

# Rapport d'activités : Suivi des pontes 2019-20 et étude préliminaire des tortues marines *Caretta caretta* sur le site du Grand Lagon Sud de Nouvelle-Calédonie

---

HUGO BOURGOGNE, MARC OREMUS

Rapport d'activités rédigé par l'antenne Nouvelle-Calédonie du WWF-France,



---

*WWF Nouvelle-Calédonie  
Parc Forestier Michel Corbasson  
Rue du Mont Té – Montravel  
BP 692 – 98845 Nouméa Cedex  
Nouvelle-Calédonie*

*Standard : +687 27 50 25  
secretariat@wwf.nc  
www.wwf.fr*

---



## Table des matières

<b>1- Remerciements et autorisations .....</b>	<b>5</b>
<b>2- Introduction .....</b>	<b>5</b>
Thématiques abordées par l'étude d'acquisition de connaissances .....	7
<b>2- Étude préliminaire de la connectivité entre les tortues <i>Caretta caretta</i> du Grand Lagon sud et de La Roche Percée en période de reproduction.....</b>	<b>8</b>
2-1- Connectivité intra-annuelle : utilisation de la télémétrie satellitaire .....	9
2-2- Connectivité inter-saisonnière : utilisation d'une méthode de baguage .....	12
Conclusions du chapitre/futures perspectives .....	14
<b>3- Fréquentation et distribution spatio-temporelle des activités de pontes de tortues <i>Caretta caretta</i> sur le site du Grand Lagon Sud .....</b>	<b>15</b>
3-1- Effort de recherche développé pour le suivi des activités de ponte dans le GLS.....	16
3-2- Intensité des activités de ponte : comparaison inter-saison.....	19
3-3- Variabilité spatio-temporelle des activités de ponte : identification des zones de conservation prioritaires et des fenêtres de protection efficaces .....	19
3-4- Influence des caractéristiques géomorphologiques des îlots sur la distribution de l'activité de ponte à l'échelle du Grand Lagon Sud (Contribution OBLIC – Myriam Vendée-Leclerc).....	22
Conclusions du chapitre .....	31
<b>4- Étude du succès de ponte observé dans le Grand Lagon Sud : une évaluation de la qualité du site de ponte .....</b>	<b>32</b>
4-1- Variabilité spatio-temporelle du succès de ponte sur les îlots du GLS .....	32
4-2- Variabilité du succès de ponte entre les sites de ponte du GLS et de Bourail .....	35
Conclusions du chapitre .....	35
<b>5- Estimation de la production de mâles sur le site de ponte du GLS : un indicateur du potentiel de résilience de l'espèce à l'échelle régionale.....</b>	<b>36</b>
5-1- Établissement des profils de température dans les nids du GLS et de la Roche Percée et estimation des sex-ratios.....	37
Conclusions du chapitre .....	39
<b>6- Bibliographie .....</b>	<b>41</b>

## Table des illustrations

FIGURE 1 : ZONE D'ETUDE DU GRAND LAGON SUD, A L'EXTREMITE MERIDIONALE DE LA GRANDE TERRE DE NOUVELLE-CALÉDONIE.....	7
FIGURE 2 : MANIPULATION ET DEPLOIEMENT D'UNE BALISE SATELLITE ARGOS SUR UNE FEMELLE CARETTA CARETTA.....	9
FIGURE 3 : CORRELATION ENTRE LA DATE DE BALISAGE ET LE NOMBRE DE JOURS AVANT LE DEPART EN MIGRATION. ....	11
FIGURE 3 : (A) DEPLACEMENTS DES DIX TORTUES EQUIPEES DE BALISES SATELLITES SUR LES ILOTS DU GLS ET (B) DES DIX-SEPT INDIVIDUS EQUIPES SUR LE SITE DE BOURAIL DES DEPUIS 2016-17 .....	12
FIGURE 4 : MANIPULATION ET BAGUAGE D'UNE FEMELLE CARETTA CARETTA SUR UN ILOT DU GLS .....	13
FIGURE 6 : RELEVES DES D'ACTIVITES DE TORTUES EN ACTION DE PONTE. A : TRACES DE LOCOMOTION DE TORTUE CARETTA CARETTA ; B : CUVETTE SANS PONTE ; C : TRACES CARACTERISTIQUES D'UNE ACTIVITE DE PONTE « PRESUMEE » .....	18
FIGURE 7 : VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE L'ACTIVITE DE PONTE AU COURS DE LA SAISON 2019-2020 ET SUR L'ENSEMBLE DES TROIS SAISONS CUMULEES. ....	21
FIGURE 8 : DISTRIBUTION RELATIVE DES ACTIVITES DE PONTE A L'ECHELLE DES ILOTS DU GLS AU COURS DE LA SAISON 2017-2018 ; 2018-2019 ET 2019-20. ....	22
FIGURE 9 : INDICATEURS DECRITS A PARTIR D'OBSERVATIONS DE TERRAIN : EN HAUT A GAUCHE, DALLE DE BEACHROCK SURELEVEE ET DEMANTELEE CONSTITUANT UN FACTEUR DEFAVORABLE A LA NIDIFICATION (ILOT LEROUE) ; EN HAUT A DROITE, ZONE EN EROSION AVEC NOMBREUX DEBRIS VEGETAUX, RACINES ET SOUCHES D'ARBRES CONSTITUANT UN FACTEUR DEFAVORABLE A LA NIDIFICATION DES TORTUES (ILOT N'DO) ; EN BAS, TALUS D'EROSION CONSTITUANT UN OBSTACLE A LA NIDIFICATION (ILOT KOUARE) .....	24
FIGURE 10 : PARAMETRES EXTRAITS DE TRAITEMENTS SIG : EN HAUT A GAUCHE, LARGEUR DE PLATIER RAPPORTEE A UN POINT TOUTS LES 10 M (ILOT REDIKA) ; EN HAUT A DROITE, LOCALISATION DES BEACHROCKS (ILOT N'DO) ; EN BAS A GAUCHE, TENDANCE D'EVOLUTION (EROSION, ACCRETION ET STABILITE) (ILOT ATIRE) ; EN BAS A DROITE, PLATEFORME RECIFALE ET LOCALISATION DE PASSE (ILOT N'GE).....	25
FIGURE 11 : LOCALISATION DES ILOTS VISITES AU COURS DE LA MISSION DU 28 AU 29 FEVRIER 2020.....	25
FIGURE 12 : DECOUPAGE DU TRAIT DE COTE DE L'ILOT D'DO PAR SECTEUR DE NATURE GEOMORPHOLOGIQUE ET CONTEXTE HOMOGENES .....	26
FIGURE 13 : CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE NIDIFICATION DES TORTUES DE L'ILOT N'DO.....	27
FIGURE 14 : CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE NIDIFICATION DES TORTUES DE L'ILOT N'GE.....	28
FIGURE 15 : CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE NIDIFICATION DES TORTUES DE L'ILOT ATIRE .....	29
FIGURE 16 : CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE NIDIFICATION DES TORTUES DE L'ILOT REDIKA .....	30
FIGURE 17 : CARTOGRAPHIE DES SUCCES DE PONTE ESTIMES SUR LES ILOTS DU SUIVI RAPPROCHE AU COURS DES TROIS DERNIERES SAISONS.....	34
FIGURE 18 : COMPARAISON DES SUCCES DE PONTE ESTIMES SUR LE SITE DE LA ROCHE PERCEE (DONNEES BWÄRÄ TORTUES MARINES) ET SUR LE GLS (DONNEES WWF-FRANCE) .....	35
FIGURE 11 : VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE DANS LES NIDS EN INCUBATION SUR LES SITES DU GLS ET DE BOURAIL.....	39

## Table des tableaux

TABLEAU 1 : NOMBRE DE BALISES SATELLITES ARGOS DEPLOYEES SUR LE SITE DU GLS ET CELUI DE BOURAIL DEPUIS 2016.....	12
TABLEAU 2 : RESULTATS DE LA METHODE DE CMR SUR LES SITES DU GLS ET CELUI DE BOURAIL DEPUIS 2016-17 .....	13
TABLEAU 3 : EFFORT DE RECHERCHE ET MODALITES DES PROSPECTIONS DES ILOTS DU SUIVI RAPPROCHE SUR LA SAISON 2019-2020	18
TABLEAU 4 : NOMBRE DE PONTES RECENSEES SUR LES ILOTS DU SUIVI RAPPROCHE AU COURS DES TROIS DERNIERES SAISONS. LA REPRESENTATIVITE DES ILOTS EST INDIQUEE A TRAVERS LE POURCENTAGE DU TOTAL DES PONTES QU'ILS CONCENTRENT. ....	20
TABLEAU 5 : LES CRITERES UTILISES POUR DETERMINER LE POTENTIEL DE NIDIFICATION DES TORTUES SUR UN ILOT .....	23
TABLEAU 6 : ANALYSE DE CHAQUE SECTEUR COTIER DE L'ILOT N'DO POUR L'ENSEMBLE DES CRITERES.....	26
TABLEAU 7 : POURCENTAGE DE LINEAIRE COTIER SELON LE POTENTIEL DE NIDIFICATION ET POURCENTAGE DE PONTE PAR TYPE DE LINEAIRE DE L'ILOT N'DO .....	27
TABLEAU 8 : POURCENTAGE DE LINEAIRE COTIER SELON LE POTENTIEL DE NIDIFICATION ET POURCENTAGE DE PONTE PAR TYPE DE LINEAIRE DE L'ILOT N'GE .....	28

TABLEAU 9 : POURCENTAGE DE LINEAIRE COTIER SELON LE POTENTIEL DE NIDIFICATION ET POURCENTAGE DE PONTE PAR TYPE DE LINEAIRE DE L'ILOT ATIRE .....	29
TABLEAU 10 : POURCENTAGE DE LINEAIRE COTIER SELON LE POTENTIEL DE NIDIFICATION ET POURCENTAGE DE PONTE PAR TYPE DE LINEAIRE DE L'ILOT REDIKA .....	30
TABLEAU 11: RESULTATS PRELIMINAIRES SUR LES ILOTS REDIKA, ATIRE, N'DA ET N'GE .....	31
TABLEAU 12 : SUCCES DE PONTE (EN %) ESTIME SUR LES DIFFERENTS ILOTS DU SUIVI RAPPROCHE AU COURS DES TROIS DERNIERES SAISONS.....	33
TABLEAU 13 : TEMPERATURE MOYENNE, TEMPERATURE MOYENNE AU COURS DU SECOND TIERS DE L'INCUBATION ET POURCENTAGE DE FEMELLES ESTIME DES NIDS ETUDIES SUR DIFFERENTES CONDITIONS D'INCUBATION A LA ROCHE PERCEE ET DANS LE GRAND LAGON SUD.....	38

## 1- Remerciements et autorisations

Cette étude a pu être réalisée avec le soutien de la province Sud (C.674-19) et Te Me Um (AFB/2018/348). La partie suivi satellite ici valorisée a été réalisée dans le cadre d'un projet parallèle du WWF-France, projet SAT-NC, développé grâce au soutien de Fondation Descroix-Vernier, en partenariat avec le Gouvernement de Nouvelle-Calédonie, les trois Provinces, l'Aquarium des Lagons de Nouméa et l'association Bwärä Tortues Marines.

L'analyse des captures-recaptures par baguage a été possible grâce aux données collectées et partagées par nos partenaires de Bwärä Tortues Marines. Enfin, l'analyse préliminaire de l'influence de la géomorphologie des îlots sur les pontes de tortues a été réalisée en collaboration avec l'Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie (OBLIC).

La présente étude a été réalisée sous couvert d'autorisation délivrées par la province Sud relative à l'accès et à l'utilisation de ressources biologiques, génétiques et biochimiques et une dérogation relative aux aires protégées et aux espèces protégées (Arrêté N°3514-2018/ARR/DENV du 16 novembre 2018, 3796-2019/ARR/DENV).

## 2- Introduction

La tortue « grosse tête » *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) est l'une des sept espèces de tortues marines retrouvées mondialement et présente une répartition cosmopolite dans les eaux chaudes et tempérées de la planète. L'espèce est inscrite sur la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) et bénéficie du statut d'espèce « Vulnérable » depuis 2015 à l'échelle mondiale [1] du fait d'une chute globale des effectifs des populations, principalement liée à l'urbanisation et l'industrialisation des littoraux, l'intensification des systèmes de pêcheries à l'origine de phénomènes de prises accessoires, la pollution des océans ainsi que les modifications environnementales résultant du changement climatique.

Cette espèce a également fait l'objet d'évaluations de son statut de conservation par l'UICN à l'échelle de certaines régions présentant des situations différentes du statut retenu à l'échelle globale. C'est le cas de la sous-population de *C. caretta* du Pacifique Sud qui est aujourd'hui classée en « Danger Critique d'Extinction » [6]. Ce statut extrêmement précaire découle d'une baisse drastique des effectifs, de l'ordre de 80 % depuis les années 70.

Cette sous-population a été caractérisée sur la base de données moléculaires et elle s'étend sur l'ensemble du bassin Pacifique Sud [2]–[4][5]. Cependant, ses sites de ponte sont exclusivement situés sur la côte Est australienne et en Nouvelle-Calédonie. La répartition de l'abondance entre ces deux régions reste incertaine mais les données disponibles de part et d'autre suggèrent qu'au moins 10 à 20% des tortues « grosse tête » du Pacifique Sud se

reproduisent en Nouvelle-Calédonie (Liardet & Auzon 2004). Par conséquent, les deux pays ont une forte responsabilité quant à la conservation de l'espèce dans le Pacifique Sud.

Bien qu'il n'existe pas à ce jour d'estimation globale de l'abondance de tortues « grosse tête » dans cette région, les données de fréquentation issues des principales plages de ponte australiennes (soit probablement environ 80% des pontes australiennes) indiquent un nombre annuel de femelles pondeuses inférieur à 700 individus [6]. Ce chiffre illustre parfaitement l'état de conservation précaire de cette sous-population, au regard notamment des tortues vertes qui, dans la même région, possèdent plusieurs sites de pontes regroupant plusieurs milliers de femelles annuellement.

Consciente de son importance régionale dans le cycle biologique de l'espèce et de sa responsabilité à la préserver, la province Sud de Nouvelle-Calédonie a inscrit la tortue « grosse tête » dans la liste des espèces protégées de son Code de l'Environnement. La pêche, le prélèvement d'œufs, la consommation ou la collection de toutes parties de l'animal y sont rigoureusement interdits.

Plusieurs zones de ponte ont été recensés pour l'espèce en Nouvelle-Calédonie. A ce jour, le site de ponte de La Roche Percée (LRP), situé à Bourail sur la côte Ouest de la Grande Terre, est toujours considéré comme le principal site à l'échelle territoriale [8]. Un suivi y est réalisé depuis 2006 par l'association Bwārā Tortues Marines et fait état d'une importante activité, forte de 50 à 80 femelles pondeuses chaque année [9]. Des agrégations de sites de ponte insulaires ont également été identifiées lors de campagnes de survols aériens entre 2006 et 2007 [7], principalement répartis le long de la côte ouest du pays et plus particulièrement sur les îlots du lagon Nord-Ouest et du Grand Lagon Sud (GLS).

C'est sur ces observations que le WWF-France a engagé en 2016 une étude des sites de ponte dans le GLS visant à clarifier l'importance de la zone pour l'espèce (Figure 1). Il s'agit d'une zone lagunaire de plus de 3 000 km<sup>2</sup>, classée Parc provincial marin, et inscrite au patrimoine mondial de l'Humanité de l'UNESCO, témoignant de l'exceptionnalité du site et de son intérêt écologique. La prospection d'une trentaine d'îlots coralliens sur l'ensemble du parc a alors permis de mettre en évidence une forte activité de ponte [10], soulignant ainsi l'importance du site pour la population de tortues *C. caretta* à l'échelle du pays qui avait été sous-estimée jusqu'alors.

Dans une dynamique d'acquisition de connaissances, le WWF-France a donc entrepris de pérenniser ce projet en adaptant un protocole de suivi des activités de tortues marines aux contraintes du site, et plus particulièrement son isolement géographique et la fragmentation des plages de ponte réparties sur une multitude d'îlots. Les résultats obtenus lors de l'inventaire initial de 2016-17 illustre l'importance significative du site et incitent à réviser à la hausse l'importance de la Nouvelle-Calédonie dans la dynamique démographique de la sous-population du Pacifique Sud.

Ce rapport présente les résultats obtenus lors du suivi des pontes 2019-20 ainsi que les résultats de l'étude d'acquisition de connaissances réalisée en parallèle depuis la saison 2017-18. Un rapport d'activités spécifique sur la saison 2018-19 est disponible par ailleurs.

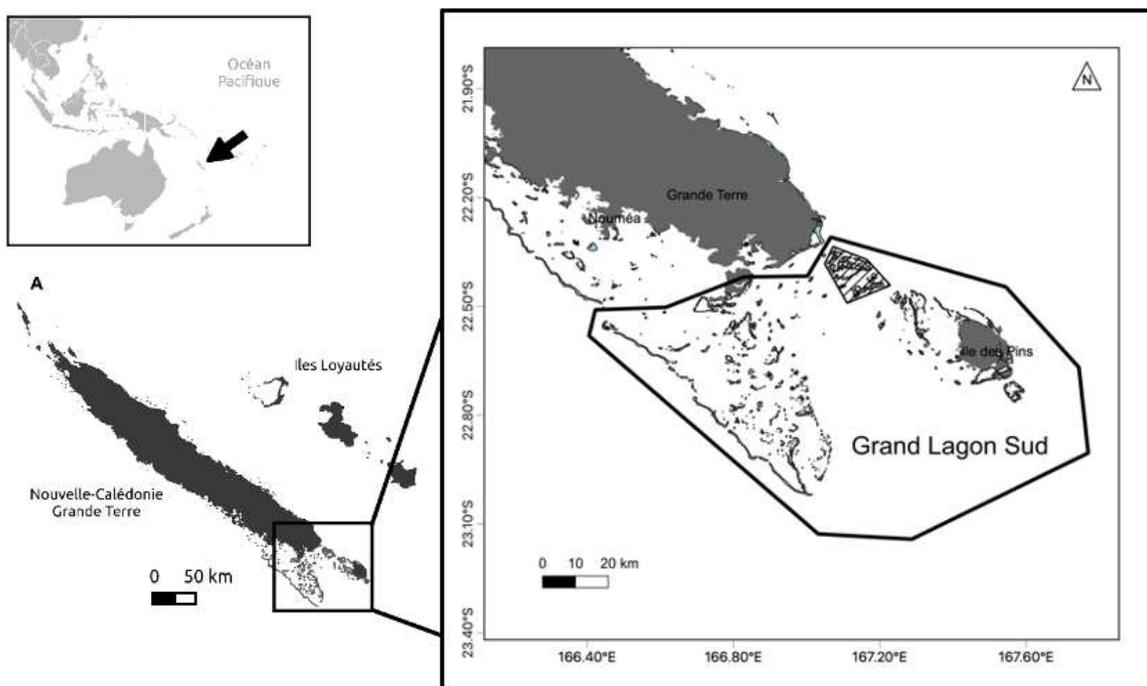


Figure 1 : Zone d'étude du Grand Lagon Sud, à l'extrémité méridionale de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie

## Thématiques abordées par l'étude d'acquisition de connaissances

La volonté d'approfondir la compréhension du site du GLS et de sa population continue à être portée par l'antenne Nouvelle-Calédonie du WWF-France. C'est dans ce contexte que s'inscrit une étude réalisée au cours de la saison 2019-2020, soutenue par la Direction du Développement Durable des Territoires de la Province Sud et Te Me Um, répondant ainsi aux recommandations des experts UICN qui soulignent le manque de bases de données sur le long terme des activités de ponte en Nouvelle-Calédonie [6]. Les enjeux sont pluriels et visent à générer des connaissances à destination des gestionnaires afin de les éclairer sur les dispositions adéquates à développer pour la sauvegarde de l'espèce à l'échelle du pays ainsi que sur la gestion du site. Le projet s'articule ainsi autour de quatre axes de recherche :

- **Etude préliminaire de la connectivité entre le GLS et LRP :**

La détermination du nombre d'unités de gestion sur un territoire et de leurs caractéristiques démographiques sont essentielles pour assurer un plan de conservation structuré et une gouvernance efficace. Une étude préliminaire de la connectivité de la population du GLS a donc été réalisée en s'appuyant sur des données de suivi de déplacements (projet SAT-NC) et de capture re-capture par baguage, en collaboration avec Bwără Tortues Marines.

- **Caractérisation de la fréquentation et de la distribution spatio-temporelle des pontes dans le GLS**

Le suivi des sites de ponte permet de renseigner scientifiques et gestionnaires sur l'état et la dynamique des populations, offrant ainsi un outil d'alerte en cas d'apparition ou d'évolution des menaces. L'étude de l'intensité des activités de ponte ainsi que de leur distribution à l'échelle du site du GLS doit nous permettre d'estimer le nombre de femelles participant à la reproduction chaque année, retraçant ainsi la trajectoire démographique de la population, mais également d'identifier les îlots les plus fréquentés sur la zone d'étude.

De plus, une recherche préliminaire de corrélations entre les caractéristiques géomorphologiques des îlots et l'intensité de l'activité doit permettre d'apporter un éclairage sur les leviers typologiques de la distribution des pontes à l'échelle du site. Ces informations doivent, à terme, permettre d'identifier des zones de conservation prioritaires.

- **Evaluation du succès de ponte sur le site du GLS**

La qualité d'un site de ponte est une notion empirique qui est intimement corrélée au succès reproducteur de l'espèce, c'est-à-dire à sa prédisposition à fournir des conditions favorables au renouvellement de la population. Le succès reproducteur dépend à la fois du succès de ponte et du succès d'émergence. Ici, nous proposons une étude préliminaire de la variabilité du succès de ponte sur les îlots qui doit permettre d'offrir des connaissances préliminaires sur la capacité intrinsèque du site à accueillir des pontes et d'identifier les principales pressions s'exerçant sur l'activité à l'échelle du site.

- **Evaluation des profils de température de nids dans un contexte de changements climatiques.**

Le changement climatique a récemment été identifié comme l'une des principales menaces pour les tortues marines, notamment aux vues de la féminisation des populations induite par la hausse des températures. L'adoption d'un plan de gestion intégré sur le long terme en province Sud doit nécessairement intégrer la capacité du site du GLS à produire des mâles et à maintenir ainsi un équilibre dans le sex-ratio de la population. Nous proposons ici d'acquérir des informations préliminaires par le déploiement de quelques thermomètres en collaboration avec Bwärrä à LRP pour obtenir des premiers éléments comparatifs entre les deux sites de ponte.

## 2- Étude préliminaire de la connectivité entre les tortues *Caretta caretta* du Grand Lagon sud et de La Roche Percée en période de reproduction

L'étude du degré de connectivité entre les individus d'une même espèce utilisant des habitats différents est essentielle à la compréhension des processus démographiques en jeu et permet d'adapter les politiques de conservation à l'échelle d'un pays ou d'une région [13]. Pour l'heure, le niveau de connectivité existant entre les tortues « grosse tête » se reproduisant à la LRP et dans le GLS est inconnu.

En effet, les tortues marines sont des espèces hautement philopatrides, c'est-à-dire qu'elles montrent une importante fidélité aux sites de ponte tout au long de leur vie adulte, en retournant se reproduire (accouplements et pontes) dans la zone qui les a vu naître [11], [12]. Pour autant, la précision géographique de cette fidélité demeure incertaine. Ainsi, la possibilité de voir des femelles pondre aussi bien à LRP que dans le GLS ne peut être écartée sans étude spécifique.

Afin d'apporter un premier éclairage à cette question nous avons opté pour une approche consistant à s'appuyer conjointement sur la télémétrie satellitaire et la capture-marquage-recapture (CMR) par baguage sur les tortues du GLS et de LRP. En effet, la complémentarité de ces outils doit nous permettre de générer différents niveaux d'information permettant d'appréhender la connectivité entre ces deux zones.

## 2-1- Connectivité intra-annuelle : utilisation de la télémétrie satellitaire

Le WWF mène actuellement un programme de suivi satellitaire (SAT-NC) avec pour objectif d'étudier les déplacements des tortues originaires de Nouvelle-Calédonie, et ce afin d'identifier leurs principales routes migratoires et zones d'alimentation. Pour ce programme, plusieurs balises ARGOS ont pu être déployées sur les sites de ponte du GLS et de LRP.

Si ces données ont pour vocation première d'apprécier les migrations à grande échelle, elles offrent également l'opportunité de suivre les déplacements réalisés par les tortues sur leur zone de ponte avant d'entamer leur migration vers les zones d'alimentation. Ces données nous ont donc offert l'opportunité d'explorer la possibilité de mouvements intra-saisonniers entre les sites du GLS et de LRP.



Figure 2 : Manipulation et déploiement d'une balise satellite Argos sur une femelle *Caretta caretta*.

Depuis 2016, un total de 27 balises ont été déployées sur des femelles de tortues « grosse tête » post action de ponte dans le cadre du projet SAT-NC, dont 10 dans le GLS et 17 à LRP (Tableau 1).

Pour cela, un protocole standardisé et indolore a été mis en œuvre, soit par l'équipe du WWF pour ce qui concerne l'ensemble des balises du GLS et certaines balises de LRP, soit par les équipes de Bwärä Tortues Marines et de l' Aquarium des Lagons pour ce qui concerne

le reste des balises sur LRP. Les équipes de Bwärä ont bénéficié de formations au balisage préalablement dispensées par le WWF et l'Aquarium des Lagons, avant d'effectuer des poses d'émetteurs par elles-mêmes.

L'essentiel des poses de balises ont été effectuées de nuit, lorsque les tortues sont plus disposées à monter sur les plages pour pondre. Néanmoins, une balise a été posée en milieu de journée sur l'îlot Uaterembi (GLS) lors d'une montée inhabituelle à 12:00. Les temps nécessaires à la pose de balises se sont échelonnés de 40 minutes à 1 heure et 6 minutes. Les différences constatées sont principalement le fait des conditions d'hygrométrie qui influencent les temps de séchage des résines utilisées pour fixer les balises sur les carapaces. En revanche, les temps moyens pour poser les balises ont été sensiblement équivalant dans le GLS et à LRP (53 minutes versus 56 minutes, respectivement).

Dans le GLS, les balises ont été déployées sur différents îlots de la zone au cours de trois saisons successives de ponte. A LRP, hormis la balise déployée en décembre 2016 dans le cadre de la formation dispensée par le Museum National d'Histoire Naturelle, et marquant la 1ère balise posée pour le programme SAT-NC, l'ensemble des autres émetteurs ont été posés au cours des deux dernières saisons de reproduction (Tableau 1).

Globalement, les équipements ont été déployés à différents moments de la saison de reproduction des tortues « grosse tête » en Nouvelle-Calédonie, laquelle peut se résumer ainsi :

- Novembre à mi-décembre = début de la saison de ponte
- Mi-décembre à mi-janvier = pic de l'activité de ponte
- Mi-janvier à février/mars = fin de la saison de ponte

Au final, sur l'ensemble des deux sites, cinq balises ont été posées en début de saison, neuf ont été posées au pic de la saison, et 13 ont été posées en fin de saison. Cette répartition biaisée vers la fin de saison reflète en partie notre souhait de maximiser les chances d'obtenir un enregistrement complet de la migration, lesquelles augmentent lorsque le temps passé par l'animal sur le site de reproduction est réduit.

Néanmoins, cet effort de balisage a permis d'enregistrer un total de 429 jours de déplacements sur les sites de ponte avant migration. Les temps individuels de présence sur le site de ponte entre le balisage et le départ en migration varient de 0 à 52 jours. Au total, 18 des 27 tortues balisées sont restées sur leur site de ponte pour au moins une ponte supplémentaire. Globalement, ces temps sont corrélés à la date de balisage, avec un temps plus long pour les tortues balisées tôt dans la saison (Figure 3). Il est à noter que 2 balises (1 dans le GLS et 1 à LRP) ont cessé de fonctionner avant le départ en migration de la tortue équipée. Celles-ci n'ont donc pas été prises en compte pour l'analyse des temps de présence avant migration.

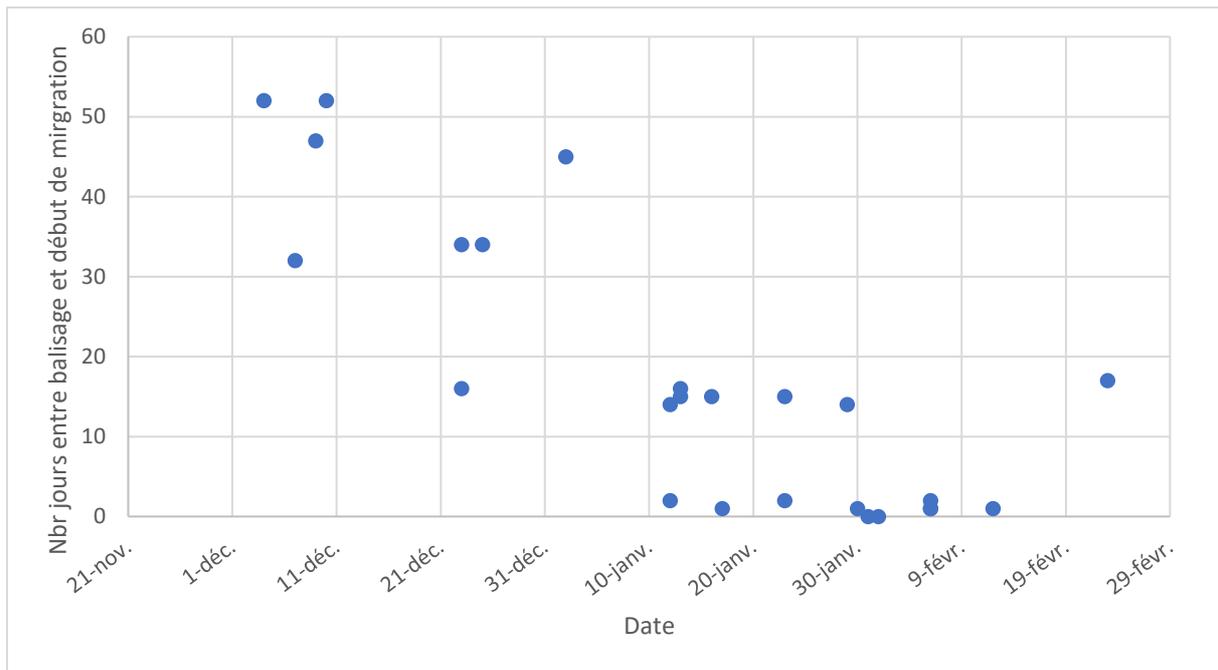


Figure 3 : Corrélation entre la date de balisage et le nombre de jours avant le départ en migration.

Considérant un intervalle moyen de 15 jours entre les pontes (Fournier et al. 2015), il a été possible d'estimer le nombre de ponte supplémentaires réalisés par les tortues balisées suite à la pose de l'émetteur. Ce nombre varie de 0 à 3 pontes selon les individus et se trouve également corrélé à la date de balisage.

Une analyse individuelle des déplacements avant migration a été réalisée visuellement sur les 27 tortues balisées avec un focus particulier sur les individus ayant de toute évidence réalisé de nouvelles pontes suite au balisage. En particulier, nous avons recherché à identifier d'éventuels mouvements entre les sites de ponte du GLS et de LRP. Bien que la précision des positions obtenues par ARGOS soit variable, nous considérons que le risque de localiser une tortue sur un des 2 sites de ponte alors qu'elle se trouve en réalité sur l'autre est nulle. En effet, seuls les positions de type 1, 2 ou 3, et présentant un rayon de précision inférieur à 1 000 m ont été retenues. Or les sites du GLS et de LRP se situent à plus de 100 km l'un de l'autre.

Il en ressort qu'aucune des femelles balisées n'a montré de mouvement d'un site de ponte vers l'autre lors des déplacements enregistrés. Les tortues ayant réalisées de nouvelles pontes suite au balisage ont toutes montré des déplacements limités à quelques kilomètres de distance autour de la position de balisage.

**Conclusion connectivité « intra-saisonnière »: les données disponibles n'indiquent aucune évidence d'échange de femelles intra-saison entre le GLS et LRP. Pour autant, le nombre d'individus et de jours de suivis concernés ne permettent pas d'exclure totalement cette possibilité.**

Tableau 1 : Nombre de balises satellites Argos déployées sur le site du GLS et celui de Bourail depuis 2016

	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	TOTAL
Grand Lagon Sud	0	2	2	6	10
Roche Percée	1	0	5	11	17
TOTAL	1	2	7	17	27

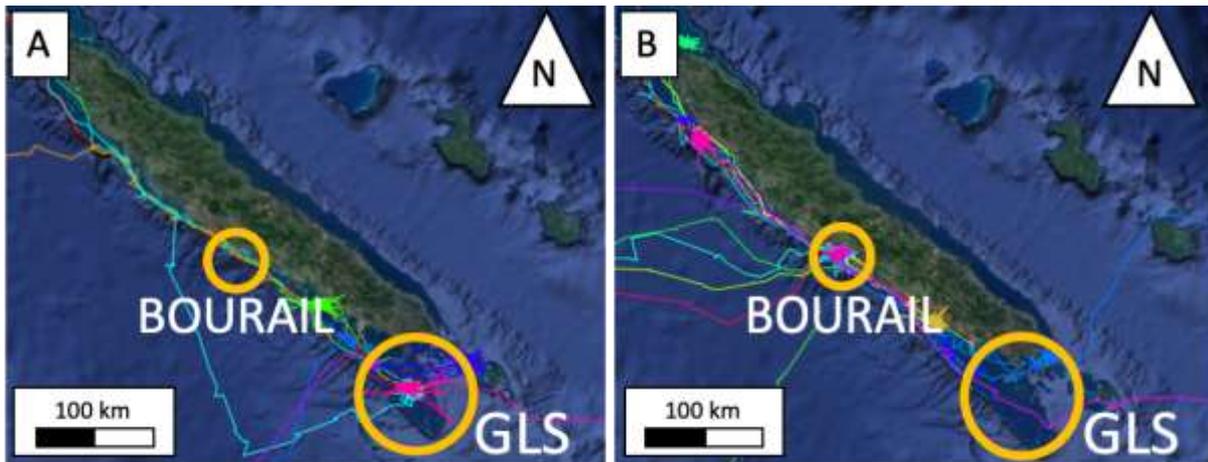


Figure 4 : (A) Déplacements des dix tortues équipées de balises satellites sur les îlots du GLS et (B) des dix-sept individus équipés sur le site de Bourail des depuis 2016-17

## 2-2- Connectivité inter-saisonnière : utilisation d'une méthode de baguage

Le principe de la méthode CMR consiste à marquer les tortues grâce à la pose d'une bague codifiée en titane sur les palettes natatoires des individus capturés (Figure 5), ce qui permet de les identifier individuellement lors de rencontres ultérieures. Elle reste très largement utilisée de nos jours, considérée comme la « référence absolue » des suivis des populations de tortues marines [17]. La CMR par baguage a été utilisée dans cette étude pour permettre d'identifier d'éventuels mouvements de femelles entre les sites de ponte du GLS et celui de Bourail sur différentes années et ainsi évaluer le niveau de connectivité inter-saisonnière des femelles à cette échelle.

Un important effort de baguage est nécessaire pour être en mesure d'en retirer des résultats informatifs. Dans le GLS, cet effort demeure très modeste du fait de la difficulté inhérente à y rencontrer des tortues et de l'historique relativement récent du suivi sur cette zone. En revanche, un effort conséquent de baguage a été consenti sur la plage de la Roche Percée par Bwără Tortues Marines depuis 2006. C'est grâce à cette base de données étayée et au partenariat noué entre Bwără Tortues Marines et le WWF-France qu'il est ici possible d'utiliser cette méthode CMR au bénéfice de l'accroissement des connaissances sur le GLS.

Au total, plus de 470 femelles pondeuses différentes ont ainsi été recensées à Bourail depuis 2006, se traduisant désormais par un taux de recapture élevé, de l'ordre de 60% au

cours des trois dernières années à l'échelle du site (Bwärä Tortues Marines, non publié). A l'inverse, seul 10 femelles adultes ont été baguées depuis 2018 dans la zone du GLS. La comparaison des deux jeux de données peut permettre dans un premier temps de révéler l'existence d'éventuels mouvements entre les deux zones. Cependant, du fait du faible nombre d'observations disponibles sur le GLS, il n'est pas possible d'estimer de façon robuste un niveau de connectivité réel entre les 2 zones.

En revanche, le croisement des données historiques de capture-recapture peut permettre de tester l'hypothèse selon laquelle, LRP et le GLS représente une seule et même population de femelles reproductrices où chaque femelle peut pondre indifféremment sur l'une ou l'autre de ces deux zones au fil des années. Autrement dit, selon cette hypothèse, chaque femelle répertoriée aurait la même chance d'être « re-capturée » sur LRP ou sur le GLS, quel que soit le lieu où elle a été baguée initialement.



Figure 5 : Manipulation et baguage d'une femelle *Caretta caretta* sur un îlot du GLS

Le Tableau 2 présenté ci-dessous retrace l'historique des captures et recaptures de femelles sur les deux sites depuis la saison 2016-2017. Sur le site du GLS, aucune des tortues rencontrées à ce jour n'était déjà connue et répertoriée sur cette zone. Il n'existe donc, pour l'heure, aucun événement de recapture dans le GLS, ce qui n'est pas surprenant étant donné l'effort limité de baguage. En revanche, les tortues rencontrées sur le GLS ne portaient pas non plus de bagues posées à LRP ou ailleurs. La réciproque est également vraie, puisqu'aucune des recaptures réalisées à Bourail ne correspondait un individu bagué dans le GLS. Les données de baguage ne permettent donc pas d'établir l'existence d'une connexion inter-annuelle directe entre les deux sites.

Tableau 2 : Résultats de la méthode de CMR sur les sites du GLS et celui de Bourail depuis 2016-17

	Nb de tortues		Nb captures		Nb recaptures		% recaptures	
	GLS	RP	GLS	RP	GLS	RP	GLS	RP
2016-17	0	86	0	54	0	32	-	37
2017-18	2	68	2	26	0	42	0	62
2018-19	2	59	2	27	0	32	0	54
2019-20	6	80	6	36	0	44	0	55
TOTAL	10	293	10	143	0	150	0	51

Afin de tester l'hypothèse nulle selon laquelle les deux sites de ponte sont utilisés indépendamment par la population de tortues d'une saison de ponte à l'autre, nous avons calculé la probabilité que les dix tortues rencontrées dans le GLS soient des individus « capturés », c'est-à-dire qu'ils n'aient jamais été recensés par le passé, en prenant en compte le taux de capture à la Roche Percée pour chaque saison considérée :

*Probabilité que toutes les tortues rencontrées dans le GLS soient des captures = (taux de capture à Bourail) ^ (nombre de tortues capturées dans le GLS la même saison)*

Ainsi, nous montrons que la probabilité que les deux tortues rencontrées au cours de la saison 2017-18 soient non baguées est de 14,4% ; la probabilité du même événement est de 21,2% pour la saison 2018-19 ; et que la probabilité d'observer six tortues non recensées en 2019-2020 est de 0,8%. En définitive, la probabilité que toutes les tortues observées sur le GLS depuis la saison 2017-18 n'aient jamais été recensées à Bourail auparavant est de 0,03%. Malgré un biais évident lié à la faiblesse de l'échantillonnage dans le GLS, ces résultats nous paraissent suffisant pour infirmer l'hypothèse nulle d'indépendance puisque la probabilité d'occurrence testée est  $< 0,05$  \*\*\* (= 5%). Un test d'indépendance de Fisher a été appliqué aux données et confirme également des différences significatives entre les taux de capture et de recapture des deux sites (Test exact de Fisher,  $p < 0,05$  \*\*\*).

**Conclusion « connectivité inter-saisonnière » : les données disponibles n'indiquent pas le moindre mouvement inter-annuel entre les deux zones de ponte mais le petit échantillon disponible sur le GLS ne permet d'exclure toute possibilité d'échange. En revanche, les historiques de capture-recapture indiquent clairement que les deux zones représentent des entités démographiques distinctes d'un point de vue des femelles adultes au moins, lesquelles doivent être considéré comme tel en terme de stratégie de conservation.**

#### Conclusions du chapitre/futures perspectives

L'effort déployé au cours de l'exercice 2019-2020 permet d'apporter un premier éclairage sur la notion clé de délimitation spatiale des unités de gestion à considérer. Aux vues des données issues de l'étude télémétrique et de baguage, il apparait que les mouvements de femelles adultes intra- et inter-annuel entre les deux sites de ponte sont limités tout au plus. Ces résultats suggèrent donc que les plages de LRP et du GLS pourraient être utilisées par des groupes de femelles distincts d'un point de vue démographique et qui, de fait, nécessite un discernement du gestionnaire quant aux mesures de conservation qui leur sont dédiées.

Du fait des données disponibles, un certain niveau de connectivité ne peut être exclus et des échanges de femelles adultes intra- ou interannuel pourraient être détectés dans les années à venir. L'acquisition de nouvelles données devraient cependant permettre d'affiner notre compréhension du niveau réel d'isolement/connectivité entre les deux zones.

Ainsi, l'étude de la connectivité entre Bourail et le GLS, ici proposée, demeure préliminaire. La poursuite des suivis annuels permettra notamment d'acquérir de nouvelles données de CMR, renforçant notamment la base de données « baguage » pour l'heure limitée du GLS. Le projet SAT-NC doit également se poursuivre et permettra d'acquérir des données supplémentaires de déplacement au cours des prochaines saisons.

De plus, un aspect important de la connectivité entre LRP et le GLS reste à aborder. En effet, les deux méthodologies ici utilisées concernent uniquement les femelles adultes. Or la contribution des mâles peut s'avérer crucial pour la conservation à long terme de ces populations. Plusieurs approches pourraient être considérées dans le futur pour renseigner le niveau de connectivité assuré par les mâles entre les deux sites.

Il serait notamment pertinent d'utiliser les outils de biologie moléculaire afin d'estimer le niveau de flux génétique global (mâle + femelle). Pour cela, l'analyse de marqueurs de l'ADN nucléaire à partir des échantillons collectés sur les femelles adultes apparaît comme une piste à privilégier du fait de la simplicité de mise en œuvre.

Dans cet optique, le présent projet contribue d'ores et déjà au renforcement nécessaire de la base de données qui permettrait de conduire une analyse moléculaire robuste. Douze femelles en action de ponte ont ainsi été échantillonnées dans le GLS depuis 2016, auxquels s'ajoutent une trentaine d'échantillons provenant de la Roche Percée, prélevés par les équipes du Queensland Turtle Research en 2005 puis par l'association Bwärä Tortues Marines. De nouveaux échantillons seront collectés sur la zone GLS au cours des prochaines saisons.

Par ailleurs, le déploiement de balises satellites sur des mâles capturés en mer, en début de saison, pourrait également s'avérer très intéressant pour étudier la possibilité de mouvements intra-saisonnier entre les deux zones. Bien que logistiquement plus compliqué à mettre en œuvre, ce type d'opération a déjà été mené avec succès, notamment en Nouvelle-Calédonie (Read 2016).

### 3- Fréquentation et distribution spatio-temporelle des activités de pontes de tortues *Caretta caretta* sur le site du Grand Lagon Sud

Les femelles tortues peuvent pondre plusieurs fois dans une même saison de reproduction, de deux à quatre fois en moyenne [19], à intervalle régulier de 14 à 15 jours [20], [21]. Il est possible d'obtenir une estimation d'abondance des femelles reproductrices à partir du nombre de nids creusés à l'échelle d'un site. Toutefois, dans le cas du GLS il est impossible d'envisager un comptage exhaustif du nombre de nids comme cela peut être faire sur le site de LRP.

En effet, le site de ponte du GLS présente des caractéristiques qui imposent de nombreuses contraintes logistiques pour le suivi des activités (isolement et multiplicité des plages de ponte). Afin de répondre aux enjeux, un suivi adapté aux conditions du site a été mis en place dès 2017 avec l'aide du Professeur Marc Girondot, afin de répondre aux critères

de conformité proposés par le Comité scientifique du State of the World's Sea Turtles [10], [17]. Déterminer la trajectoire démographique d'une population de tortues marines requière généralement entre dix et vingt ans de suivi précis du nombre annuel de pontes ( $CV < 0,2$ ) pour être en mesure de détecter une évolution significative de  $\pm 5\%$  [17]. L'approche pour laquelle nous avons opté consiste à couvrir les sites fréquentés par la population avec un effort réduit mais en valorisant l'ensemble des données dans un seul et même modèle statistique permettant de déterminer une tendance démographique globale [18], [22], [23].

L'effort de recherche ici développé avait pour objectif de préciser des informations essentielles à la caractérisation du site et de la population du GLS :

- Quelle est l'intensité des activités de ponte à l'échelle du site du GLS ? Quel est le nombre approximatif de femelles pondeuses qui utilisent le site chaque année ?
- Quels sont les sites qui concentrent le plus d'activités de ponte et existe-t-il une variabilité spatio-temporelle dans la distribution des pontes ? Que peut-on en conclure sur l'identification des zones de conservation prioritaires ?

Ce chapitre présente à la fois les résultats d'activités de ponte enregistrés lors de la saison 2019-20 ainsi que des analyses complémentaires réalisées sur la bases saisons précédentes pour apporter un éclairage aux questions suscitées.

Les résultats issus des premières années du suivi ont permis de constater une distribution spatiale hétérogène de la fréquentation de ponte, depuis l'échelle globale du site jusqu'à celle locale des îlots. Si l'absence de ponte sur les zones rocheuses semble logique, il apparaît que certaines plages ou portions de plages semblent beaucoup plus utilisées que d'autres, laissant présager que les caractéristiques géomorphologiques de ces zones pouvaient être à l'origine de cette fréquentation préférentielle. A travers une collaboration avec l'Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie (OBLIC), nous avons réalisé une analyse préliminaire mettant en perspective des zones privilégiées de ponte selon leur caractéristiques géomorphologique en établissant des profils typologiques de certains îlots pour tenter d'expliquer les leviers de la distribution des nids.

### 3-1- Effort de recherche développé pour le suivi des activités de ponte dans le GLS

La zone de suivi se concentre sur 29 îlots du Parc marin. Cela concerne tous les îlots du Parc situés à plus de 5 km de la Grande Terre, de l'île Ouen ou de l'île de Pins, à l'exception de l'îlot Infernal et des trois îlots de l'atoll de Nokanhuï, dont l'accessibilité est trop compliquée logistiquement et coutumièrement. Ce choix découle de survols réalisés en 2006 par le WWF qui ont montré que les îlots les plus proches des grandes îles ne semblaient pas accueillir de pontes de « tortues grosse tête » (Mounier 2007).

L'étude des activités de ponte sur le site du GLS a lieu au cours de l'été austral, entre les mois de novembre et de février. Elle se compose d'une série de missions ayant pour

objectif d'estimer l'intensité de l'activité sur les différents îlots de la zone en se basant sur le relevé des traces générées lors de la présence des femelles sur les plages. La lecture de ces traces permet d'identifier la nature de l'activité (Oremus et Mattei 2017) : nids présumés, tentatives de ponte, traces de locomotions (Figure 6). Deux niveaux d'effort de suivi sont appliqués selon les îlots : les suivis rapprochés (plusieurs relevés exhaustifs de traces repartis au cours de la saison) et les suivis ponctuels (un relevé exhaustif de traces).

En 2017-18, 10 îlots ont été retenus pour constituer le « suivi rapproché » sur la zone, puis étendu à 12 îlots à partir de la saison 2018-19. Ils ont été sélectionnés pour inclure les trois îlots enregistrant la plus forte activité tel qu'observé lors de l'inventaire de 2016-17, ainsi qu'un panel d'îlots représentatifs des différents niveaux de fréquentation en se basant sur les données historiques disponibles [10]. L'objectif est de pouvoir visiter ses îlots à plusieurs reprises au cours de la saison, permettant d'obtenir au moins trois relevés exhaustifs de traces idéalement sur les différentes périodes de la saison ; « début » (novembre à mi-décembre), « pic » (mi-décembre à mi-janvier) et « fin » (mi-janvier à fin février). Un suivi ponctuel est appliqué aux autres îlots de la zone.

#### *Le suivi rapproché 2019-20*

Sur la saison 2019-20, cinq missions de deux jours ont ainsi pu être menées (

Tableau 3). La dernière sortie, initialement programmée pour le comptage des activités en fin de saison de ponte, n'a pas pu être réalisée pour cause de conditions météorologiques très défavorables suite au passage du cyclone tropical UESI entre le 10 et 12 février 2020. De plus, au cours de la saison 2019-20, la conduite des suivis rapprochés a été largement perturbée par l'interdiction d'accéder à certains îlots pour y relever les traces de tortues. En effet, un nombre important de mâts (mesure d'interdiction de débarquement sur îlot de la province Sud) ont été levés sur îlots de la zone au cours de la saison afin de garantir la protection des oiseaux marins en cours de nidification. Contrairement aux saisons précédentes, l'équipe WWF n'a pas été autorisée (même accompagné des gardes natures) à débarquer sur ces îlots selon l'arrêté N°3796-2019/ARR/DENV, entraînant de nombreuses modifications dans le planning de suivi tortues marines. Conscient de cette problématique, cette question a fait l'objet d'échanges entre le WWF et la province Sud post saison 2019-20 afin d'identifier une solution alternative pour le cadrage de l'arrêté d'autorisation. Les deux parties se sont ainsi mis d'accord sur de nouvelles règles qui permettront d'assurer la non perturbation des oiseaux marins nidifiants tout en assurant la réalisation, non biaisée, de la collecte des données tortues lors des prochains suivis.

Afin de compenser l'effort de suivi des îlots n'étant plus accessibles, d'autres îlots ont été ajoutés au fur et à mesure au suivi rapproché. Cependant, les conséquences de cet ajustement sur le traitement mathématique des données n'ont pas pu être évalué en amont. Nous ne disposons pas pour l'heure d'éléments suffisants pour garantir l'adéquation du modèle statistique appliqué les années précédentes pour estimer l'activité globale de ponte sur le GLS au cours de la saison 2019-20. Cette question fera donc l'objet d'une étude spécifique, dans le cadre d'un doctorant démarrant au 2<sup>ème</sup> trimestre 2021.

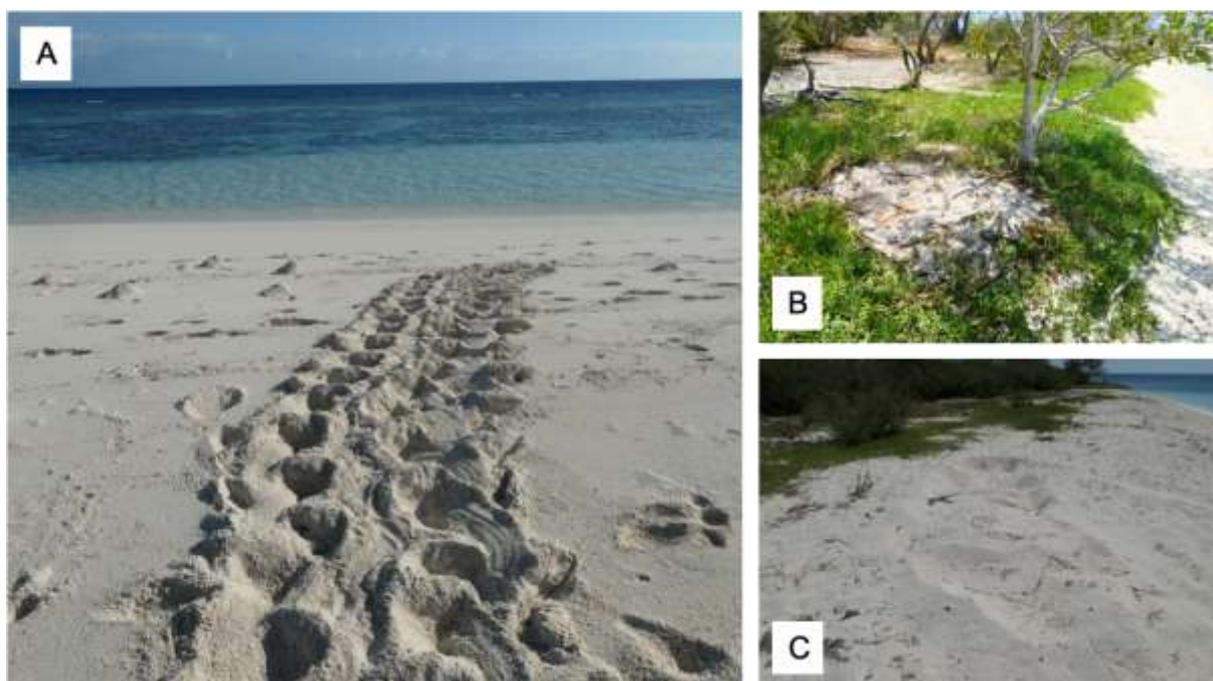


Figure 6 : Relevés des d'activités de tortues en action de ponte. A : Traces de locomotion de tortue *Caretta caretta* ; B : cuvette sans ponte ; C : traces caractéristiques d'une activité de ponte « présumée »

Tableau 3 : Effort de recherche et modalités des prospections des îlots du suivi rapproché sur la saison 2019-2020

	Mission 1 27-28/11	Mission 2 04-05/12	Mission 3 02-03/01	Mission 4 16-17/01	Mission 5 28-29/01	Total
Atiré	x	x		x	x	4
Gi	x	x	x	x		4
Iéroué	x	x		x	x	4
Kouaré	x	x	x	x	x	5
N'Gé	x	x	x	x	x	5
Noé			x	x	x	3
Puemba			x	x	x	3
Rédika	x	x	x	x	x	5
Uatérembi	x	x	x	x	x	5
Uatio	x	x	x	x	x	5
Uié			x	x	x	3
Uo			x	x	x	3

#### *Le suivi ponctuel 2019-20*

Le suivi ponctuel consiste à prospecter les îlots restants de la zone d'étude au cours d'une visite unique idéalement durant le pic de ponte de la saison. Ce comptage permet de générer un indice de la fréquentation globale de ces sites. Les résultats obtenus feront l'objet d'un traitement particulier dans le modèle décrit par Girondot (2017) [18] afin d'extrapoler au mieux les estimations d'abondance réalisés à partir du suivi rapproché à l'ensemble du GLS.

Comme pour le suivi rapproché, l'accès à de nombreux sites du suivi ponctuel a été impossible pour cause de présence d'oiseaux marins en saison de nidification (Koko, Petit Koko, M'Boré, Totéa) ou par la non obtention d'une autorisation d'accès à la réserve marine intégrale Yves Merlet (Kié, Améré). De plus, la mauvaise météo au cours de la mission n'a pas permis de pouvoir visiter les sites les plus éloignés (Ndié et Duami). Six îlots ont pu être prospectés au cours de la mission dédiée au suivi ponctuel qui s'est déroulée les 22 et 23 janvier 2020 : Ugo, Nouaré, N'Do, Ua, Mato et Pumbo.

### 3-2- Intensité des activités de ponte : comparaison inter-saison

Depuis le début du projet en 2016-17, entre 11 et 29 îlots ont pu être prospectés chaque saison de ponte, ce nombre pouvant varier en fonction des autorisations d'accès réglementées par les autorités provinciales compétentes ainsi que de perturbations météorologiques.

Au total, au cours de la saison 2019-20, 131 pontes « présumées » ont été recensées sur l'ensemble des îlots (dont 105 sur les îlots du suivi rapproché) pour 252 événements de ponte avortée. C'est inférieur au nombre d'activités de ponte relevées lors des deux précédentes saisons de suivi. En effet, au cours de la saison 2017-18 et 2019-19, les nombres totaux de pontes « présumées » relevées s'élevaient à 153 et 189, respectivement.

Pour autant, si un nombre total de nids présumés relevés a été obtenu pour chaque saison, celui-ci ne constitue en rien un indicateur de l'intensité de ponte d'une année sur l'autre. En effet, ce total est directement influencé par le nombre d'îlots couverts, le nombre de prospections sur chaque îlot et les dates auxquelles ces protections ont été menées.

Malheureusement, les contraintes d'accès aux îlots subits au cours de la saison 2019-20 ont fortement impacté le plan prévisionnel d'échantillonnage. En conséquence, nous ne pouvons pas, à ce stade, en capacité d'établir avec confiance une estimation du nombre de pontes total pour la zone d'étude.

Des analyses plus poussées doivent être menées pour affiner et confirmer la robustesse du modèle mathématique initialement utilisé pour estimer la fréquentation totale sur la base des données collectées ces dernières années. Cette étude spécifique sera réalisée dans le cadre d'un doctorat récemment initié par le WWF-France et l'IRD.

### 3-3- Variabilité spatio-temporelle des activités de ponte : identification des zones de conservation prioritaires et des fenêtres de protection efficaces

#### *Variabilité intra-saisonnière 2019-20*

Une activité de ponte a été confirmée sur 18 des 21 îlots prospectés au cours de la saison 2019-2020, soit une fréquentation minimum de 86% des îlots de la zone. **Le Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présenté ci-dessous illustre le nombre de pontes

« présumées » recensées sur les douze îlots du suivi rapproché selon un découpage de la saison en trois périodes : début (novembre à mi-décembre), pic (mi-décembre à mi-janvier) et fin de la saison (mi-janvier à fin février).

On peut observer sur la Figure 7 une variabilité significative de l'intensité de l'activité de ponte en 2019-2020 en fonction de l'avancement de la saison (Chi-squared test, p-value<0,05 \*\*\*). Le maximum de pontes est recensé pendant le pic de saison (60 pontes), et un niveau moindre et statistiquement égal est observé en début et fin de saison (respectivement 20 et 24 pontes).

De plus, une forte hétérogénéité du nombre d'activités est observée entre les différents îlots étudiés (Chi-squared test, p-value<0,05 \*\*\*). Un maximum de 18 pontes a été enregistré sur Atiré pour un minimum de 2 pontes sur Uo et un nombre moyen de 8,75 pontes par îlots. On notera que les îlots concentrant le plus de pontes sont Atiré, Rédika, Gi et N'Gé (Figure 7).

Tableau 4 : Nombre de pontes recensées sur les îlots du suivi rapproché au cours des trois dernières saisons. La représentativité des îlots est indiquée à travers le pourcentage du total des pontes qu'ils concentrent.

	2017-18				2018-19			2019-20			
	Début	Pic	Fin	% pontes total	Début	Pic	% pontes total	Début	Pic	Fin	% pontes total
atire	7	22	3	21%	4	22	19%	3	10	5	17%
gi	5	13	5	15%	5	20	18%	6	7		13%
ieroue		4	2	4%	1	1	1%	1		1	2%
kouare	3	4		4%	1	10	8%	0	4	0	4%
nda	5	9	4	12%	1	3	3%				
nge	4	5	1	6%	8	19	19%	6	6	5	16%
noe									2	1	3%
puemba									4	2	6%
redika	2	17	6	16%	1	8	6%	0	12	2	13%
tere	1		1	1%							
ua		3		2%		1	1%				
uaterembi	3	11	4	12%	1	7	6%	2	1	2	5%
uatio					4	8	9%	2	5	5	12%
uie									7	1	8%
uo									2		2%
vua	2	8	2	8%	1	13	10%				
TOTAL	32	96	28	<b>156</b>	27	112	<b>139</b>	20	60	24	<b>104</b>
% pontes total	21%	62%	18%		19%	81%		19%	58%	23%	

#### Variabilité inter-saisonnière

De manière analogue, on constate toujours sur le Tableau 4 une variabilité saisonnière de l'activité de ponte significative à l'échelle pluriannuelle (Chi-squared test, p-value<0,05 \*\*\*), avec un nombre de pontes plus important pendant le pic de la saison que celui observé en début ou fin de saison pour 2017-2018 (absence de données de fin de ponte en 2018-2019).

La variabilité spatiale de l'intensité de ponte (Figure 7) est également confirmée avec une différence significative du nombre de pontes par îlot à l'échelle pluriannuelle (Chi-squared test,  $p\text{-value} < 0,05$  \*\*\*). On notera que le nombre de pontes par îlots ne change pas significativement d'une saison à l'autre (Chi-squared test,  $p\text{val} > 0,05$ ), à l'exception de l'îlot Uaterembi (2017-18 > 2018-19 = 2019-20, Chi-squared test,  $p\text{val} = 0,01099$ ) et Nda (2017-2018 > 2018-19, Chi-squared test,  $p\text{val} = 0,00649$ ).

**Ces premiers résultats confortent les observations réalisées sur la saison 2019-2020 à l'échelle inter-saisonnière : le pic de ponte se situe entre la mi-décembre et la mi-janvier, et les sites les plus fréquentés sont les îlots Atiré, Rédika, Gi et N'Gé.**

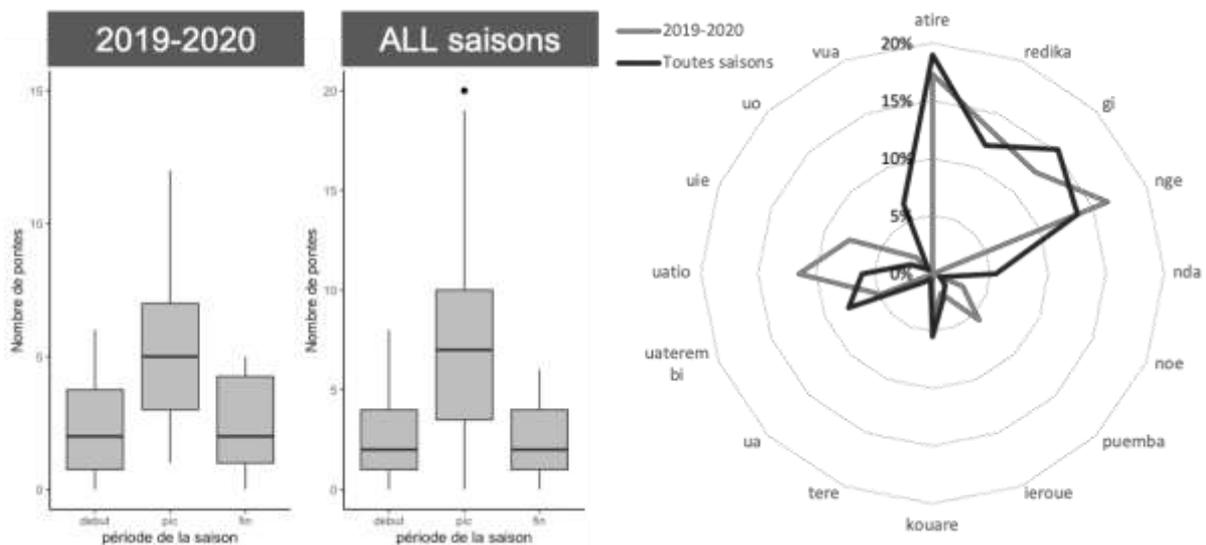


Figure 7 : Variabilité spatio-temporelle de l'activité de ponte au cours de la saison 2019-2020 et sur l'ensemble des trois saisons cumulées.

L'analyse cartographique de la répartition des activités de ponte sur les trois dernières saisons, illustrée sur la Figure 8, permet de rendre compte de la prédominance de ces îlots à l'échelle du site. Les îlots Atiré et Rédika sur la limite nord-ouest du parc, ainsi que Gi et N'Gé dans la bande dite des « cinq îles » concentrent ainsi jusqu'à 60% de l'activité totale de ponte enregistrée sur la zone d'étude chaque année. Cette représentativité est statistiquement identique à sur les trois années du suivi (Chi-squared test,  $p\text{val} > 0,05$ ).

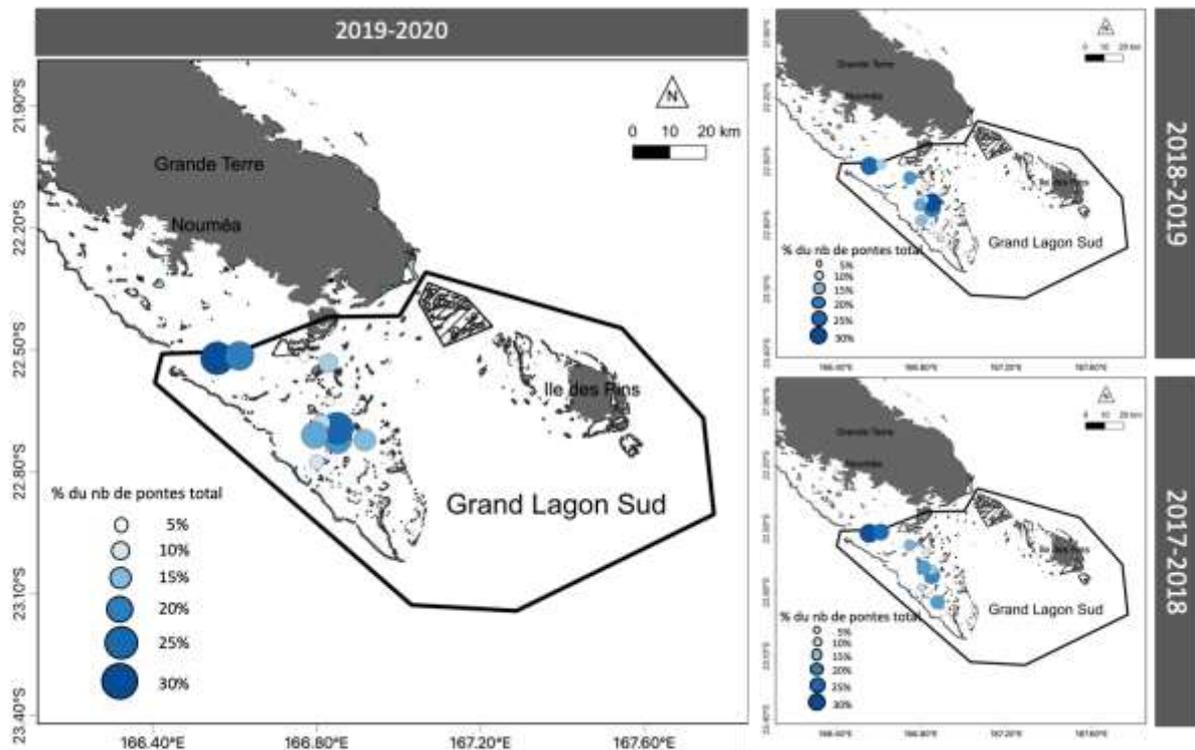


Figure 8 : Distribution relative des activités de ponte à l'échelle des îlots du GLS au cours de la saison 2017-2018 ; 2018-2019 et 2019-2020.

### 3-4- Influence des caractéristiques géomorphologiques des îlots sur la distribution de l'activité de ponte à l'échelle du Grand Lagon Sud (Contribution OBLIC – Myriam Vendée-Leclerc).

Les îlots constituent des enjeux en termes de biodiversité ; ils sont des espaces de nidification pour de nombreuses espèces animales (tortues marines, oiseaux de mer, serpents etc.). Les travaux menés dans le cadre de l'OBLIC (Observatoire du Littoral de Nouvelle-Calédonie) ont montré que ces îlots connaissent depuis les dernières décennies des évolutions plus ou moins significatives. Il peut s'agir d'évolutions géomorphologiques et sédimentologiques, de leurs surfaces en lien avec les processus d'érosion et de leurs couvertures végétales.

Ces évolutions peuvent conduire à rendre l'accès aux sites de nidification pour les espèces concernés plus facile ou au contraire plus difficile voire impossible dans certains cas. Ces changements des conditions de nidifications peuvent ainsi avoir des incidences sur le succès de reproduction des populations inféodées à ces îlots.

C'est pourquoi, le BRGM et le SGNC proposent d'évaluer et de préciser, en croisant les analyses géomorphologiques et les recensements des animaux effectués par les biologistes, les liaisons et incidences de l'évolution des îlots sur la dynamique et le taux de succès de reproduction des espèces pour les périodes récentes jusqu'à aujourd'hui. Ultérieurement, à partir d'hypothèses sur l'évolution des îlots en fonction du changement climatique et de la

remontée du niveau marin associée, ce travail permettra de déterminer les incidences plausibles sur les populations nidifiant sur ces îlots.

En 2019, une méthode d'évaluation du potentiel des îlots pour la nidification des tortues marines a été co-construite avec les experts puis, en 2020, cette méthode a été testée sur 13 îlots du GLS faisant l'objet d'un suivi des nidifications des tortues par le WWF.

### Méthode

Chaque espèce ayant des requis écologiques, il a été nécessaire de faire l'analyse des facteurs favorables ou défavorables à la nidification des tortues qui pourraient être contraints ou qui peuvent évoluer en fonction de la dynamique des îlots (morphologie, végétation...).

L'approche suivie a consisté à :

- définir avec les experts (WWF, DENV, DAM) les conditions et critères de nidification en se focalisant sur les facteurs morphologiques, sédimentologiques, l'occupation du sol et sur le contexte général de l'îlot ;
- faire un inventaire de ces critères et définir leur caractère favorable ou défavorable, leurs caractéristiques et leur évolutivité (Tableau 5);  
*déterminer la méthode de qualification de ces critères, à partir d'observations directes (données de terrain) (*
- Figure 9) et à partir de sources indirectes (images satellites, photographies aériennes, traitements SIG) (Figure 10),

Tableau 5 : Les critères utilisés pour déterminer le potentiel de nidification des tortues sur un îlot

Indicateur	Évolutivité	Source d'acquisition
Beachrock	Forte	Téledétection, terrain
Présence et hauteur de talus	Forte	Terrain
Largeur du platier récifal	Moyenne	Téledétection, terrain
Surface propice à la nidification/végétation	Forte	Téledétection, terrain
Granulométrie des sédiments	Moyenne	Terrain
Pente de la plage	Forte	Terrain
Souches et racines et débris ligneux	Forte	Terrain, partiellement téledétection

Il est possible de distinguer 2 familles d'indicateurs :

- ceux affectant l'accès aux sites de pontes (beachrock, largeur de platier à franchir, talus d'érosion) ;

- ceux constituant des caractères plus ou moins favorables à l'implantation des nids (granulométrie des sédiments, présence de racines, de souches etc.).



Figure 9 : Indicateurs décrits à partir d'observations de terrain : en haut à gauche, dalle de beachrock surélevée et démantelée constituant un facteur défavorable à la nidification (Ilot Lérroué) ; en haut à droite, zone en érosion avec nombreux débris végétaux, racines et souches d'arbres constituant un facteur défavorable à la nidification des tortues (Ilot N'Do) ; en bas, talus d'érosion constituant un obstacle à la nidification (Ilot Kouaré)





Figure 10 : Paramètres extraits de traitements SIG : en haut à gauche, largeur de platier rapportée à un point tous les 10 m (Ilot Rédika) ; en haut à droite, localisation des beachrocks (Ilot N'Do) ; en bas à gauche, tendance d'évolution (érosion, accrétion et stabilité) (Ilot Atiré) ; en bas à droite, plateforme récifale et localisation de passe (Ilot N'Gé)

Au cours d'une mission menée par le WWF-France dans le cadre de son inventaire annuel des pontes de tortues qui a eu lieu du 28 au 29 février 2020 sur 13 îlots du Grand Lagon Sud (Figure 11), le SGNC a pu relever directement sur le terrain ces indicateurs en segmentant le trait de côte de chaque îlot en fonction de ses caractéristiques (Figure 12). Ces relevés géomorphologiques et sédimentologiques ont permis de décrire et d'analyser le contexte de chaque segment côtier dans le but de déterminer leur caractère plus ou moins favorable à la ponte des tortues.

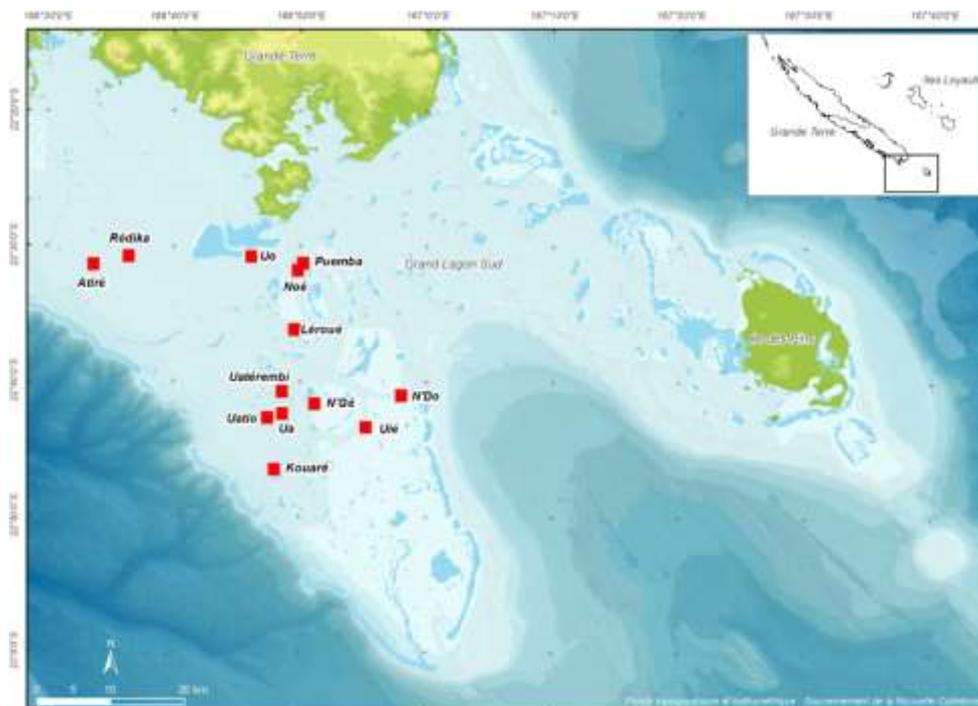


Figure 11 : Localisation des îlots visités au cours de la mission du 28 au 29 février 2020



Figure 12 : Découpage du trait de côte de l'Ilot D'Do par secteur de nature géomorphologique et contexte homogènes

A chaque secteur côtier et pour chaque paramètre présenté précédemment est attribué par expertise une valeur semi-quantitative en fonction de la description des paramètres et leur caractère plus ou moins favorable pour la ponte des tortues : Très favorable (2), Favorable (1), Peu favorable (0), Défavorable (-1) et Très défavorable (-2). Ce travail a été effectué à l'aide des données cartographiques sous SIG qui ont été complétées par les observations réalisées lors de la campagne de terrain.

Tableau 6 : Analyse de chaque secteur côtier de l'Ilot N'Do pour l'ensemble des critères

Secteur	Beachrock	Granulométrie	Pente	Végétation	Talus	Souches et racines	Evolution actuelle	Largeur platier	Présence passe	Valeur attribuée par secteur
65	2	0	2	0	2	2	2	2	-1	Très favorable
66	-2	2	1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	Très défavorable
67	-2	2	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-1	Très défavorable
68	2	2	2	-1	2	-2	-2	-1	-1	Défavorable
69	2	2	2	-1	2	-2	-2	-1	-1	Défavorable
70	2	2	1	0	2	2	2	1	-1	Très favorable
71	2	2	2	0	2	2	2	1	-1	Très favorable
72	2	2	2	0	2	2	2	2	-1	Très favorable
73	2	2	2	0	2	2	2	2	-1	Très favorable

Ces valeurs sont ensuite agrégées et associées à chaque segment de la limite de l'îlot. Il est ainsi possible de cartographier le potentiel de nidification de l'îlot selon les 5 catégories (du plus favorable au moins favorable), d'en évaluer son évolution, d'en quantifier son attrait, etc.

Enfin, ces cartographies sont mises en perspective avec la répartition spatiale des nids afin d'extraire des corrélations et des liens de causalité (Figure 13, Tableau 7, Figure 14, Tableau 8, Figure 15, Tableau 9, Figure 16, Tableau 10).



Figure 13: Cartographie du potentiel de nidification des tortues de l'îlot N'Do

Tableau 7 : Pourcentage de linéaire côtier selon le potentiel de nidification et pourcentage de ponte par type de linéaire de l'îlot N'Do

Potentiel de nidification	Longueur de segment cumulé en m	Pourcentage de longueur de segment selon le potentiel de nidification	Nombre de ponte par type de segment	Pourcentage de ponte par type de segment
Très favorable	575	44	11	100
Favorable	0	0	0	0
Peu favorable	0	0	0	0
Défavorable	180	14	0	0
Très défavorable	543	42	0	0



Figure 14 : Cartographie du potentiel de nidification des tortues de l'îlot N'Gé

Tableau 8 : Pourcentage de linéaire côtier selon le potentiel de nidification et pourcentage de ponte par type de linéaire de l'îlot N'Gé

Potentiel de nidification	Longueur de segment cumulé en m	Pourcentage de longueur de segment selon le potentiel de nidification	Nombre de ponte par type de segment	Pourcentage de ponte par type de segment
Très favorable	289	33	10	56
Favorable	97	11	6	33
Peu favorable	0	0	0	0
Défavorable	183	21	2	11
Très défavorable	304	35	0	0



Figure 15 : Cartographie du potentiel de nidification des tortues de l'îlot Atiré

Tableau 9 : Pourcentage de linéaire côtier selon le potentiel de nidification et pourcentage de ponte par type de linéaire de l'îlot Atiré

Potentiel de nidification	Longueur de segment cumulé en m	Pourcentage de longueur de segment selon le potentiel de nidification	Nombre de ponte par type de segment	Pourcentage de ponte par type de segment
Très favorable	103	20	9	50
Favorable	164	32	5	28
Peu favorable	0	0	0	0
Défavorable	104	20	1	6
Très défavorable	139	27	3	17



Figure 16 : Cartographie du potentiel de nidification des tortues de l'îlot Rédika

Tableau 10 : Pourcentage de linéaire côtier selon le potentiel de nidification et pourcentage de ponte par type de linéaire de l'îlot Rédika

Potentiel de nidification	Longueur de segment cumulé en m	Pourcentage de longueur de segment selon le potentiel de nidification	Nombre de ponte par type de segment	Pourcentage de ponte par type de segment
Très favorable	184	16	9	64
Favorable	249	21	2	14
Peu favorable	57	5	0	0
Défavorable	544	46	3	21
Très défavorable	136	12	0	0

### Conclusion

Ce travail a permis de développer et tester une méthode visant à évaluer le potentiel des îlots pour la nidification pour les tortues en fonction de critères géomorphologiques. Les résultats préliminaires ont montré que, pour les îlots Rédika, Atiré, N'Gé et N'Do, 85 % des pontes observées au cours de la campagne de terrain 2019-2020 sont localisées sur les secteurs caractérisés comme très favorables et favorables à la nidification selon la méthodologie proposée (Tableau 11).

Ces résultats démontrent que le choix d'indicateurs, dont la combinaison permet d'analyser spatialement le caractère plus ou moins propice à la nidification d'un îlot, est pertinent. De même, la confrontation de ces indicateurs aux comptages des nids réalisés par les biologistes du WWF permet de valider la fiabilité de cette approche et justifier son intérêt.

Tableau 11: Résultats préliminaires sur les îlots Rédika, Atiré, N'Da et N'Gé

	<b>% de linéaire côtier très favorable et favorable à la nidification (+1 et +2)</b>	<b>% de linéaire côtier peu favorable, défavorable et très défavorable à la nidification (0, -1, -2)</b>	<b>% de pontes sur les secteurs très favorables et favorables à la nidification (+1 et +2)</b>	<b>% de pontes sur les secteurs peu favorables, défavorables et très défavorables à la nidification (0, -1, -2)</b>
<b>Rédika</b>	37	63	79	21
<b>Atiré</b>	52	48	78	22
<b>N'Gé</b>	44	56	89	11
<b>N'Do</b>	44	56	100	0

Cette méthode sera ultérieurement appliquée aux îlots faisant l'objet de suivi des pontes de tortues tel que les îlots d'Entrecasteaux et des Chesterfields afin de l'éprouver dans un contexte différent.

Dans un second temps, il sera possible à partir d'hypothèses quant à l'évolution future des îlots dans le cadre du changement climatique, d'évaluer l'impact potentiel sur les populations de tortue.

La méthode développée pour le moment pour les tortues pourra être étendue et adaptée à d'autres groupes comme par exemple les oiseaux nichant sur ces mêmes îlots (dont les indicateurs sont différents). Cette approche permettra d'analyser l'impact potentiel des évolutions des îlots dans le cadre du changement climatique, notamment la remontée du niveau marin, sur les populations et la biodiversité.

## Conclusions du chapitre

L'effort de recherche développé au cours de cette saison 2019-2020 vient compléter la base historique de données générée par les premières années du suivi. Il nous permet entre autres de confirmer que les îlots Atiré, Rédika, Gi et N'Gé sont identifiés comme les zones de protection prioritaires puisqu'ils concentrent chaque année plus de la moitié des pontes enregistrées sur le suivi rapproché et que leur représentativité ne varie pas significativement d'une saison à l'autre. On affirme également que le pic d'activité de ponte se situe bien entre mi-décembre et mi-janvier, ce qui est cohérent avec les données issues de la Roche Percée.

Étant donné la biologie de l'espèce, et notamment le fait que les femelles ne participent aux saisons de reproduction que tous les 1 à 7 ans, il est important de rappeler ici que ce suivi manque encore de robustesse puisque son niveau de compréhension ne se base

que sur les résultats issus des trois dernières années. Il est donc nécessaire de maintenir l'effort de recherche en pérennisant le suivi dans les années à venir pour compiler une série temporelle de données adéquate à l'espèce et qui permettra à terme de dégager une information rigoureuse sur les modalités de l'utilisation du GLS par la population de tortues *C. caretta*.

## 4- Étude du succès de ponte observé dans le Grand Lagon Sud : une évaluation de la qualité du site de ponte

Le succès de reproduction des tortues marines s'exprime à travers différents indicateurs et, en particulier, le succès de ponte et le succès d'émergence. Ce type d'étude, pour être mené précisément, requière des conditions d'accessibilité difficiles à remplir dans le GLS. Nous proposons néanmoins de mener ici une première évaluation du succès de ponte dans la zone d'étude.

Le succès de ponte est défini comme le rapport du nombre de pontes sur l'ensemble des activités de montées sur plage recensées, exprimant ainsi l'aptitude des femelles à pondre effectivement sur ce site. Il s'exprime en pourcentage. Ici, nous nous sommes basés sur les traces d'activités recensées lors du suivi des pontes, c'est-à-dire les traces de : ponte présumée, tentative de nid avortée ou demi-tour sans ponte.

La méthode proposée est influencée par l'interprétation des traces générées lors de l'activité (en particulier du fait de l'incertitude propre à la distinction entre ponte avérée et tentative). Afin d'éviter des erreurs d'interprétation, nous avons choisi ici de ne retenir que les activités pour lesquelles les traces de locomotions étaient encore bien visibles, et donc associé à une activité récente. Cela permet notamment de ne pas sous-estimer le nombre de  $\frac{1}{2}$  tours sans ponte.

### 4-1- Variabilité spatio-temporelle du succès de ponte sur les îlots du GLS

Les caractéristiques du site de ponte du GLS font que l'étude du succès de ponte y est particulièrement intéressante, notamment en comparaison de la LRP. Ici, nous nous concentrons d'abord sur le GLS via une approche intra puis inter-saisonnière, afin d'évaluer l'influence des variables îlots et temporalité.

Pour cela, nous nous basons sur le Tableau 12 : Succès de ponte (en %) estimé sur les différents îlots du suivi rapproché au cours des trois dernières saisons. ci-dessous, dans lequel est présenté le succès de ponte estimé sur les différents îlots du suivi rapproché, exprimé en pourcentage, pour les trois dernières saisons et pour les différentes périodes de la saison.

Tableau 12 : Succès de ponte (en %) estimé sur les différents îlots du suivi rapproché au cours des trois dernières saisons.

	2017-18				2018-19			2019-20			
	Début	Pic	Fin	TOTAL	Début	Pic	TOTAL	Début	Pic	Fin	TOTAL
Atiré	60	50		54,2	50	60	57,1	30	30	75	34,1
Gi	67	50	100	61,5	80	60	65	45	60		50
N'Gé					0	0	0	33			33
Atiré	0	40		33,3	33	30	30	0	0		0
N'Gé	67	30		33,3	33	40	40	33			33
N'Gé	33	80		50	31	60	47,1	46	0	50	41,1
N'Gé										25	25
N'Gé									50	100	62,5
N'Gé	40	50	33	41,7		30	28,6	0	17	29	16,7
N'Gé	0			0							
N'Gé		0		0							
N'Gé	75	50		44,4		40	40	7	0	20	6,5
N'Gé					100	50	57,1	11	14	40	17,8
N'Gé									67	0	40
N'Gé									100		100
N'Gé	0			66,7		60	63,6	30			30
TOTAL	50	40	50	<b>46,2</b>	47	50	<b>48,4</b>	23	24	41	<b>25,6</b>

#### Variabilité intra-saisonnière

Une importante variabilité du succès de ponte estimé est observée entre les îlots du GLS et ce pour les trois dernières saisons (Tableau 12). Sur une saison, le succès de ponte par îlot peut varier de 0 à 100%. Cette extrême variabilité est fortement influencée par la taille d'échantillons selon les îlots. Néanmoins, en ne considérant que les îlots où au moins 30 activités ont été recensées au cours de la saison 2019-20, on peut identifier des différences significatives du succès de ponte sur les différents îlots (Kruskal Wallis test,  $pval < 0,05$  \*\*\*). Un test de Dunn's nous permet de distinguer le pattern suivant :

$$\text{Rédika} = \text{Uatérembi} < \text{Uatio} < \text{Atiré} = \text{N'Gé} < \text{Gi}$$

De plus, une variabilité saisonnière est également observée avec un succès de ponte plus important en fin de saison que pendant le début et le pic de l'activité.

$$\text{Début (23\%)} = \text{Pic (24\%)} < \text{Fin (41\%)}$$

#### Variabilité inter-saisonnière

De manière analogue, on démontre que la variabilité spatiale du succès de ponte sur les îlots est également significative à l'échelle pluriannuelle (Kruskal Wallis test,  $pval < 0,005$  \*\*\*).

Rédika = Uatérembi < Kouaré = Uatio < Atiré = N'Gé < Gi

En revanche, on montre que la variabilité saisonnière du succès de ponte à l'échelle pluriannuelle est plus structurée que pour le seul exercice 2019-20, avec un succès de ponte qui augmente significativement tout au long de la saison (Kruskal Wallis test,  $p_{val} < 0,005$  \*\*\*). Cette observation traduit une meilleure efficacité dans l'activité de pontes des individus au cours de la saison.

Début (32%) < Pic (39%) < Fin (52%)

Enfin, on notera que le succès de ponte moyen estimé à l'échelle du site au cours de la saison 2019-20 est significativement plus faible que celui observé lors des deux années précédentes (Kruskal Wallis test,  $p_{val} < 0,005$  \*\*\*):

2019-20 (25,6%) < 2017-18 (46,2%) = 2018-19 (51,1%)

La cartographie des succès de ponte mesurés sur les différents îlots du suivi rapproché a été réalisée pour chaque saison, soulignant la grande disparité de l'indicateur d'un îlot à l'autre dans la zone d'étude (Figure 17).

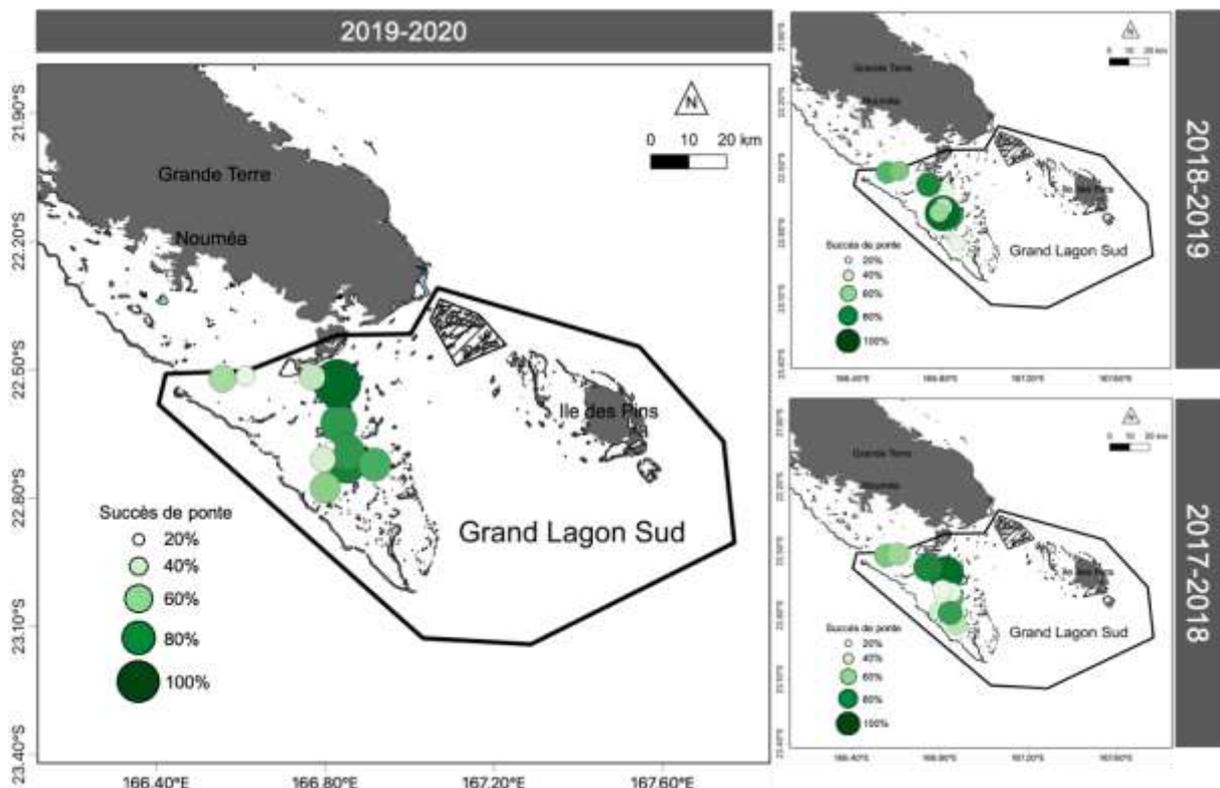


Figure 17 : Cartographie des succès de ponte estimés sur les îlots du suivi rapproché au cours des trois dernières saisons

**Conclusions :** les résultats soulignent une fois encore l'importance des îlots Gi, Atiré et N'Gé qui, en plus de concentrer le principal des activités, semblent être les sites les plus appropriés pour l'activité de ponte. L'année 2019-2020 affiche un succès de ponte très faible (25,6%), significativement moins important que celui calculé au cours des deux années

précédentes, sans que nous soyons en mesure d'en expliquer les raisons à ce stade de l'étude.

#### 4-2- Variabilité du succès de ponte entre les sites de ponte du GLS et de Bourail

L'étude du succès de ponte estimé sur le site de la Roche Percée est rendue possible depuis 2006 grâce aux données collectées localement par l'association Bwără Tortues Marines. On peut observer sur la Figure 18 ci-dessous que le succès de ponte qui y est mesuré varie globalement peu à l'échelle pluriannuelle, avec une moyenne de 63,2% sur les 14 années d'étude. Ces variations sont non significatives sur la période considérée (Chi-squared test,  $p_{val} > 0,05$ ). En revanche, on peut également noter que le succès de ponte observé sur la Roche Percée depuis la saison 2017-18 (59%) est supérieur à celui estimé sur le site du GLS (47%) sur la même période.

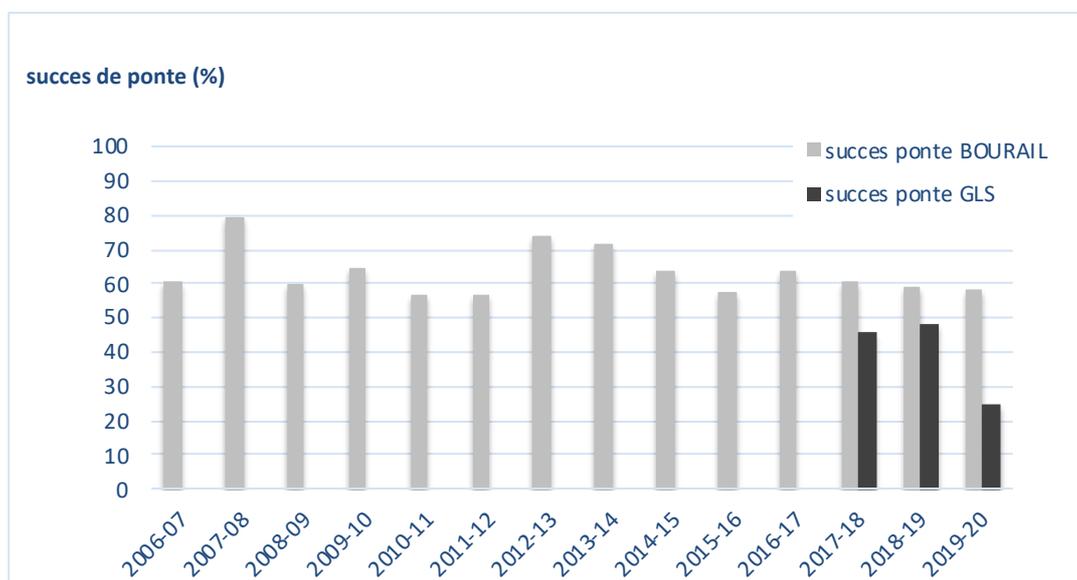


Figure 18 : Comparaison des succès de ponte estimés sur le site de la Roche Percée (données Bwără Tortues Marines) et sur le GLS (données WWF-France)

**Ces résultats préliminaires semblent donc indiquer que le site de ponte de la Roche Percée est plus favorable aux activités de ponte des tortues *C. caretta* que celui du GLS. Ces résultats doivent maintenant être croisés avec les facteurs environnementaux pour comprendre quels sont les forçages de l'habitat et l'influence des perturbations naturelles et anthropique sur cette activité de ponte.**

#### Conclusions du chapitre

L'étude du succès de ponte à l'échelle du site du GLS a donc permis à ce stade d'identifier les îlots Gi, Atiré et N'Gé comme étant les sites les plus favorables aux tortues, qui y trouvent des conditions optimales pour leurs activités de ponte. A l'inverse, certains îlots

sont très négativement représentés dans le succès de ponte, comme les îlots Uatérémbi ou encore Rédika, pourtant identifié comme un des îlots supportant le plus d'activités de ponte.

De nombreux facteurs sont susceptibles d'influencer le succès de ponte à différents stades du processus, tels que la structure dimensionnelle de l'habitat [25] le couvert végétal ou la nature du substrat [26], [27]. Il sera intéressant pour la suite de pouvoir s'appuyer sur les profils géomorphologiques des îlots réalisés dans le chapitre précédent pour approfondir notre compréhension des facteurs influant sur le succès de l'activité de ponte dans le GLS. Cette connaissance doit également nous permettre de mieux caractériser le contexte général du site en identifiant les principales pressions s'exerçant sur l'activité de ponte, ce qui constituera une première base de réflexion sur les mesures de gestion à adopter.

On note enfin que le site du GLS apparaît moins propice aux activités de ponte que le site de Bourail, traduisant le fait que les tortues rencontrent plus de difficultés à pondre sur les plages des îlots que sur la plage de la Roche Percée.

## 5- Estimation de la production de mâles sur le site de ponte du GLS : un indicateur du potentiel de résilience de l'espèce à l'échelle régionale

Les spécialistes UICN ont récemment identifié les perturbations résultant du changement climatique comme l'une des principales menaces pour la sous population de tortues *Caretta caretta* du Pacifique Sud [6], notamment aux vues de :

- L'augmentation des températures, entraînant notamment un déséquilibre du sex-ratio dans de nombreuses populations et un phénomène de féminisation global [28]–[32]. Ce phénomène est dû au fait que le sexe des nouveau-nés est principalement influencé par les conditions de température au cours de l'incubation [33], [34] et il a déjà été documenté à la Roche Percée [32].
- La montée du niveau des mers et l'intensification des cyclones tropicaux, responsables d'une perte de superficie et de destruction des habitats de ponte due à l'érosion des littoraux, et ce particulièrement sur les côtes étroites et sur les îles [35]–[40]. Il a été démontré que les espèces hautement philopatriques, comme la tortue *C. caretta*, étaient plus fortement impactées par la perte d'habitats associée aux tempêtes [41]–[43].

La présente étude a permis d'aborder la problématique de déséquilibre du sexe ratio en lien avec l'augmentation des températures. La situation est menaçante pour le maintien de l'espèce, déjà très diminuée et fragmentée à l'échelle du Pacifique Sud. Il est donc essentiel de pouvoir évaluer la capacité du site de ponte du GLS à maintenir un équilibre du sex-ratio sur le long terme en évaluant sa propension à produire des mâles. Nous avons pour cela de réalisé les premiers profils de températures des nids au cours de l'incubation de la zone GLS au cours de la saison 2019-2020. Il est également intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus à LRP, où un enjeu de sur-féminisation de la population a déjà été identifié par

le passé (Read et al. 2013). Afin de permettre une meilleure comparaison avec les données GLS, de nouveaux profils de températures ont parallèlement été obtenus sur la plage de la Roche Percée.

#### 5-1- Établissement des profils de température dans les nids du GLS et de la Roche Percée et estimation des sex-ratios

Le suivi de la température dans les nids des sites de ponte du GLS et de LRP au cours de la saison 2019-2020 a été réalisé à travers l'utilisation d'enregistreurs de température iButton® (Maxim, Model DS1922L), placés dans les nids au cours des activités de ponte auxquelles nous avons pu assister afin de minimiser l'impact sur le développement des œufs. Ils ont permis l'acquisition des conditions de température à intervalle régulier d'une heure sur la totalité de la période d'incubation.

Quatre enregistreurs ont ainsi pu être déployés dans le GLS entre novembre 2019 et janvier 2020 (trois sur Atiré et un sur N'Gé). Onze enregistreurs supplémentaires ont été posés à Bourail grâce à la collaboration de l'association Bwärä Tortues Marines, dont neuf dans des nids localisés sur la plage de la Roche Percée et deux dans des nids déplacés sous des nurseries en haut de plage et équipées d'ombrières afin de diminuer la température dans les nids au cours de l'incubation. Ils ont par la suite été récupérés après s'être assuré qu'un délai suffisant entre la ponte et l'excavation soit respecté pour ne pas interférer avec les processus naturels d'émergence du nid. Malheureusement, deux des quatre enregistreurs de température du GLS n'ont pas pu être exploités dans cette étude du fait d'un fonctionnement défectueux dont l'origine n'a pu être déterminée.

La nature du sexe chez les tortues marines est directement influencée par la température au cours d'une période critique, identifiée comme le second tiers de la période d'incubation, où les gonades sont différenciées [33], [34]. Afin d'estimer le sex-ratio produit dans les nids, la période d'incubation pour chaque nid a donc été définie comme le nombre de jours entre la ponte et celui de l'éclosion des œufs, révélée par une chute importante et soudaine de la température résultant de l'ascension des nouveau-nés dans la colonne de sable [44] ou constatée quand cela a été possible lors du suivi réalisé à Bourail. La proportion de nouveau-nés femelles produit dans chaque nid étudié a ensuite été estimée à travers le calcul de la température moyenne au cours du second tiers de la période d'incubation, utilisée dans l'équation développée par [29] :

$$\% \text{ femelle} = \frac{105,3481}{1 + \text{EXP}\left(-\frac{(TEMP - 28,5102)}{1,1379}\right)}$$

La durée de l'incubation, les profils de températures moyennes, la température moyenne enregistrée sur la période correspondant au second tiers de l'incubation et les pourcentages de femelles estimés dans les trois conditions d'incubations mentionnées ci-dessus sont présentés sur le Tableau 13. Une variabilité saisonnière significative de la

température a également été relevée (Chi-squared test, p-value<0,05 \*\*\*) comme illustrée sur la Figure 19 (A) ci-dessous. L'étude comparative des profils de température entre les trois sites a donc été recentrée sur la période commune d'enregistrement (Figure 19 B). Il en ressort une variabilité spatiale de la température très significative entre les trois conditions d'incubation (Kruskal Wallis test, pval<0,05 \*\*\*), avec un écart de température moyenne de l'ordre de 5°C entre la plage de la Roche Percée et les îlots du GLS. On notera également que la durée de l'incubation est négativement corrélée à la température dans les nids.

#### Ilot GLS < Nurserie RP < Plage RP

Tableau 13 : Température moyenne, température moyenne au cours du second tiers de l'incubation et pourcentage de femelles estimé des nids étudiés sur différentes conditions d'incubation à la Roche Percée et dans le Grand Lagon Sud.

# nid	Durée d'incubation (jours)	température moyenne (°c)	température 2nd tiers incubation (°c)	Pourcentage femelles
<b>Plage Roche Percée</b>	<b>50</b>	<b>32,4 ± 1,5</b>	<b>32,3 ± 1,1</b>	<b>100</b>
1	51	31,1	30,9	93,7
2	50	31,8	31,6	99
3	51	31,8	31,7	99,4
11	51	32,5	32,8	100
12	47	33	33,3	100
13	52	32,6	32,5	100
14	47	33,2	32,7	100
15	52	32	31,8	99,7
20	51	32,3	31,9	100
<b>Nurserie Roche Percée</b>	<b>58,5</b>	<b>29,8 ± 1,7</b>	<b>29,4 ± 0,7</b>	<b>72,5</b>
4	56	30	29,5	73,5
5	61	29,7	29,4	71,5
<b>Ilot Grand Lagon Sud</b>	<b>62,5</b>	<b>27 ± 2,2</b>	<b>26,5 ± 1,3</b>	<b>15,2</b>
7	64	25,9	25,8	8,6
100	61	29,2	28,4	49,9

La température moyenne enregistrée sur le second tiers de la période d'incubation étant également supérieure à la Roche Percée (Tableau 13), il en résulte que la proportion de femelles estimée dans les couvées est significativement plus élevée sur la plage de la Roche Percée (100%) que sous la nurserie (72,5%) ou sur les îlots du GLS (15,2% avec une forte variabilité entre les deux nids étudiés) (Kruskal Wallis test, pval<0,05 \*\*\*)).

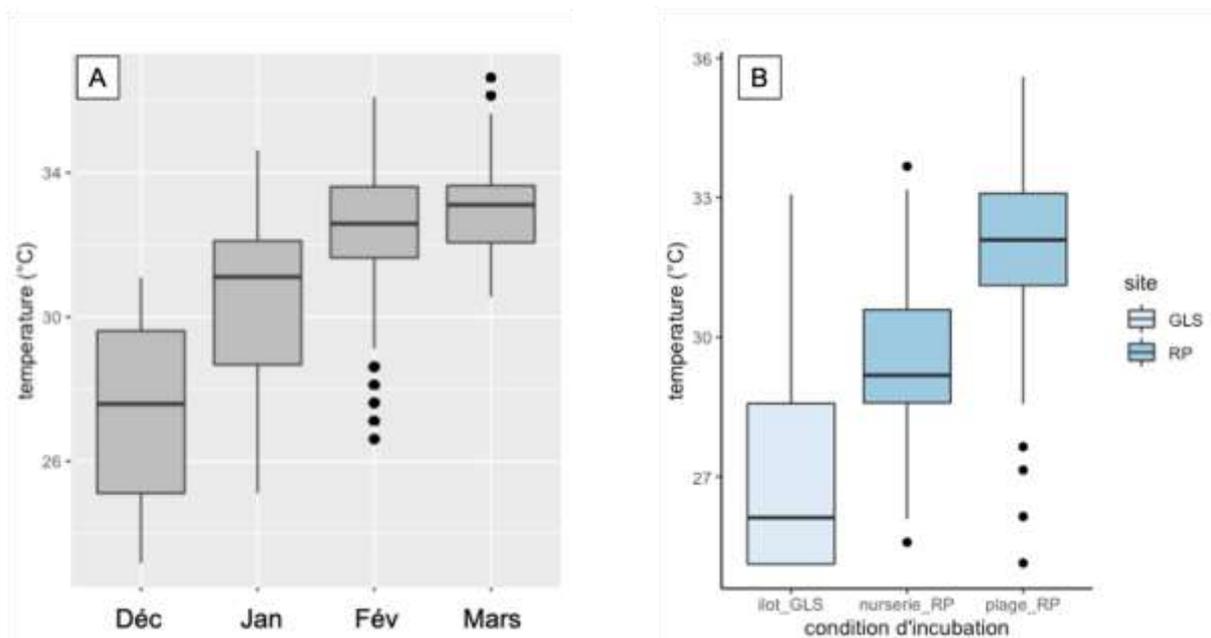


Figure 19 : Variabilité spatio-temporelle de la température dans les nids en incubation sur les sites du GLS et de Bourail

**Conclusion : la faiblesse de l'échantillonnage sur le GLS à ce stade de l'étude limite fortement les possibilités d'interprétation des résultats, cependant ces premières données suggèrent une possible différence entre les sites du GLS et de LRP dont l'importance pourrait être critique en terme de conservation et gestion de ces 2 sites. En effet, si les températures plus basses enregistrées dans le GLS devaient se confirmer, cela pourrait s'avérer critique en terme de stratégie de gestion à l'échelle des sites et de la province Sud pour cette espèce.**

L'origine de cette variabilité pourrait être liée aux natures différentes du substrat sur les deux zones. Le site du GLS est en effet composé d'îlots coralliens, ouverts à la circulation océanique et constitués d'un substrat plus clair et grossier que le sable fin et foncé d'origine détritique retrouvé à la Roche Percée, ce qui favorise une meilleure circulation de l'air et une moindre rétention de chaleur.

#### Conclusions du chapitre

L'étude des profils de température dans les nids au cours de l'incubation nous a permis de d'observer une température plus faible dans les nids localisés sur les îlots du GLS que sur la Roche Percée. Ces résultats préliminaires suggèrent une plus grande propension à produire des individus mâles sur ce site de ponte qu'à Bourail, bien que des données complémentaires soient nécessaires pour valider ces observations et mieux caractériser la variabilité à l'échelle du GLS. Ces résultats suggèrent également que le site du GLS pourrait avoir un rôle essentiel au maintien de la population de tortues *Caretta caretta* de Nouvelle-Calédonie de par sa capacité à réguler le risque de féminisation dans la région. Cela dépend évidemment du niveau de dispersion des mâles entre les sites de ponte du territoire. Sont-ils, comme cela semble être le cas pour les femelles, inféodés à des zones restreintes comme le GLS ou LRP, ou fréquentent-ils différents sites de ponte pour accroître leur succès reproducteur ? A ce titre, l'éclairage d'une étude génétique permettant d'évaluer la connectivité intergénérationnelle,

et plus particulièrement le flux génétique mâle, et/ou de balisage de mâles permettant d'évaluer la possibilité de mouvements intra-saisonnier, pourrait s'avérer crucial pour l'orientation stratégique des futures mesures de gestion en province Sud.

Le volet « érosion et changement climatique » ne fait pas l'objet de résultats dans le cadre du projet 2019- 2020 mais il est attendu que les informations collectées au cours de la saison en partenariat avec OBLIC permettront d'alimenter une base de données dont pourrait bénéficier, par la suite, le projet de thèse. Celui-ci pourrait alors permettre de travailler sur des projections et anticipations du risque érosif.

## 6- Bibliographie

- [1] P. Casale and A. D. Tucker, "Caretta caretta, Loggerhead turtle," 2015. [Online]. Available: <http://www.nmfs.noaa.gov/pr/species/turtles/loggerhead.htm>.
- [2] M. C. Boyle, N. N. FitzSimmons, C. J. Limpus, S. Kelez, X. Velez-Zuazo, and M. Waycott, "Evidence for transoceanic migrations by loggerhead sea turtles in the southern Pacific Ocean," *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 276, no. 1664, pp. 1993–1999, 2009, doi: 10.1098/rspb.2008.1931.
- [3] N. N. FitzSimmons and C. J. Limpus, "Marine Turtle Genetic Stocks of the Indo-Pacific: identifying boundaries and knowledge gaps," 2014.
- [4] B. P. Wallace *et al.*, "Global patterns of marine turtle bycatch," *Conserv. Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 131–142, 2010, doi: 10.1111/j.1755-263X.2010.00105.x.
- [5] CMS, "Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) : Plan d'action par espèce pour la tortue caouanne (*Caretta caretta*) dans l'océan Pacifique Sud," 2014.
- [6] C. J. Limpus and P. Casale, "The IUCN Red List of Threatened Species: *Caretta caretta* (South Pacific subpopulation), Loggerhead Turtle," *IUCN Red List Threat. Species*, vol. 8235, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T84156809A84156890.en>.
- [7] S. Mounier, "Bilan préliminaire des volets survols et mission terrain de l'opération Tortue NC 2006/2007 | Oeil Nouvelle-Calédonie," 2007. Accessed: Jul. 16, 2020. [Online]. Available: <https://www.oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/778>.
- [8] C. J. Limpus and D. J. Limpus, "Loggerhead turtles in the equatorial and southern Pacific Ocean: a species in decline.," *Biol. Conserv. Loggerhead Turtles*, pp. 199–209, 2003.
- [9] K. Fourniere, T. Jacob, and D. Lafage, "Bilan de huit années de suivi des tortues grosses têtes (*Caretta caretta*) par l'association Bwără Tortues Marines et perspectives (sites de la Roche Percée et de la Baie des Tortues)," 2015.
- [10] M. Oremus and J. Mattei, "Tortues 'grosse tête' du Grand Lagon Sud : Inventaire des sites de ponte et réflexion sur la mise en place d'un protocole de suivi de la population. Rapport de projet WWF France.," 2017.
- [11] B. W. Bowen, A. B. Meylan, and J. C. Avise, "An odyssey of the green sea turtle: Ascension Island revisited," *Mol. Ecol. Evol. Org. Side Sel. Writings from Avis. Lab.*, vol. 86, no. January, pp. 365–368, 1989, doi: 10.1142/9789814350709\_0006.
- [12] A. B. Meylan, B. W. Bowen, and J. C. Avise, "A genetic test of the natal homing versus social facilitation models for green turtle migration.," *Science (80-. )*, vol. 248, pp. 724–727, 1990.
- [13] M. Hamann *et al.*, "Global research priorities for sea turtles: Informing management and conservation in the 21st century," *Endanger. Species Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 245–269, 2010, doi: 10.3354/esr00279.
- [14] K. A. Bjorndal, A. B. Meylan, and B. J. Turner, "Sea turtles nesting at Melbourne Beach,

- Florida, I. Size, growth and reproductive biology," *Biol. Conserv.*, vol. 26, no. 1, pp. 65–77, 1983, doi: 10.1016/0006-3207(83)90049-6.
- [15] D. L. Stoneburner and L. M. Ehrhart, "Observation on *Caretta caretta* : a record internesting migration in the Atlantic," *Herpetol. Rev.*, vol. 12, p. 66, 1981.
- [16] T. Iwamoto, M. Ishii, Y. Nakashima, H. Takeshita, and A. Itoh, "Nesting cycles and migrations of the loggerhead sea turtle in Miyazaki, Japan," *Jpn. J. Ecol*, vol. 35, pp. 281–287, 1985.
- [17] B. P. Wallace *et al.*, "The State of the World's Sea Turtles (SWOT) Minimum Data Standards for Nesting Beach Monitoring," 2011.
- [18] M. Girondot, "Optimizing sampling design to infer the number of marine turtles nesting on low and high density sea turtle rookeries using convolution of negative binomial distribution," *Ecol. Indic.*, vol. 81, no. April, pp. 83–89, 2017, doi: 10.1016/j.ecolind.2017.05.063.
- [19] J. D. Miller, C. J. Limpus, and M. H. Godfrey, "Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching, and emergence of loggerhead turtles," *Loggerhead sea turtles*, pp. 125–143, 2003.
- [20] C. J. Limpus, "A study of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* in eastern Australia," 1985.
- [21] R. H. Bustard, *Australian Sea Turtles. Their Natural History and Conservation*. 1972.
- [22] M. Girondot *et al.*, "Phenology of marine turtle nesting revealed by statistical model of the nesting season," *Handb. Environ. Chem. Vol. 5 Water Pollut.*, vol. 6, pp. 1–12, 2006, doi: 10.1186/1472-6785-6-11.
- [23] E. Delcroix, S. Bédél, G. Santelli, and M. Girondot, "Monitoring design for quantification of marine turtle nesting with limited human effort: a test case in the Guadeloupe Archipelago," *Oryx*, vol. 48, pp. 95–105, 2013.
- [24] M. Barbier and A. Sibeaux, "Rapport d'activités de l'association Bwärä Tortues Marines : saison 2019-2020," 2020.
- [25] R. Septiadi, D. G. Bengen, and N. M. N. Natih, "Typology of Olive Ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*, Linn 1958) nesting habitat in Kuta Beach, Serangan Beach and Saba Beach, Bali Province," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 176, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/176/1/012024.
- [26] N. Karavas, K. Georghiou, M. Arianoutsou, and D. Dimopoulos, "Vegetation and sand characteristics influencing nesting activity of *Caretta caretta* on Sekania beach," *Biol. Conserv.*, vol. 121, no. 2, pp. 177–188, 2005, doi: 10.1016/j.biocon.2004.04.017.
- [27] F. J. Schwartz, "Correlation of nest sand asymmetry and percent loggerhead sea turtle egg hatch in North Carolina determined by geological sorting analyses," *ASB Bull.*, vol. 29, p. 83, 1982.
- [28] J. R. Monsinjon *et al.*, "The climatic debt of loggerhead sea turtle populations in a warming world," *Ecol. Indic.*, vol. 107, no. September, p. 105657, 2019, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105657.
- [29] C. T. Chu, "The effects of incubation temperature on morphology and locomotion performance of loggerhead turtle hatchlings (*Caretta caretta*) at Mon Repos,

- Australia," 2008.
- [30] A. Marco, E. Abella, S. Martins, J. Patino-Martinez, and O. López, "Female nesting behaviour affects hatchling survival and sex ratio in the loggerhead sea turtle: implications for conservation programmes," *Ethol. Ecol. Evol.*, vol. 30, no. 2, pp. 141–155, 2017.
- [31] M. Girondot, J. Monsinjon, and J. M. Guillon, "Delimitation of the embryonic thermosensitive period for sex determination using an embryo growth model reveals a potential bias for sex ratio prediction in turtles," *J. Therm. Biol.*, vol. 73, pp. 32–40, 2018.
- [32] T. Read, D. T. Booth, and C. J. Limpus, "Effect of nest temperature on hatchling phenotype of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from two South Pacific rookeries, Mon Repos and la Roche Percée," *Aust. J. Zool.*, vol. 60, no. 6, pp. 402–411, 2013, doi: 10.1071/ZO12079.
- [33] C. L. Yntema and N. Mrosovsky, "Critical periods and pivotal temperatures for sexual differentiation in loggerhead sea turtles," *Rev. Can. Zool.*, vol. 60, no. 5, pp. 1012–1016, 1982.
- [34] J. R. Spotila, E. A. Standora, S. J. Morreale, and G. J. Ruiz, "Temperature Dependent Sex Determination in the Green Turtle (*Chelonia mydas*): Effects on the Sex Ratio on a Natural Nesting Beach Author (s): James R. Spotila, Edward A. Standora, Stephen J. Morreale and Georgita J. Published by: Allen Press on," *Herpetologica*, vol. 43, no. 1, pp. 74–81, 1987.
- [35] M. R. Fish, I. M. Côté, J. A. Gill, A. P. Jones, S. Renshoff, and A. R. Watkinson, "Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat," *Conserv. Biol.*, vol. 19, no. 2, pp. 482–491, 2005, doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00146.x.
- [36] M. R. Fish, I. M. Côté, J. A. Horrocks, B. Mulligan, A. R. Watkinson, and A. P. Jones, "Construction setback regulations and sea-level rise: Mitigating sea turtle nesting beach loss," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 51, no. 4, pp. 330–341, 2008, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2007.09.002.
- [37] A. D. Mazaris, G. Matsinos, and J. D. Pantis, "Evaluating the impacts of coastal squeeze on sea turtle nesting," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 52, no. 2, pp. 139–145, 2009, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2008.10.005.
- [38] J. S. Reece, D. Passeri, L. Ehrhart, and S. . . Hagen, "Sea level rise, land use, and climate change influence the distribution of loggerhead turtle nests at the largest USA rookery (Melbourne Beach, Florida)," *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 493, pp. 259–274, 2013.
- [39] M. Fuentes, C. J. Limpus, M. Hamann, and J. Dawson, "Potential impacts of projected sea-level rise on sea turtle rookeries," *Aquat. Conserv. Freshw. Ecosyst.*, vol. 20, pp. 132–139, 2010.
- [40] M. M. P. B. Fuentes, C. J. Limpus, and M. Hamann, "Vulnerability of sea turtle nesting grounds to climate change," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 17, no. 1, pp. 140–153, 2011, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02192.x.
- [41] D. A. Pike and J. C. Stiner, "Sea turtle species vary in their susceptibility to tropical cyclones," *Oecologia*, vol. 153, no. 2, pp. 471–478, 2007, doi: 10.1007/s00442-007-

0732-0.

- [42] M. J. Witt *et al.*, "Satellite tracking highlights difficulties in the design of effective protected areas for Critically Endangered leatherback turtles *Dermochelys coriacea* during the inter-nesting period," *Oryx*, vol. 42, no. 2, pp. 296–300, 2008, doi: 10.1017/S0030605308006947.
- [43] S. J. Kamel and N. Mrosovsky, "Repeatability of nesting preferences in the hawksbill sea turtle, *Eretmochelys imbricata*, and their fitness consequences," *Anim. Behav.*, vol. 70, no. 4, pp. 819–828, 2005, doi: 10.1016/j.anbehav.2005.01.006.
- [44] D. T. Booth and C. Freeman, "Sand and nest temperatures and an estimate of hatchling sex ratio from the Heron Island green turtle (*Chelonia mydas*) rookery, Southern Great Barrier Reef," *Coral Reefs*, vol. 25, no. 4, pp. 629–633, 2006, doi: 10.1007/s00338-006-0135-4.