


Figure 8: idem à la figure 7, superposé aux sorties du modèle GLM (en bleu).

## 2.4. FREQUENCE DE REPRODUCTION ET EFFORT REPRODUCTEUR

Nous montrons que les animaux revenant après 3 ans investissent plus dans la reproduction qu'un animal revenant après 2 ans (**Figure 9**, Rivalan et al. 2005).

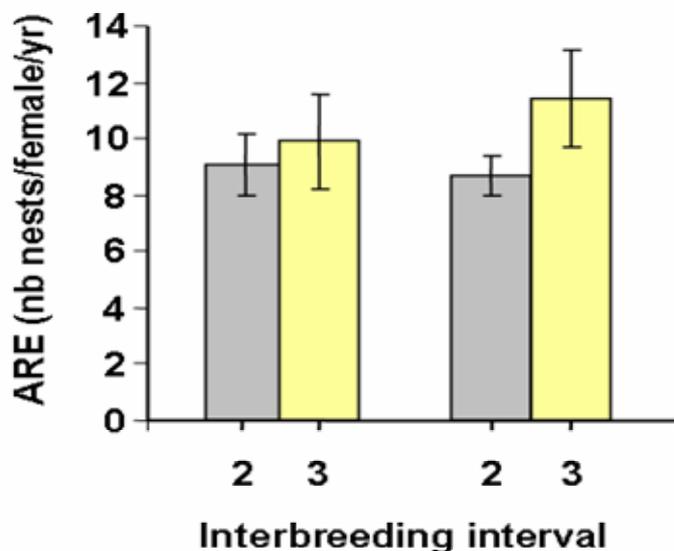
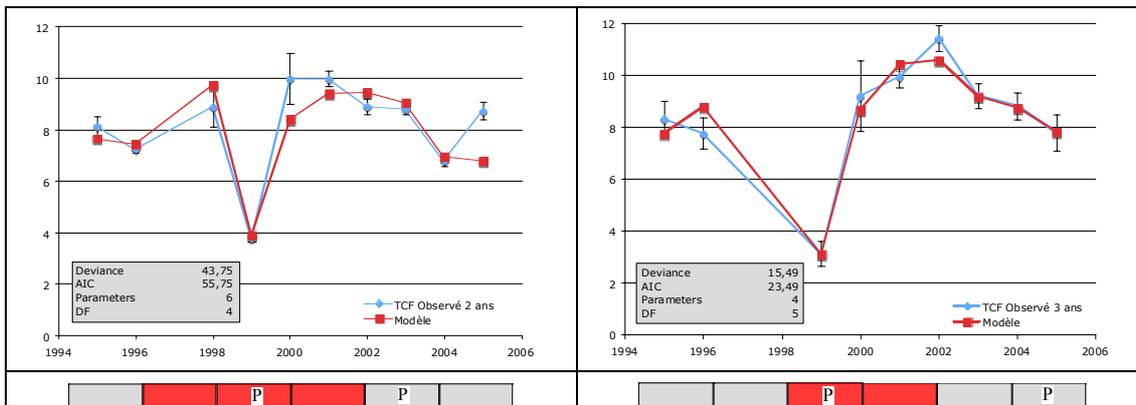


Figure 9: Investissement reproducteur en fonction du nombre d'années depuis la dernière ponte.

## 2.5. INTEGRATION DES RESULTATS DANS UN NOUVEAU MODELE MATRICIEL DE DYNAMIQUE DE POPULATIONS

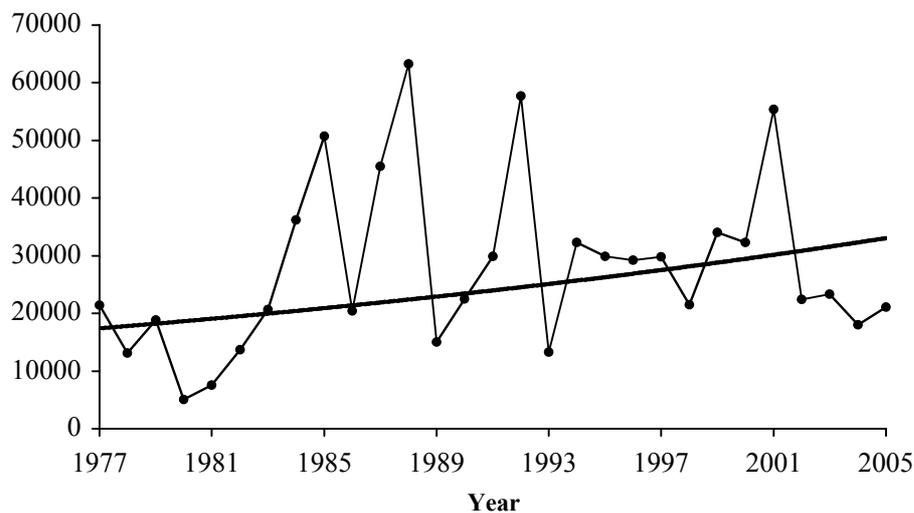
Nous venons de voir un effet du  $NAO_2$  et du  $NAO_0$  sur la probabilité de retour à 2 ou 3 ans ainsi qu'un effet du  $NAO_3$  sur l'investissement reproducteur. Mais nous avons aussi montré que les animaux qui reviennent après 2 ou 3 ans n'investissent pas autant dans la reproduction : un animal qui reste 3 ans sur le site d'alimentation investira plus dans la reproduction qu'un animal revenant après 2 ans (Rivalan et al. 2005).

Nous avons généralisé ces résultats en mettant en relation l'investissement reproductif des femelles revenues après 2 ou 3 ans en fonction du NAO des années précédentes (**Figure 10**).



**Figure 10: Investissement reproducteur en fonction du nombre d'années précédent la dernière ponte. Le graphique de gauche représente les femelles revenues après 2 ans et celui de droite celles revenues après 3 ans. Le graphique bleu représente les données observées et la courbe rouge le modèle sélectionné par AIC (Akaike 1973). Les graphiques situés sous ces courbes représentent le temps (une année par case), les évènements de ponte (P) et les années montrant un effet significatif de l'ONA sur l'investissement reproductif (cases rouges).**

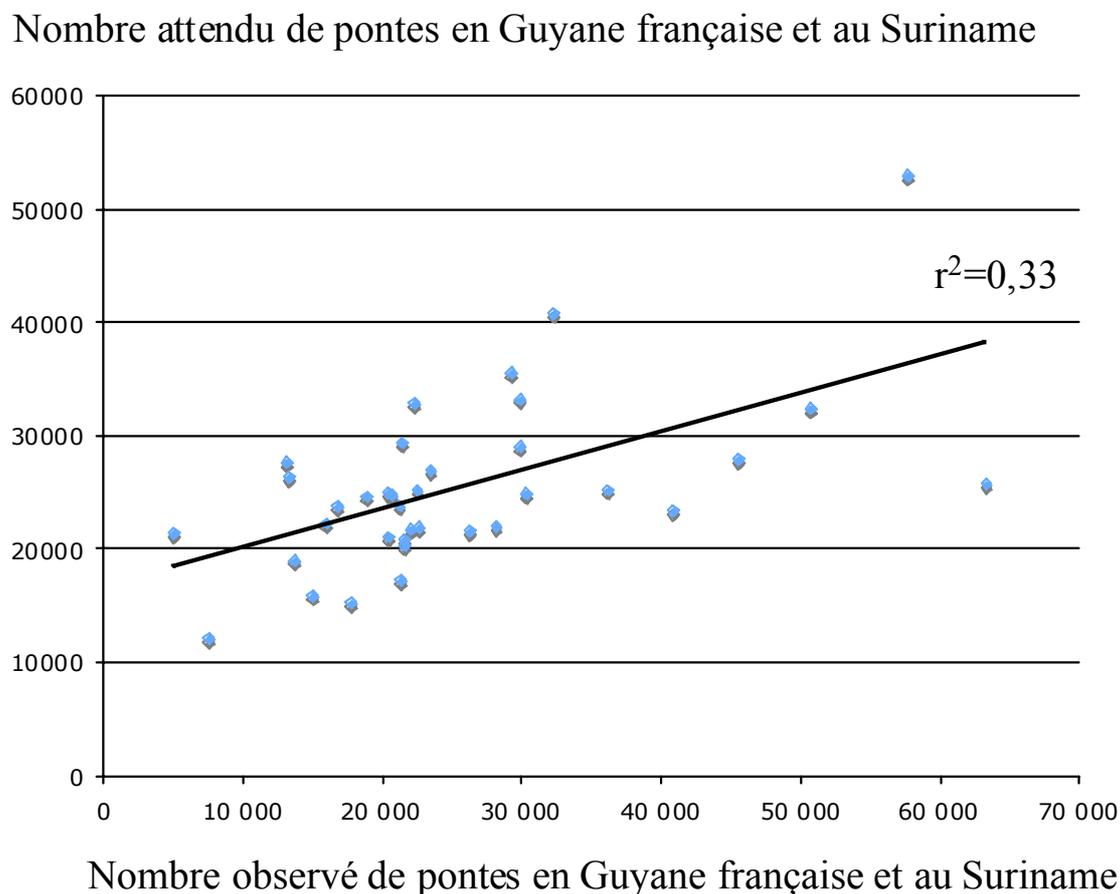
Nous avons reconstruit la série temporelle du nombre de nids déposés en Guyane par les tortues luth sur une échelle de 30 ans avec une assez bonne précision (**Figure 11**).



**Figure 11 : Nombre de pontes de tortues luths au Suriname et en Guyane française depuis 30 ans (Girondot et al. 2006)**

La comparaison du nombre de pontes observées avec le nombre de pontes attendues (en intégrant l'ensemble des paramètres identifiés au cours de ce projet) ainsi que l'évolution séculaire de l'ONA (Hurrell et al. 1995) permet de déterminer la part expliquée par les phénomènes décrits ici sur l'évolution du nombre de nids en Guyane et au Suriname.

Dans ce modèle, la survie est fixée à 1 et la reproduction à 0. On étudie donc seulement l'effet des facteurs de l'environnement sur la distribution d'un stock de femelles au cours des années. Les sorties du modèle présentent une assez bonne adéquation avec les données observées. Le modèle basé sur l'effet de l'ONA sur le nombre de pontes des femelles et sur la probabilité de retour sur site explique 33% de la variabilité du nombre de pontes déposées annuellement dans la région (**Figure 12**).



*Figure 12: Relation entre le nombre observé de pontes en Guyane française et au Suriname et le nombre attendu basé sur l'effet du NAO sur la reproduction des femelles.*

### 3. CONCLUSIONS

Nous avons montré un très fort effet de l'ONA sur la ponte des tortues luth en Guyane française et au Suriname. Cet effet est mesuré à la fois sur le nombre de pontes déposées par les femelles ainsi que sur la probabilité de retour sur site après 2 ou 3 ans.

La prise en compte de cet effet dans un nouveau modèle de dynamique de populations établi au cours de ce projet explique 33% des variations interannuelles des pontes observées en Guyane française et au Suriname.

#### 4. REFERENCES CITEES

1. Schaub M, Pradel R, Jenni L, Lebreton J-D: **Migrating birds stop over longer than usually thought: an improved capture-recapture analysis.** *Ecology* 2001, **82**:852-859.
2. Ferraroli S, Georges J-Y, Gaspar P, Le Maho Y: **Where leatherback turtles meet fisheries.** *Nature* 2004, **249**:521-522.
3. Girondot M, Rivalan P, Wongsopawiro R, Briane J-P, Hulin V, Caut S, Guirlet E, Godfrey MH: **Phenology of marine turtle nesting revealed by a statistical model of the nesting season.** *BMC Ecology* 2006a, **6**:11.
4. Rivalan P, Prévot-Julliard A-C, Choquet R, Pradel R, Jacquemin B, Briane J-P, Girondot M: **Trade-off between current reproduction investment and delay until next reproduction in the leatherback sea turtle.** *Oecologia* In press.
5. Akaike H: **Information theory and an extension of the maximum likelihood principle.** In: *International Symposium on Information Theory: 1973; Akademia Kiadi, Budapest, Hungary; 1973*: 267-281.
6. Girondot M, Godfrey MH, Ponge L, Rivalan P: **Historical records and trends of leatherbacks in French Guiana and Suriname.** *Chelonian Conservation and Biology* 2006b, In press.
7. Hurrell JW: **Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation.** *Science* 1995, **269**:676-679.

#### 5. VALORISATION DES TRAVAUX

##### 5.1. PUBLICATIONS

- Girondot M, Godfrey MH, Ponge L, Rivalan P: **Historical records and trends of leatherbacks in French Guiana and Suriname.** *Chelonian Conservation and Biology* In press.
- Girondot M, Rivalan P, Wongsopawiro R, Briane J-P, Hulin V, Caut S, Guirlet E, Godfrey MH: **Phenology of marine turtle nesting revealed by a statistical model of the nesting season.** *BMC Ecology* 2006, **6**:11.
- Rivalan P, Pradel R, Choquet R, Girondot M, Prévot-Julliard A-C: **Estimating clutch frequency in marine turtles through stopover duration.** *Mar Ecol-Prog Ser* 2006, In press.
- Rivalan P, Pradel R, Choquet R, Girondot M, Prévot-Julliard A-C: **Estimating survival rate in presence of tag-loss in the Leatherback sea turtle.** *Chelonian Conservation and Biology* In press.
- Rivalan P, Prévot-Julliard A-C, Choquet R, Pradel R, Jacquemin B, Briane J-P, Girondot M: **Trade-off between current reproduction investment and delay until next reproduction in the leatherback sea turtle.** *Oecologia* 2005, **145**:564-574.

##### 5.2. CONFERENCES

- Girondot, M., Georges, J.-Y., Rivalan, P., Prévot-Julliard, A.-C. 2005. North-Atlantic global climate influences the nesting behaviour of leatherback turtles in French Guiana. 5<sup>th</sup> World Congress of Herpetology, Stellenbosch, South-Africa, 19-24 June 2005.

## 6. MISSIONS DE TERRAIN EFFECTUEES DANS LE CADRE DU PROJET

Sabrina Fossette	30 mars – 8 août 2005*
	20 mars – 1 août 2006*
Jean-Yves Georges	30 mars – 30 juin 2005*
	20 mars – 1 août 2006
Johan Chevalier	14 avril – 3 mai 2005
Elodie Guirlet	14 avril – 25 avril 2005
	20 mars – 25 juin 2006
	28 juillet – 31 août 2006
Vivien le Curieux	14 avril – 16 juin 2005
	17 juillet- 18 août 2005
Xavier Desparde	20 mars – 25 juin 2006
	28 juillet – 31 août 2006
Laurent Ponge	2 juillet – 17 juillet 2006
Marc Girondot	2 juillet – 17 juillet 2006

\* ces 3 missions ont bénéficié d'un financement autre que celui du GICC.