

# Protocoles prévisionnels dans le cadre de la demande d'autorisation d'expérimenter

## – Martinique & Guadeloupe –

Damien CHEVALLIER  
CNRS BOREA  
UMR 8067  
Université des Antilles  
Campus de Martinique  
Laboratoire de Géosciences Marines  
Bureau 23, BP 7207  
97275 SCHOELCHER Cedex

# PROJET TOPASE

## DESCRIPTION DES PROTOCOLES

### Contexte

Aux Antilles françaises, la pêche est majoritairement artisanale, pratiquée par des entreprises de pêche unipersonnelles, sur des embarcations de type « yole de pêche », de moins de 10 mètres. Elle se caractérise par des métiers dits côtiers, qui exploitent principalement les ressources démersales, et des métiers dits « du large » ciblant davantage des espèces pélagiques (Scombridae, Istiophoridae, Corphaenidae, etc.). La pêche côtière représente 62% des navires actifs de Martinique en 2019 et 65% en Guadeloupe en 2018. A eux seuls, les métiers associés aux filets maillants droits représentent 34% de la flotte guadeloupéenne en 2018 et 26% de la flotte martiniquaise en 2019 (source : données SIH). Certaines pêcheries côtières représentent localement une forte valeur commerciale de par les espèces ciblées, notamment les filets à lambis (*Aliger gigas*) et les filets à langoustes (*Panulirus guttatus* et *Panulirus argus*). Certaines espèces de poissons récifaux (Scaridae, Acanthuridae, etc.) sont également ciblées par les filets maillants de fond. Or, des travaux précédents (Louis-Jean L., 2015) ainsi que des témoignages de marins-pêcheurs (Equipe TOPASE, comm. pers.) font état de captures accessoires de tortues marines, tortues vertes (*Chelonia mydas*), tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) et tortues caouannes (*Caretta caretta*), dans certains de ces filets de fond et à certaines périodes de l'année. Pour les marins-pêcheurs, ces captures représentent notamment aussi bien un manque à gagner (diminution des captures d'espèces cibles), une perte de temps et économique (démaillage, réparation ou remplacement des engins détériorés) mais également un sentiment de gaspillage et génère une situation anxieuse. A l'échelle locale, pour répondre à une situation plus globale, la conservation des tortues marines est encadrée par un Plan National d'Actions visant à l'amélioration de leur état de conservation. Leur pêche est interdite aux Antilles françaises depuis 1991 en Guadeloupe et 1993 en Martinique. Ce faisant, une activité illégale de vente d'individus adultes persiste et il semblerait qu'elle soit davantage un braconnage dit opportuniste (Equipe TOPASE, comm. pers.). Cette situation rend d'autant plus délicate la communication sur ces interactions et implique une forte collaboration avec les marins-pêcheurs désireux de participer à la recherche de solutions.

La littérature fait état de différents dispositifs susceptibles de participer à la diminution de ces captures accessoires de tortues marines dans les filets maillants tout en maintenant un rendement de pêche acceptable (Wang et al. 2010, 2013 ; Ortiz et al., 2016 ; Lucchetti et al, 2019 ; Darquea et al., 2020 ; Bielli et al. 2020). Leur développement exploite la différence de systèmes sensoriels des tortues marines et des espèces ciblées et particulièrement, le système visuel et le système acoustique.

Pour ce qui est des dispositifs de dissuasion visuels (*Visual Deterrent Devices*, VDD), et malgré des résultats probants dans certaines pêcheries avec des LEDs vertes et UV, à l'heure actuelle, la compréhension du processus de dissuasion reste pourtant limitée. Les hypothèses actuelles suggèrent que l'illumination de l'engin primerait sur la perception de la lumière émise comme signal d'alerte pour déclencher un comportement d'évitement chez les tortues marines. En d'autres termes, une tortue marine s'éloignerait non pas à cause de la source lumineuse en elle-même (qui, si isolée, est justement susceptible de l'attirer), mais plutôt parce que le dispositif lumineux éclaire le filet et l'alerte sur la présence de l'engin de pêche. Cette compréhension est pourtant à la base de l'utilité du VDD déployé

et permettrait ainsi de développer des VDD adaptés aux conditions spécifiques de chaque pêcherie. Ainsi, il convient de mieux comprendre l'effet des VDD sur le comportement des tortues marines. Des expérimentations dédiées seront menées dans ce sens, en conditions contrôlées. En complément, des essais de différents VDD seront réalisés en partenariat avec des marins-pêcheurs, dans leurs pratiques habituelles, pour évaluer leur effet sur le rendement de pêche (capture par unité d'effort : CPUE et valeur par unité d'effort : VPUE) et sur la capturabilité en tortues marines (prises accessoires par unité d'effort : BPUE). Des travaux relatifs à la prise d'images sous-marines associée aux filets maillants de fond viendront affiner ces expérimentations pour optimiser le déploiement de caméras sous-marines et ainsi collecter des images permettant, à la fois, d'améliorer la compréhension du comportement des espèces cibles à l'approche des engins de pêche et d'améliorer la compréhension du processus d'interaction des tortues marines avec les filets maillants de fond.

Il sera également envisagé de déployer des expérimentations visant à tester l'effet de dispositifs de dissuasion acoustiques (*Acoustic Deterrent Devices*, ADD) sur le comportement des tortues marines. En 2018, Piniak et al. ont conduit des premiers travaux pour étudier l'impact d'ADDs basses fréquences sur les taux de captures des tortues vertes et des espèces cibles de filets maillants au Mexique. Les résultats ont montré une réduction de 60% des captures de tortues marines sans modifier le taux de capture des espèces cibles, suggérant que la recherche de développement d'ADD est justifiée pour les tortues marines. Ainsi, des expérimentations seront également conduites pour évaluer l'effet de plusieurs signaux acoustiques sur le comportement des tortues marines.

**L'ensemble de ces expérimentations seront menées en Guadeloupe et en Martinique dans le cadre du projet TOPASE (TORTUES et PêCHE Accidentelle : vers des Solutions de réduction Efficientes), financé via la mesure 39 du FEAMP "Innovation liée à la conservation des ressources biologiques". Ce projet de 2 ans est porté par le CNRS, en partenariat avec le Parc National de la Guadeloupe et l'IFREMER, afin de répondre au double objectif de développement d'une pêche durable : maintenir la rentabilité et l'accès aux métiers associés aux filets maillants de fond tout en améliorant la connaissance et l'état de conservation des tortues marines présentes aux Antilles françaises.**

#### Références :

- Wang, J. H., Fisler, S., & Swimmer, Y. (2010). Developing visual deterrents to reduce sea turtle bycatch in gill net fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 241-250.
- Wang, J., Barkan, J., Fisler, S., Godinez-Reyes, C., & Swimmer, Y. (2013). Developing ultraviolet illumination of gillnets as a method to reduce sea turtle bycatch. *Biology Letters*, 9(5), 20130383.
- Ortiz, N., Mangel, J. C., Wang, J., Alfaro-Shigueto, J., Pingo, S., Jimenez, A., ... & Godley, B. J. (2016). Reducing green turtle bycatch in small-scale fisheries using illuminated gillnets: the cost of saving a sea turtle. *Marine Ecology Progress Series*, 545, 251-259.
- Lucchetti, A., Bargione, G., Petetta, A., Vasapollo, C., & Virgili, M. (2019). Reducing sea turtle bycatch in the mediterranean mixed demersal fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 6, 387.
- Darquea, J. J., Ortiz-Alvarez, C., Córdova-Zavaleta, F., Medina, R., Bielli, A., Alfaro-Shigueto, J., & Mangel, J. C. (2020). Trialing net illumination as a bycatch mitigation measure for sea turtles in a small-scale gillnet fishery in Ecuador. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(3), 446-455.
- Bielli, A., Alfaro-Shigueto, J., Doherty, P. D., Godley, B. J., Ortiz, C., Pasara, A., ... & Mangel, J. C. (2020). An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery. *Biological Conservation*, 241, 108277.

## 1. Protocoles « Dispositifs de dissuasion visuels (VDD) »

### 1.1. Evaluation de l'effet de VDD sur le rendement de pêche et la capturabilité en tortues marines

Ce protocole sera appliqué lors de marées expérimentales à bord de navires de pêche, conduites sans modification (pas d'amplification ni de translocation) de l'effort de pêche habituel. Il n'y aura notamment pas d'augmentation de la longueur et de la hauteur des filets utilisés lors d'un exercice de pêche normal et la fréquence des marées des marins-pêcheurs participants n'en sera pas modifiée. Différents métiers de pêche aux filets maillants calés sur le fond sont concernés. Ils se distinguent de par leurs caractéristiques (nombre de nappes assemblées, maillage, hauteur, type de matériaux, etc) et l'espèce ciblée :

- En Guadeloupe : filet droit à poissons, trémail à langoustes et trémail à poissons.
- En Martinique : filet droit à poissons, filet droit à langoustes et folle à lambis.

Ce protocole consiste au déploiement de portions de filets contrôles (non modifiés) et de portions de filets tests (modifiés avec le VDD) appariés (posés simultanément sur des zones dites homogènes dans un but de comparaison). Les deux configurations suivantes sont prévues :

> poser simultanément un filet contrôle et un autre filet test identique mais équipé de VDD actifs.

> si le filet calé par le marin-pêcheur est suffisamment long, rajouter le VDD sur une partie de ce dernier afin de constituer une portion test qui soit suffisamment éloignée d'une portion contrôle (sachant que la captation par une tortue d'un signal visuel se fait sur champ très réduit).

#### Choix et descriptif des dispositifs de dissuasion visuels (VDD) :

Les tortues marines ont un spectre visuel différent de celui de l'Homme (Levenson et al., 2004 ; Southwood et al., 2008). Elles perçoivent très peu la lumière rouge (elle-même absorbée rapidement sous l'eau) et sont particulièrement sensibles à certaines longueurs d'onde (avec notamment deux pics de sensibilité majeurs correspondant aux UVs et au vert). Les espèces halieutiques ciblées par les pêcheries des Antilles françaises ne possèdent pas ce même spectre visuel (Horodysky et al., 2010), ou n'utilisent pas les mêmes capteurs sensoriels pour se déplacer (Cain et al., 2005), ce qui peut permettre de créer un dispositif invisible pour elles mais bien perçu par les tortues marines. Basé sur ce constat, de nombreux travaux scientifiques ont testé l'efficacité de dispositifs de dissuasion visuels (VDD) visant à (1) diminuer les captures accidentelles de tortues marines, mais (2) sans baisser l'attractivité du métier de pêche. L'utilisation de LEDs vertes et UV illuminant les filets maillants a permis d'obtenir des résultats probants dans différentes régions (Wang et al. 2010, 2013 ; Ortiz et al., 2016 ; Lucchetti et al, 2019 ; Darquea et al., 2020 ; Bielli et al. 2020). Leur développement exploite la différence de systèmes sensoriels des tortues marines, bien que de nombreuses questions perdurent: comment interpréter le comportement d'évitement/de vigilance/d'alerte autour des filets équipés de LEDs allumées ? Comment affiner ces résultats selon les espèces concernées et les zones d'étude ?

Dans le cadre du projet TOPASE et au regard des spécificités des territoires, il nous paraît pertinent de tester ces dispositifs et d'évaluer des configurations et des modes optimisant leur efficacité. Les caractéristiques recherchées de VDD sont les suivantes :

- Longueurs d'onde correspondant à l'UV : 100-400nm
- Longueurs d'onde correspondant au vert : 500-525nm
- Intensité suffisante dans les gammes testées dans la littérature (par exemple 35000 – 45000mcp pour les LEDs vertes de Centro ou Lindgren-Pitman)

- Déclenchement automatique à l'immersion (et non seulement au contact de l'eau afin que les LEDs s'éteignent une fois entreposées dans des endroits humides comme les cales de navires ou sur le quai en période de pluie)
- Durabilité : pas de VDD à usage unique (ex : piles moulées)
- Résistants à la pression et aux conditions environnementales de pêche dans les Antilles

Les choix de la zone de pêche, de la période de pêche, de la durée de calée des filets, des longueurs de filets déployés et des fréquences d'embarquement restent à la seule décision du marin-pêcheur partenaire, selon ses pratiques traditionnelles. Un observateur est présent à chaque marée pour recenser les espèces capturées (espèces cibles et espèces accessoires dont les tortues marines) par effort de pêche. Ces données permettront ainsi, pour chaque test apparié, de pouvoir comparer la capture par unité d'effort (CPUE), la valeur par unité d'effort (VPUE) et les prises accessoires par unité d'effort (BPUE), par espèce, entre l'engin contrôle et l'engin modifié. Chaque observateur est formé aussi bien à l'identification et la prise de mesures biométriques des espèces halieutiques, selon un protocole de mesures standardisé par l'Ifremer, qu'à la manipulation, la prise de mesures biométriques et la pose d'un transpondeur sur les tortues marines. Les capitaines des navires restent seuls décisionnaires à bord pour garantir la sécurité des personnes embarquées.

Nombre maximal de marées : 360 dont 180 en Martinique et 180 en Guadeloupe.

Durée : de novembre 2021 à juin 2023.

Les conditions expérimentales ne permettent pas de déterminer le nombre de tortues marines concernées.

Risques pour les tortues marines : Ce protocole ne constitue pas de risque supplémentaire pour les tortues d'un point de vue déploiement de l'engin de pêche, puisque l'effort de pêche habituel des marins-pêcheurs n'est pas modifié (en termes de caractéristiques de filets, de pratiques et de fréquence des marées).

Par ailleurs, les VDD utilisés dans les expérimentations auront une intensité lumineuse égale ou inférieure à ceux déjà conçus pour la pêche et vendus par les fournisseurs de matériel de pêche (homologués).

#### Opérations annexes visant à optimiser les captures :

Des opérations annexes viseront à optimiser les captures de tortues marines dont les données permettront de répondre à différentes problématiques de recherche visant à la conservation des tortues marines.

En cas de capture accessoire de tortues marines, l'observateur réalisera des mesures biométriques et des prélèvements. La tortue sera positionnée de manière optimale sur le navire de pêche pour limiter les blessures à bord avec les engins de pêche ou objets contondants.

- ✓ *Si la tortue est remontée vivante* : L'observateur scannerà l'individu à l'aide d'un lecteur de type GR250 ou 251 (TROVAN®), au niveau des épaules droite et gauche (luth) et des triceps droit et gauche (verte et imbriquée). En l'absence de transpondeur, l'animal sera marqué par injection d'un transpondeur PIT (Passive Integrated Transponder) de type ID-100 TROVAN, dans le triceps droit (verte et imbriquée) ou l'épaule droite (luth). La présence du transpondeur nouvellement injecté sera vérifiée à l'aide du lecteur GR250. Dans le cadre de l'application de la photo-identification comme méthode alternative de suivi des populations de tortues

marines aux Antilles, chaque individu capturé fera l'objet d'une photographie du profil gauche et droit de la tête, ainsi que du dessus de la tête (permettant la ré-identification sans dérangement depuis la surface). Une photographie de l'ensemble de l'individu complètera ces données afin d'identifier de potentiels impacts ou anomalies. Pour chaque individu, il sera noté la date, l'heure, l'espèce, le numéro du PIT, le numéro de bague (si présence), le numéro de Photo-identification, le lieu de capture, et autres observations utiles (état de santé de l'animal, numéro de balise, numéro de biopsie). Il sera réalisé sur chaque individu des prélèvements (biopsie chaire et écaille). Les marins-pêcheurs ne seront pas amenés à réaliser ces prélèvements. Les échantillons placés dans des tubes Eppendorf et stockés à -20°C au Laboratoire BOREA (Guadeloupe & Martinique) jusqu'à l'analyse en laboratoire (Guadeloupe, Martinique et Hexagone). Ces actions seront réalisées dans le cadre du suivi Capture-Marquage-Recapture (CMR) destiné à consolider le suivi démographique des tortues marines des Antilles réalisé par le CNRS. Les prélèvements de tissus contribueront aux études menées par le CNRS sur le suivi des populations (structure génétique), ainsi que celles menées sur la Fibropapillomatose et l'exposition aux polluants des tortues marines et leurs réponses comportementales au stress environnemental (thèses de Pierre LELONG et Léo MAUCOURT, Programme BEPHYTES).

Afin d'assurer le suivi de la croissance des individus des mesures seront réalisées sur les immatures et adultes, telles que la longueur curviligne centrale de la carapace (CCL), la largeur curviligne centrale de la carapace (CCCW) et la longueur de la queue. Les mesures de la longueur centrale seront réalisées à l'aide d'un mètre ruban souple, à partir du point-médian de l'écaille nucale jusqu'à l'écaille supracaudale centrale, gauche ou droite.

- ✓ **Si la tortue est remontée dans le coma** : Selon l'accord du capitaine du navire, il sera procédé à sa réanimation (cf. procédure standardisée). Une fois réanimée, l'observateur appliquera l'ensemble des procédures (marquage et mesures biométriques) indiquées dans le paragraphe concernant les « tortues remontées vivantes ». Les tortues seront remises à l'eau le plus rapidement possible, sous réserve que leur condition physique le permette. Afin de limiter le dérangement pendant la phase de manipulation de la tortue, le personnel à bord limitera la communication. Il sera proposé la formation des marins-pêcheurs intéressés par la procédure de réanimation des tortues marines.
- ✓ **Si la tortue est remontée morte** : Selon l'accord du capitaine du navire, elle pourra être ramenée à terre, stockée, en attente de prélèvements supplémentaires (organes, etc.) et éventuellement, si son état le permet, d'une nécropsie. Lors des marées embarquées TOPASE les tortues mortes ramenées à terre seront prises en charge par les Réseaux échouages Guadeloupe et Martinique.

## 1.2. Evaluation de l'effet des dispositifs visuels sur le comportement des tortues marines (Tortues vertes et tortues imbriquées)

Ce protocole consiste à analyser l'effet des dispositifs visuels sur le comportement des tortues marines. Le développement de dispositif de réduction des captures accessoires (BRT) peut être guidé par la compréhension de la façon dont les animaux perçoivent et répondent aux signaux sensoriels (Piniak et al. 2018). Ce protocole sera réalisé hors secteur de pêche habituel, dans une zone où la géomorphologie du milieu favorise le contrôle de l'expérimentation. Les Anses d'Arlet, notamment Grande Anse d'Arlet, sont un hotspot des tortues vertes, tout comme le sont Le pêcheur et le Diamant pour les tortues imbriquées. Le nombre important de tortues garantira le succès sur ce type d'expérience, car il permettra d'observer la réaction de plusieurs individus simultanément, et évitera

ainsi de devoir renouveler les expériences, faute d'un nombre insuffisant de tortues observées. Enfin, Grande Anse d'Arlet et Anse noire/Dufour sont situées à proximité l'une de l'autre, ce qui permet d'assurer les manips sans avoir à parcourir de grandes distances en mer. Dans ce contexte, les Anse noire et Anse Dufour (commune des Anses d'Arlet, Martinique) semblent les plus appropriées pour ces tests pour les tortues vertes. Les Anses du Prêcheur et du Diamant semblent les plus appropriées pour les tortues imbriquées. Néanmoins, un troisième site (non identifié pour le moment) pourra être sélectionné dans le cas où nous serions dans l'impossibilité de réaliser les tests sur le Prêcheur ou le Diamant. Dans ce cas précis, le CNRS avertira la DEAL une semaine à l'avance. Les tests seront réalisés dans la mesure du possible durant la période du Carême, durant laquelle la turbidité est faible. Ces tests se dérouleront en quatre phases (Missions 1 & 2 pour les vertes et Missions 3 & 4 pour les imbriquées).

### **Mission 1 (Tortues vertes) : Filet contrôle (5 jours)**

**Jour 1 (Anse noire):** Equipement de 6 tortues vertes avec des caméras embarquées et bio-loggers afin d'étudier leur comportement en réaction à la présence du filet.

**Capture des individus :** Les captures seront effectuées à une profondeur comprise entre 2 et 10 mètres. La capture de chaque tortue sera réalisée par un binôme ou trinôme d'apnéistes, préférentiellement lorsque la tortue est en phase de repos ou d'alimentation. Cette méthode de capture nécessite de faire appel à des apnéistes très expérimentés, appuyés eux-mêmes par d'autres apnéistes assurant leur sécurité et les aidant à maintenir la tortue en surface. Un marquage visuel temporaire sera réalisé sur les tortues capturées afin d'éviter de les recapter une nouvelle fois lors de la prochaine mission.

**Transport des tortues :** Une fois capturées, les tortues seront récupérées par une autre équipe située dans un zodiac (4 pers. max. à bord). La tortue sera alors placée sur une frite en mousse, pour limiter ses mouvements afin qu'elle ne se blesse pas. Compte tenu de la présence de fibropapillomatose chez les tortues vertes sur certains sites d'alimentation en Martinique, les individus seront manipulés avec des gants en latex jetables. Les outils de mesure utilisés pour ces individus seront systématiquement nettoyés à l'alcool après utilisation.

**Pose de Caméra-Loggers :** Le suivi par caméra embarqué permettra d'identifier avec précision tous les comportements de la tortue face aux filets et aux BRT. Nous pourrions ainsi déterminer leurs réactions face à ces dispositifs en fonction des variables environnementales (température, luminosité, profondeur, salinité, type d'habitat, etc..) et des paramètres intrinsèques des individus (sexe, taille, masse, présence de pathogènes, etc.). Une caméra (CATS Diary Cam WIFI basic, 1920 x 1080 px FullHD jusqu'à 60 fps (ou 4K) 115 mm x 40 mm de diamètre, CATS Allemagne) sera couplée à un enregistreur de plongée (GPS, accéléromètre, gyromètre, magnétomètre, pression, hydrophone, température, luminosité, CATS Allemagne), permettant de caractériser les profils de plongée, l'activité de l'animal et les caractéristiques de son environnement in situ. Le départ de l'enregistrement des caméras sera programmé pour être différé à 72 heures (J3) afin de limiter les comportements liés au stress de la capture et de la manipulation. Les caméras seront programmées de telle façon à ce qu'elles obtiennent une durée d'enregistrement allant de 7 à 20 heures non-stop selon la résolution (HD ou 4K). Tous les instruments sont rassemblés et synchronisés pour constituer une seule unité au sein de la caméra, et des antennes VHF et Argos permettent de localiser le système embarqué dès sa remontée à la surface de la mer. Le dispositif est fixé sur l'écaille centrale la plus proche de la tête, via des ventouses reliées à des drop-off en magnésium programmés pour se briser 12 heures après la fin de l'enregistrement prévu. Il est donc possible de programmer le temps de relargage du système à 3 heures près. Le

déploiement est donc prévu pour une durée de 96 heures avant que les caméras ne se libèrent automatiquement de l'animal.

**Jour 2 :** Journée sans aucune activité sur la zone d'étude

**Jour 3 (Anse noire):** Déploiement du *filet contrôle* non emmaillant et aux caractéristiques cassantes (donc non mortel). La nappe de ce filet est composée de nylon monofilament, côté de maille 40 mm. La hauteur de nappe du filet est de 4 m sur 8 m de fond, pour une longueur linéaire de 100 m, ce qui permet de couvrir une bonne partie de la largeur d'Anse noire, permettant une zone d'évitement du filet. La pose du filet ne devra pas avoir lieu au-delà de 5h, c'est à dire 1 heure avant que les tortues soient actives (vers 6 heures du matin). Le filet sera relevé vers 11h, pour un temps total de calé de 5 heures. 10 caméras de type Go-Pro seront positionnées, à intervalle régulier, autour du filet pour permettre la collecte d'images supplémentaires à la compréhension du comportement des tortues marines à l'approche du filet.

Durant le déploiement du filet, une surveillance active sera réalisée en subsurface toutes les 30 minutes (max.) à partir d'un ROV ou depuis un bateau stationnaire, afin de vérifier si une tortue est emmêlée dans le filet. Un contrôle pourra également être réalisé, à partir de la surface, avec une lunette de Calfat sur un kayak ou directement sur un kayak transparent. Un contrôle en surface sera également réalisé simultanément, avec deux drones (autonomie de 45 min) qui se relaieront pour couvrir toute la durée de calée (5h). L'ensemble de ces moyens de contrôle permettent de limiter la perturbation autour du filet calé tout en assurant, en cas d'emmêlement, de libérer la tortue rapidement par des plongeurs.

**Jour 4 (Anse Dufour):** une fois retiré d'Anse noire, déploiement du même *filet contrôle* non emmaillant et aux caractéristiques cassantes (donc non mortel). La nappe de ce filet est composée de nylon monofilament, côté de maille 40 mm. La hauteur de nappe du filet est de 4 m sur 8 m de fond, pour une longueur linéaire de 200 m, ce qui couvre une bonne partie de la largeur d'Anse Dufour tout en permettant une zone d'évitement du filet.

La pose du filet ne devra pas avoir lieu au-delà de 5h, c'est à dire 1 heure avant que les tortues soient actives (vers 6 heures du matin). Le filet sera relevé vers 11h pour un temps total de calé de 5 heures. 10 caméras de type Go-Pro seront positionnées, à intervalle régulier, autour du filet pour permettre la collecte d'images supplémentaires à la compréhension du comportement des tortues marines à l'approche du filet.

Il n'y a pas de pose de caméras embarquées ou bio-loggers sur de nouvelles tortues : en effet, des individus équipés à Anse noire sont susceptibles de venir à Anse Dufour.

Durant le déploiement du filet, une surveillance active sera réalisée en subsurface toutes les 30 minutes (max.) à partir d'un ROV ou depuis un bateau stationnaire, afin de vérifier si une tortue est emmêlée dans le filet. Un contrôle pourra également être réalisé, à partir de la surface, avec une lunette de Calfat sur un kayak ou directement, sur un kayak transparent. Un contrôle en surface sera également réalisé simultanément, avec deux drones (autonomie de 45 min) qui se relaieront pour couvrir toute la durée de calée (5h). L'ensemble de ces moyens de contrôle permettent de limiter la perturbation autour du filet tout en assurant, en cas d'emmêlement, de libérer la tortue rapidement par des plongeurs.

**Jour 5 :** Les caméras-loggers seront localisées à l'aide des coordonnées GPS transmises via IRIDIUM par le dispositif puis dans un deuxième temps à l'aide d'un récepteur VHF.

Nous laisserons un intervalle minimum de 2 semaines entre les missions 1 & 2, afin de limiter le dérangement sur la zone expérimentale et ainsi éviter que le comportement des tortues ne soit biaisé.

### **Mission 2 (Tortues vertes): Filet test avec des Dispositifs de dissuasion visuels (VDD) (5 jours)**

**Jour 1 :** Equipement de 6 tortues vertes avec des caméras embarquées et bio-loggers embarquées afin d'étudier leur comportement en réaction à la présence du filet.

**Capture des individus :** Les captures seront effectuées selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Transport des tortues :** Le transport et la manipulation des tortues seront effectués selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Pose de Caméra-Loggers :** La pose des caméras sera réalisée selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Jour 2 :** Journée sans aucune activité sur la zone d'étude

**Jour 3 :** Déploiement du *filet test* (équipé d'un VDD) selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Jour 4 :** Déploiement du *filet test* (équipé d'un VDD) selon le protocole indiqué dans la mission 1.

Durant le déploiement du *filet test*, nous appliquerons une surveillance similaire à celle du Jour 3.

**Jour 5 :** Les caméras-loggers seront localisées à l'aide des coordonnées GPS transmises via IRIDIUM par le dispositif puis dans un deuxième temps à l'aide d'un récepteur VHF.

12 tortues vertes au total seront équipées pour ce protocole. Les missions 1 et 2 ne seront réalisées qu'une seule fois.

### **Mission 3 (Tortues imbriquées) : Filet contrôle (5 jours)**

**Jour 1 (Prêcheur):** Équipement de 6 tortues imbriquées avec des caméras embarquées et bio-loggers afin d'étudier leur comportement en réaction à la présence du filet.

**Capture des individus :** Les captures seront effectuées à une profondeur comprise entre 2 et 10 mètres. La capture de chaque tortue sera réalisée par un binôme ou trinôme d'apnéistes, préférentiellement lorsque la tortue est en phase de repos ou d'alimentation. Cette méthode de capture nécessite de faire appel à des apnéistes de très haut niveau, appuyés eux-mêmes par d'autres apnéistes assurant leur sécurité et les aidant à maintenir la tortue en surface.

**Transport des tortues :** Une fois capturées, les tortues seront récupérées par une autre équipe située dans un zodiac (4 pers. max. à bord). La tortue sera alors placée sur une frite en mousse, pour limiter ses mouvements afin qu'elle ne se blesse pas. Compte tenu de la présence de fibropapillomatose chez les tortues vertes et imbriquées sur certains sites d'alimentation en Martinique, les individus seront manipulés avec des gants en latex jetables. Les outils de mesure utilisés pour ces individus seront systématiquement nettoyés à l'alcool après utilisation.

**Pose de Caméra-Loggers :** Le suivi par caméra embarqué permettra d'identifier avec précision tous les comportements de la tortue face aux filets et aux BRT. Nous pourrons ainsi déterminer leurs réactions face à ces dispositifs en fonction des variables environnementales (température, luminosité,

profondeur, salinité, type d'habitat, etc..) et des paramètres intrinsèques des individus (sexe, taille, masse, présence de pathogènes, etc.). Une caméra (CATS Diary Cam WIFI basic, 1920 x 1080 px FullHD jusqu'à 60 fps (ou 4K) 115 mm x 40 mm de diamètre, CATS Allemagne) sera couplée à un enregistreur de plongée (GPS, accéléromètre, gyromètre, magnétomètre, pression, hydrophone, température, luminosité, salinité, CATS Allemagne), permettant de caractériser les profils de plongée, l'activité de l'animal et les caractéristiques de son environnement in situ. Le départ de l'enregistrement des caméras sera programmé pour être différé à 72 heures (J3) afin de limiter les comportements liés au stress de la capture et de la manipulation. Les caméras sont programmées de telle façon à ce qu'elles obtiennent une durée d'enregistrement allant de 7 à 20 heures non-stop selon la résolution (HD ou 4K). Tous les instruments sont rassemblés et synchronisés pour constituer une seule unité, et des antennes VHF et Iridium permettent de localiser le système embarqué dès sa remontée à la surface de la mer. Le dispositif est fixé sur l'écaille centrale la plus proche de la tête, via des ventouses reliées à des drop-off en magnésium programmés pour se briser 12 heures après la fin de l'enregistrement prévu. Il est donc possible de programmer le temps de relargage du système à 3 heures près. Le déploiement est donc prévu pour une durée de 96 heures avant que les caméras ne se libèrent automatiquement de l'animal.

**Jour 2 :** Journée sans aucune activité sur la zone d'étude

**Jour 3 (Prêcheur):** Déploiement du *filet contrôle* non emmaillant et aux caractéristiques cassantes (donc non mortel). La nappe de ce filet est composée de nylon monofilament, côté de maille 40 mm. La hauteur de nappe du filet est de 4 m sur 8 m de fond, pour une longueur linéaire de 100 m, ce qui permet de couvrir une bonne partie de la largeur d'Anse noire, permettant une zone d'évitement du filet. La pose du filet ne devra pas avoir lieu au-delà de 5h, c'est à dire 1 heure avant que les tortues soient actives (vers 6 heures du matin). Le filet sera relevé vers 11h, pour un temps total de calé de 5 heures. 10 caméras de type Go-Pro seront positionnées, à intervalle régulier, autour du filet pour permettre la collecte d'images supplémentaires à la compréhension du comportement des tortues marines à l'approche du filet.

Durant le déploiement du filet, une surveillance active sera réalisée en subsurface toutes les 30 minutes (max.) à partir d'un ROV ou depuis un bateau stationnaire, afin de vérifier si une tortue est emmêlée dans le filet. Un contrôle pourra également être réalisé, à partir de la surface, avec une lunette de Calfat sur un kayak ou directement, sur un kayak transparent. Un contrôle en surface sera également réalisé simultanément, avec deux drones (autonomie de 45 min) qui se relaieront pour couvrir toute la durée de calée (5h). L'ensemble de ces moyens de contrôle permettent de limiter la perturbation autour du filet calé tout en assurant, en cas d'emmêlement, de libérer la tortue rapidement par des plongeurs.

**Jour 4 (Anse du Diamant):** une fois retiré du Prêcheur, déploiement du même *filet contrôle* non emmaillant et aux caractéristiques cassantes (donc non mortel). La nappe de ce filet est composée de nylon monofilament, côté de maille 40 mm. La hauteur de nappe du filet est de 4 m sur 8 m de fond, pour une longueur linéaire de 200 m, ce qui couvre une bonne partie de la largeur d'Anse Dufour tout en permettant une zone d'évitement du filet.

La pose du filet ne devra pas avoir lieu au-delà de 5h, c'est à dire 1 heure avant que les tortues soient actives (vers 6 heures du matin). Le filet sera relevé vers 11h pour un temps total de calé de 5 heures. 10 caméras de type Go-Pro seront positionnées, à intervalle régulier, autour du filet pour permettre la collecte d'images supplémentaires à la compréhension du comportement des tortues marines à l'approche du filet.

Il n'y a pas de pose de caméras embarquées ou bio-loggers sur de nouvelles tortues : en effet, des individus équipés à Anse noire sont susceptibles de venir à Anse Dufour.

Durant le déploiement du filet, une surveillance active sera réalisée en subsurface toutes les 30 minutes (max.) à partir d'un ROV ou depuis un bateau stationnaire, afin de vérifier si une tortue est emmêlée dans le filet. Un contrôle pourra également être réalisé, à partir de la surface, avec une lunette de Calfat sur un kayak ou directement, sur un kayak transparent. Un contrôle en surface sera également réalisé simultanément, avec deux drones (autonomie de 45 min) qui se relaieront pour couvrir toute la durée de calée (5h). L'ensemble de ces moyens de contrôle permettent de limiter la perturbation autour du filet tout en assurant, en cas d'emmêlement, de libérer la tortue rapidement par des plongeurs.

**Jour 5 :** Les caméras-loggers seront localisées à l'aide des coordonnées GPS transmises via IRIDIUM par le dispositif puis dans un deuxième temps à l'aide d'un récepteur VHF.

Nous laisserons un intervalle minimum de 2 semaines entre les missions 3 & 4, afin de limiter le dérangement sur la zone expérimentale et ainsi éviter que le comportement des tortues ne soit biaisé.

#### **Mission 4 (Tortues imbriquées) : Filet test avec des Dispositifs de dissuasion visuels (VDD) (5 jours)**

**Jour 1 :** Equipement de 6 tortues imbriquées avec des caméras embarquées et bio-loggers embarquées afin d'étudier leur comportement en réaction à la présence du filet.

**Capture des individus :** Les captures seront effectuées selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Transport des tortues :** Le transport et la manipulation des tortues seront effectués selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Pose de Caméra-Loggers :** La pose des caméras sera réalisée selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Jour 2 :** Journée sans aucune activité sur la zone d'étude.

**Jour 3 :** Déploiement du *filet test* (équipé d'un VDD) selon le protocole indiqué dans la mission 1.

**Jour 4 :** Déploiement du *filet test* (équipé d'un VDD) selon le protocole indiqué dans la mission 1.

Durant le déploiement du *filet test*, nous appliquerons une surveillance similaire à celle du Jour 3.

**Jour 5 :** Les caméras-loggers seront localisées à l'aide des coordonnées GPS transmises via IRIDIUM par le dispositif puis dans un deuxième temps à l'aide d'un récepteur VHF.

12 tortues imbriquées au total seront équipées pour ce protocole. Les missions 3 et 4 ne seront réalisées qu'une seule fois.

## 2. Protocoles Dispositifs de dissuasion acoustique (ADD)

### 2.1 Contexte

Un des objectifs du projet TOPASE est de quantifier expérimentalement l'efficacité d'un répulsif acoustique adapté à la sensibilité auditive des tortues marines. Ce projet va permettre d'étudier le comportement des tortues marines face à certaines séquences sonores ayant déjà montré une efficacité répulsive chez d'autres espèces. Les tortues marines seraient capables de percevoir des signaux sonores dans une gamme allant de 50 à 1000 Hz, avec une sensibilité maximale entre 200 et 600 Hz. Cette gamme de fréquence est comparable à celle des poissons. Quant aux seuils maximum d'audition, ils se situeraient à des valeurs comprises entre 85 et 95 dB  $\mu$ Pa, en fonction des espèces et de leur âge.

### 2.2 Équipements mis en œuvre

#### 2.2.1 Identification des vocalises de détresse et/ou d'alerte chez les tortues marines

Dans le cadre des travaux que nous menons sur les tortues marines en Martinique, nous avons pu mettre en évidence qu'elles émettent des vocalises (*First evidence of underwater vocalisations in green turtles, Chelonia mydas*, Charrier I., Jeantet L., Maucourt L., Régis S., Lecerf N., Benhalilou A., Chevallier D., Accepté dans le Journal *Endangered species*). Les individus équipés de caméras embarquées (munies d'hydrophone) durant les missions (partie 2.3 Evaluation de l'effet des dispositifs visuels sur le comportement des tortues marines) nous permettront d'enregistrer les vocalises associées à chaque comportement, dont ceux liés aux comportements de détresse, d'alerte ou de fuite. Une fois les enregistrements réalisés, les fichiers audio seront analysés par le Laboratoire de Neurosciences de Paris Saclay (Dr. Isabelle Charrier, spécialiste en bioacoustique) avec qui nous collaborons depuis de nombreuses années pour l'analyse des vocalises. Les différents sons enregistrés seront labellisés selon leurs caractéristiques. Une fois ces sons labellisés, les meilleurs réplicas seront sélectionnés et les paramètres acoustiques les plus pertinents seront mesurés. Les sons détectés dans les différents déploiements seront répartis dans différentes catégories telles que les Pulse, Low Amplitude Call (LAC), Frequency Modulation Sound (FMS) et les Squeaks.

Lorsque les vocalises de détresse, d'alerte ou de fuite seront identifiées, nous pourrons les utiliser afin de tester les dispositifs de dissuasion acoustique (ADD).

## 2.2.2 Caractéristiques des deux chaînes d'émission

Deux chaînes d'émission très basse fréquence autonomes (batterie interne) ont été développées par l'IFREMER dans le cadre du projet TOPASE :

1. Une chaîne dite **électrodynamique** constituée d'un Haut-Parleur (HP) électrodynamique résonnant à 70 Hz et d'une électronique de puissance dédiée. Cette chaîne permet de balayer la bande fréquentielle [20-500 Hz], avec un niveau pic maximal de 173 dB (réf. 1  $\mu$ Pa @ 1 m). Un HP large-bande [20-3000 Hz] peut également être utilisé. Dans ce cas, l'énergie très basse fréquence ([20-500 Hz]) est atténuée par rapport à celle obtenue avec le HP nominal (niveau d'émission réduit de 5 dB environ dans la bande TBF).
2. Une chaîne dite **piézoélectrique** constituée d'un transducteur piézoélectrique résonnant à 180 Hz et d'une électronique de puissance spécifique. Cette chaîne permet de balayer la bande fréquentielle [100-1000 Hz], avec un niveau pic maximal de 173 dB (réf. 1  $\mu$ Pa @ 1 m). Cette source piézoélectrique est moins énergétique dans la bande [20-150 Hz] que la source électrodynamique, mais permet de travailler jusqu'à 1 kHz, pour un niveau d'émission moyen identique.



## 2.2.3 Captures des individus

Capture des individus : Les captures seront effectuées selon le protocole indiqué dans la mission 1 des tests VDD.

Transport des tortues : Le transport et la manipulation des tortues seront effectués selon le protocole indiqué dans la mission 1 des tests VDD.

Pose de Caméra-Loggers : La pose des caméras sera réalisée selon le protocole indiqué dans la mission 1 des tests VDD.

Nous laisserons un intervalle minimum de 2 semaines entre les missions 1 à 6 (Mission 1 à 3 pour les tortues vertes, Missions 4 à 6 pour les tortues imbriquées), afin de limiter le dérangement sur la zone expérimentale et ainsi éviter que le comportement des tortues ne soit biaisé.

## 2.2.4 Signaux testés

Les tableaux 1 & 2 synthétisent les différents signaux prévus pour les premiers essais. Ce tableau donne les deux métriques acoustiques couramment utilisées pour estimer l'impact des sons sur la faune marine [1] :

- $SL_{PK}$  : niveau d'émission crête, donné à la distance de référence de 1 m.
- $SEL_{1\text{ tir}}$  : niveau d'exposition sonore pour une émission, donné à la distance de référence de 1 m. Ce niveau intègre la durée de l'émission.

Différentes modulations de fréquences (FM) seront testées sur les tortues marines : FM linéaires (FML), FM aléatoires (FMA) et sommation de FM linéaires (NFML). Différentes bandes fréquentielles seront balayées en fonction de la chaîne d'émission : [20-500 Hz], [20-3000 Hz] et [100, 1000 Hz], avec des énergies acoustiques différemment réparties dans la bande selon l'émetteur utilisé.

Pour ces FM, le niveau d'émission crête maximal est de l'ordre de 173-174 dB (réf. 1  $\mu$ Pa à 1 m), pour les deux chaînes d'émission mises au point. C'est un niveau d'émission très modéré.

En complément à ces modulations de fréquences, seront testés :

- Un signal d'origine naturelle, un tremblement de terre (TT), couvrant la gamme 15-150 Hz, avec un pic énergétique à 50 Hz. Le niveau d'émission de cette séquence sonore sera inférieur à celui du mode FM.
- Des signaux émotionnels émis par les tortues marines (cf. 2.2.1 Identification des vocalises de détresse et/ou d'alerte chez les tortues marines) et rejoués sur une des chaînes d'émission (le choix de la chaîne et du HP dépendra du contenu fréquentiel de ces signaux, pas encore disponibles).

D'autres signaux pourront éventuellement être ajoutés à cette liste mais en aucun cas, le niveau d'émission crête et le niveau d'exposition sonore ne dépasseront les valeurs les plus élevées données dans les Tableaux 1 & 2.

| Matériel utilisé    | Signal                | Mission ADD | Sites Anse noire 1 / Grande Anse 2 | Nb ind. équipés | N° Cam. | Diff. Start Caméra/ Hydrophone | Relarg. caméra |
|---------------------|-----------------------|-------------|------------------------------------|-----------------|---------|--------------------------------|----------------|
| ELECTRO             | Equipement tortues J1 |             |                                    |                 |         |                                |                |
|                     | TOP1                  | 1           | 1                                  | 3               | 1 2 3   | J3                             | J4             |
|                     | TOP2                  | 1           | 1                                  | 3               | 1 2 3   | J7                             | J8             |
|                     | TOP3                  | 1           | 2                                  | 3               | 1 2 3   | J11                            | J12            |
| PIEZO               | Equipement J1         |             |                                    |                 |         |                                |                |
|                     | TOP4                  | 2           | 1                                  | 3               | 1 2 3   | J3                             | J4             |
|                     | TOP5                  | 2           | 2                                  | 3               | 1 2 3   | J7                             | J8             |
| Equipement J1       |                       |             |                                    |                 |         |                                |                |
| PIEZO ou ELECTRO LB | TOP6                  | 3           | 1                                  | 3               | 1 2 3   | J3                             | J4             |
|                     | TOP7                  | 3           | 2                                  | 3               | 1 2 3   | J7                             | J8             |
| ELECTRO LB          | TOP8                  | 3           | 2                                  | 3               | 1 2 3   | J11                            | J12            |

Tableau 1 : caractéristiques acoustiques des signaux prévus pour les premiers essais TOPASE (Tortues vertes)

| Matériel utilisé    | Signal                | Mission ADD | Sites Prêcheur 3 / Diamant 4 | Nb ind. équipés | N° Cam.  | Diff. Start Caméra/ Hydrophone | Relarg. caméra |
|---------------------|-----------------------|-------------|------------------------------|-----------------|----------|--------------------------------|----------------|
| ELECTRO             | Equipement tortues J1 |             |                              |                 |          |                                |                |
|                     | TOP1                  | 4           | 3                            | 3               | 1 2 3    | J3                             | J4             |
|                     | TOP2                  | 4           | 3                            | 3               | 1 2 3    | J7                             | J8             |
|                     | TOP3                  | 4           | 4                            | 3               | 1 2<br>3 | J11                            | J12            |
| PIEZO               | Equipement J1         |             |                              |                 |          |                                |                |
|                     | TOP4                  | 5           | 3                            | 3               | 1 2 3    | J3                             | J4             |
|                     | TOP5                  | 5           | 4                            | 3               | 1 2 3    | J7                             | J8             |
| Equipement J1       |                       |             |                              |                 |          |                                |                |
| PIEZO ou ELECTRO LB | TOP6                  | 6           | 3                            | 3               | 1 2 3    | J3                             | J4             |
|                     | TOP7                  | 6           | 4                            | 3               | 1 2 3    | J7                             | J8             |
| ELECTRO LB          | TOP8                  | 6           | 4                            | 3               | 1 2 3    | J11                            | J12            |

Tableau 2 : caractéristiques acoustiques des signaux prévus pour les premiers essais TOPASE (Tortues imbriquées)

## 2.2.4 Dangerosité/Impact des signaux retenus

Il n'existe que très peu de bibliographie sur les seuils d'impact physiologique des tortues marines. L'US Navy a cependant proposé des valeurs de seuils PTS (Permanent Threshold Shift) et TTS (Temporary Threshold Shift) pour les tortues marines (Tableau 3) [2].

Une exposition sonore suffisamment intense peut entraîner, chez un animal, une augmentation du seuil d'audition, dont la durée de persistance dépend essentiellement du temps d'exposition, de l'amplitude et de la fréquence du signal. Cette modification du seuil d'audition peut être temporaire (TTS) ou permanente (PTS).

Le rayon d'impact d'une source acoustique s'estime à partir de ces seuils et des niveaux à la source (à la distance de référence de 1 m). Les deux métriques « niveau crête » et « niveau d'exposition sonore cumulé » sont utilisées.

Le niveau d'exposition sonore cumulé (SEL<sub>CUM</sub>) intègre toutes les séquences sonores reçues par l'animal en tenant compte des pertes en transmission fonctions de la distance entre la source sonore et la tortue exposée.

| Group | Hearing<br>threshold at $f_0$ | TTS<br>threshold           |                      | PTS<br>threshold           |                      |
|-------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
|       | SPL<br>(dB SPL)               | SEL (weighted)<br>(dB SEL) | peak SPL<br>(dB SPL) | SEL (weighted)<br>(dB SEL) | peak SPL<br>(dB SPL) |
| LF    | 54                            | 168                        | 213                  | 183                        | 219                  |
| MF    | 54                            | 170                        | 224                  | 185                        | 230                  |
| HF    | 48                            | 140                        | 196                  | 155                        | 202                  |
| SI    | 61                            | 175                        | 220                  | 190                        | 226                  |
| OW    | 67                            | 188                        | 226                  | 203                        | 232                  |
| PW    | 53                            | 170                        | 212                  | 185                        | 218                  |
| TU    | 95                            | 189                        | 226                  | 204                        | 232                  |
| OA    | 11                            | 146                        | 170                  | 161                        | 176                  |
| PA    | -4                            | 123                        | 155                  | 138                        | 161                  |

Tableau 3 : Seuils PTS et TTS des tortues marines (encadré rouge) [2]

Pour nos expérimentations, nous retenons les seuils les plus défavorables au niveau impact, c'est-à-dire ceux entraînant un décalage temporaire du seuil d'audition. Et comme les signaux retenus se trouvent logiquement dans la zone fréquentielle de maximum d'audition des tortues, aucune fonction de pondération n'est appliquée.

### Impact en niveau crête reçu par l'animal

Le seuil TTS en niveau crête reçu est donc de : 226 dB réf. 1  $\mu$ Pa.

Les niveaux d'émission étant très modérés (maximum 175 dB réf. 1  $\mu$ Pa @ 1 m ; tableau 1), le seuil n'est jamais atteint.

Il n'y a donc aucun impact possible sur les tortues marines, même temporaire, quelle que soit la distance.

### Impact en niveau d'exposition sonore cumulé reçu par l'animal

Le seuil TTS en niveau d'exposition sonore cumulé est donc de 189 dB réf. 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>.s.

Pour une émission acoustique, le niveau d'exposition sonore maximal est de 178 dB réf. 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>.s à 1 m.

1. Si la tortue est à 1 m de la source acoustique, le seuil en niveau d'exposition sonore cumulé est atteint au bout de 13 émissions.
2. Si la tortue est à 5 m de la source acoustique, le seuil en niveau d'exposition sonore cumulé est atteint au bout de 300 émissions environ.
3. Si la tortue est à 10 m de la source acoustique, le seuil en niveau d'exposition sonore cumulé est atteint au bout de 1300 émissions environ.

**Au regard de ces résultats, nous décidons de façon très précautionneuse de ne pas utiliser les sources acoustiques à moins de 5 mètres des tortues marines. Les niveaux (crête et d'exposition sonore) mis en œuvre lors de ces essais sont suffisamment faibles pour garantir qu'aucun impact physiologique, même temporaire, ne pourra être occasionné sur les espèces ciblées. Ce qui est espéré dans ces essais est un dérangement lié à la nature du signal et non à son intensité.**

## 2.3 Méthode de suivi comportemental et de test du dispositif de dissuasion acoustique

Les essais d'efficacité des signaux retenus sur les tortues marines seront réalisés idéalement à partir de deux embarcations légères :

- Une embarcation dite « **plateforme observation** » (**POBS**) qui tractera un observateur sous l'eau qui sera chargé de repérer les tortues sous l'eau. Une fois les tortues repérées, la POBS en informera la plateforme acoustique (PACO). L'observateur sous-marin de la POBS observe et filme (caméra Go pro) les changements de comportement immédiats (paramètres comportementaux à définir).
- Une embarcation dite « **plateforme acoustique** » (**PACO**) à partir de laquelle les sources sonores seront mises en œuvre. Le haut-parleur sera déployé en pendulaire à une profondeur de 1.5 (électrodynamique) à 5 mètres (piézoélectrique), si la hauteur d'eau est suffisante. Le coffret d'électronique autonome sera à bord de cette plateforme. Le choix du signal et de son amplitude seront faits à partir d'un PC embarqué et d'une connexion Bluetooth avec le coffret.

L'analyse de l'effet par observation visuelle se réalise à 2 niveaux :

- Mesure de l'effet immédiat sur le comportement au moment du « tir », avec intensité estimée (0 = nul ; 1 = modéré ; 2 = significatif) (Fig. 1)
- Analyse du changement de rythme d'activité par comparaison des séquences d'observation comportementale pré et post « tir ».

Afin d'observer les réponses comportementales des tortues marines aux tests du dispositif de dissuasion acoustique, nous équiperons des tortues vertes et imbriquées de caméras embarquées multi-capteurs haute résolution à l'aide d'apnéistes (apnéistes captureurs qui ont une grande expertise de plus de 10 ans dans le domaine, dans le cadre du suivi CMR du CNRS en Martinique). Nous déterminerons également les réactions des individus en fonction des variables environnementales (température, luminosité, turbidité, profondeur, etc.) et des paramètres intrinsèques des individus (sexe, taille, masse, présence de pathogènes, etc.).

Les caméras utilisées dans ce protocole seront les mêmes que celles utilisées dans le protocole 1.2. (Evaluation de l'effet des dispositifs visuels sur le comportement des tortues marines).

Ces caméras étant munies d'un hydrophone, ce dispositif permettra ainsi d'analyser en temps-différé leurs réactions face aux sons émis. Il sera notamment instructif de voir l'évolution éventuelle de leur production sonore avant, pendant et après les émissions acoustiques.

Dans le cadre de ce protocole (qui ne sera pas répété et tiendra donc en une seule manipulation), 24 tortues vertes seront équipées de caméras embarquées dont 12 Anse noire-Anse Dufour et 12 à Grande Anse d'Arlet, afin de tester les différents dispositifs « témoins » et « expérimentaux ».

Dans le cadre de ce protocole (qui ne sera pas répété et tiendra donc en une seule manipulation), 24 tortues imbriquées seront équipées de caméras embarquées dont 12 au Prêcheur et 12 au Diamant, afin de tester les différents dispositifs « témoins » et « expérimentaux ».

Pour chaque nature de signal, la distance source-animal initiale sera de 100 mètres environ et il n'y aura qu'une émission dans un premier temps. En fonction du comportement de l'animal, plusieurs salves identiques à la même distance pourront être émises. Un rapprochement de l'animal sera ensuite entrepris, en restant à une distance supérieure à 5 m. Des paliers à 50m, 20 m, 10m et éventuellement 5m pourraient être effectués.

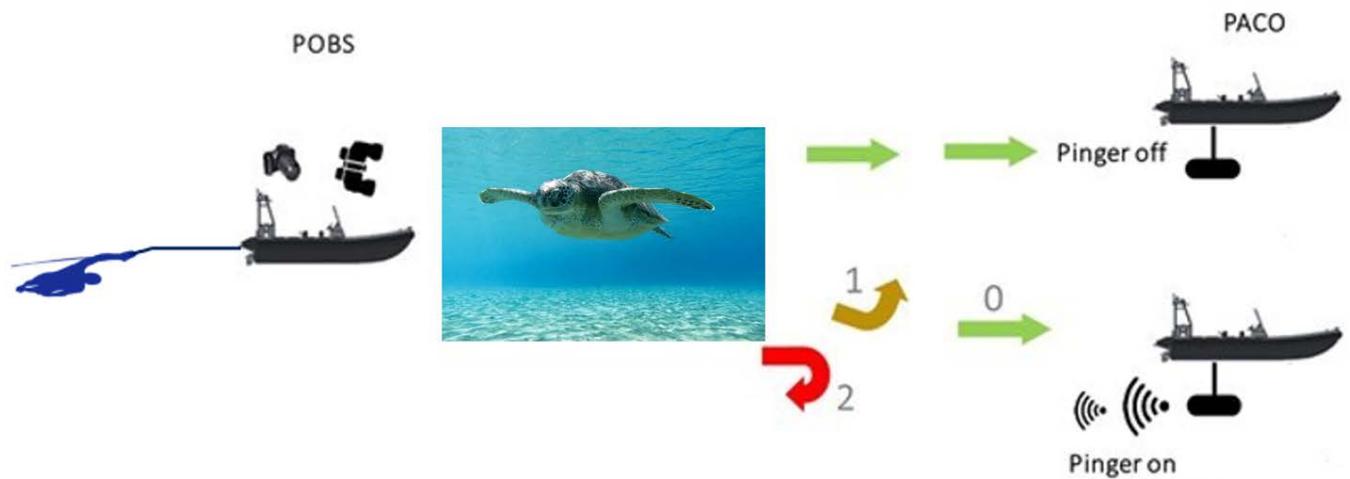


Figure 1 : schéma des essais en mer avec les deux embarcations (POBS : plateforme observation PACO : plateforme acoustique) et avec types de réponse immédiate attendue (0=nulle ; 1=modérée ; 2=significative).

### Références :

- [1] **National Marine Fisheries Service. (2018).** Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- [2] **Technical Report (2017).** Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Phase III).

## 3. Autorisations et respect de l'environnement

Les tâches réalisées sur les tortues marines, espèces protégées, seront exécutées sous le couvert des autorisations d'expérimenter du chercheur porteur du projet (qualification des personnels des établissements d'expérimentation animale, voir partie C. Qualifications).

En anticipation au démarrage du projet, les demandes d'autorisation de manipulations spécifiques au projet (objectifs et protocoles scientifiques, CERFA 13616\*01) sont en cours de rédaction pour transmission auprès des DEAL Martinique et Guadeloupe en vue de l'obtention de l'arrêté préfectoral autorisant à capturer, manipuler et relâcher les tortues marines sur les territoires martiniquais et guadeloupéens.

## Les Personnes impliquées dans les actions qui seront menées dans le cadre de ces missions (sous mon accréditation)

Dans le cadre du projet TOPASE, certaines personnes seront autorisées à capturer, marquer, prélever, transporter, détenir et relâcher les tortues marines. Je pourrais accréditer ces personnes disposant des compétences techniques nécessaires (acquises durant plusieurs années) afin qu'elles m'assistent dans mes missions. En fonction de leur expertise, les personnes disposeront de tout ou partie des dérogations dont je bénéficie.

### Niveau 1, Personnes autorisées à :

- CAPTURER, DETENIR temporairement, MARQUER et RELACHER sur les territoires des départements de la Martinique et de la Guadeloupe, des spécimens de tortues vertes (*Chelonia mydas*), de tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*), de tortues caouannes (*Caretta caretta*) et de tortues luths (*Dermochelys coriacea*) ;
- Poser des transpondeurs, des caméras miniatures et des biologgers sur des spécimens appartenant aux espèces citées ci-dessus ;
- PRELEVER-TRANSPORTER-DETENIR-UTILISER-DETRUIRE à des fins d'analyse scientifique, des échantillons de matériel biologique issus de spécimens appartenant aux espèces citées ci-dessus.

**Liste des personnes Niveau 1 :** Damien Chevallier, Jordan Martin, Mosiah Arthus, Pierre Lelong, Rachelle Lafolle et Florence Thobor sont impliqués (lors de Master 1, Master 2, CDD ingénieur d'étude et technicien) depuis 2013 dans le cadre de mes travaux en Guyane et/ou en Martinique, comme l'attestent les publications (ci-après) dans lesquelles ils sont co-auteurs.

- Isabelle Charrier, Lorène Jeantet, Léo Maucourt, Sidney Régis, Nicolas Lecerf, Abdelwahab Benhalilou, Damien Chevallier. 2021. First evidence of underwater vocalisations in green turtles, *Chelonia mydas*. Accepted in Endangered species.
- Damien Chevallier, Marc Girondot, Christina Péron, Jordan Martin, Marc Bonola, Johan Chevalier, Edward J. Anthony, Benoît de Thoisy, Laurent Kelle, Yvon Le Maho, Antoine Gardel. 2021. Drastic decline in leatherback turtle populations in French Guiana: beach erosion as an aggravating factor. Accepted in Regional Environmental Change.
- Girondot, M, Mourrain, B, Chevallier, D, Godfrey, MH. 2021. Maturity of a giant: age and size reaction norm for sexual maturity for Atlantic leatherback turtles. *Mar Ecol.* 2021; 00:e12631. <https://doi.org/10.1111/maec.12631>.
- Lorène Jeantet, Vincent Vigon, Sébastien Geiger, Damien Chevallier. 2021. Fully Convolutional Neural Network: A solution to infer animal behaviours from multi-sensor data. *Ecological Modelling* 450, 09555. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109555>.
- Flora Siegwalt, Pierre Lelong, Jordan Martin, Lorène Jeantet, Clément Grand, Abdelwahab Benhalilou, Céline Murgale, Lucas Andreani, François Jacaria, Guilhem Campistron, Anthony Lathiere, Gaëlle Hielard, Alexandre Arqué, Sidney Régis, Nicolas Lecerf, Cédric Frouin, Fabien Lefebvre, Nathalie Aubert, Rachelle Lafolle, Florence Thobor, Mosiah Arthus, Denis Etienne, Jean-Pierre Allenou, Corinne Copin, Philippe Brousse, Muriel Lepori, Caroline Hibold, Yvon Le Maho, Jean-Patrice Robin, Damien Chevallier. 2021. Ecologie trophique et fonctionnelle de la tortue verte dans les herbiers marins de Martinique" in *La Feuille marine* 2021. Newsletter d'actualités 2019-2020 des herbiers d'outre-mer. *Bulletin Ifremer* 4 : 28 pages.
- Siegwalt Flora, Benhamou Simon, Girondot Marc, ..... Chevallier D. High fidelity of sea turtles to their foraging grounds revealed by satellite tracking and capture-mark-recapture: New insights for the establishment of key marine conservation areas. *Biological conservation* 250: 108742. doi : 10.1016/j.biocon.2020.108742.
- Catherine Riaux-Gobin, Matt P. Ashworth, J.Patrick Kocielek, Damien Chevallier, Pablo Saenz-Agudelo, Andrzej Witkowski, Genowefa Daniszewska-Kowalczyk, Cecile Gaspar, Magali Lagant, Margaux Tournon, Alice Carpentier, Vie Stabile & Serge Planes. 2020. Epizoic diatoms on sea turtles and their relationship to host species, behaviour and biogeography: a morphological approach, *European Journal of Phycology*, DOI: 10.1080/09670262.2020.1843077.

- Catherine Riaux-Gobin, Andrzej Witowski, John Patrick Kocielek, Damien Chevallier. *Navicula dermochelycola* sp. nov., presumably exclusively epizoic diatom on the sea turtles *Dermochelys coriacea* and *Lepidochelys olivacea* from French Guiana. 2020. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 49 (2) : 132-139. doi: 10.1515/ohs-2020-0012
- Jeantet et al. 2020. Behavioural inference from signal processing using animal-borne multi-sensor loggers: a novel solution to extend the knowledge of sea turtle ecology. *Royal Society Open science* 7: 200139. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.200139>.
- Chevallier Damien, Baptiste Mourrain, Girondot Marc. 2020. Modelling leatherback biphasic indeterminate growth using a modified Gompertz equation. *Ecological modelling*. 426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109037>.
- Chevallier D., Girondot M. Berzins R., Chevalier J., de Thoisy B., Fretey J., Kelle L., Lebreton J.-D. 2020. Survival and pace of reproduction among adult females of an endangered sea turtle population, the leatherback *Dermochelys coriacea* in French Guiana. *Endangered species*. Vol. 41: 153–165. <https://doi.org/10.3354/esr01013>
- Bonola et al. 2019. Body measurements give good estimates of the body mass and thus body condition in wild juvenile green turtles (*Chelonia mydas*). *Biology Open* 8, bio048058. doi:10.1242/bio.048058.
- Jurjan P. van der Zee, Marjolijn J.A. Christianen, Mabel Nava, Ximena Velez-Zuazo, Wensi Hao, Martine Bérubé, Hanneke van Lavieren, Michael Hiwat, Rachel Berzins, Johan Chevalier, Damien Chevallier, Marie-Clélia Lankester, Karen A. Bjørndal, Alan B. Bolten, Leontine E. Becking, Per J. Palsbøll. 2019. Population recovery changes population composition at a major southern Caribbean juvenile developmental habitat for the green turtle, *Chelonia mydas*. *Scientific reports* 9:14392. doi.org/10.1038/s41598-019-50753-5
- Chambault et al. 2018. Connecting paths between juvenile and adult habitats in the Atlantic green turtle using genetics and satellite tracking. *Ecology and Evolution* 8, 12790–12802. <https://doi.org/10.1002/ece3.4708>.
- Nivière et al. 2018. Identification of marine key areas across the Caribbean to ensure the conservation of the critically endangered hawksbill turtle. *Biological Conservation* 223, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.002>.
- Jeantet et al. 2018. Combined use of two supervised learning algorithms to model sea turtle behaviours tri-axial acceleration data. *Journal of Experimental Biology* 23 doi: 10.1242/jeb.177378.
- Riaux-Gobin, C., Witkowski, A., Chevallier, D. & Daniszewska-Kowalczyk G. 2017. Two new *Tursiocola* species (Bacillariophyta) epizoic on green turtles (*Chelonia mydas*) in French Guiana and Eastern Caribbean. *Fottea, Olomouc* 17(2): 150–163. DOI: 10.5507/fot.2017.007.
- Treasure, A. M., Roquet, F., Anson, I. J., Bester, M. N., Boehme, L., Bornemann, H., J.-B. Charrassin, Chevallier, D., Costa, D., Fedak, M. A., C. Guinet, Hammill, M. O., Harcourt, R. G., Hindell, M. A., Kovacs, K. M., Lea, M.-A., Lovell, P., Lowther, A. D., Lydersen, C., McIntyre, T., C.R. McMahon, Muelbert, M. M. C., Nicholls, K., Picard, B., Reverdin, G., Trites, A.W., Williams, G. D. & Bruyn, P. J. N. D. 2017. *Marine Mammals Exploring the Oceans Pole to Pole: A Review of the MEOP Consortium*. *Oceanography* 30(2) :132–138.
- Riaux-Gobin C, Witkowski A., Kocielek J-P, Ector L., Chevallier D. & Compère P. 2017. New epizoic diatom (Bacillariophyta) species from sea turtles in Eastern Caribbean and South Pacific. *Diatom Research*. 1-17. DOI: 10.1080/0269249X.2017.1299042.
- Chambault et al. 2017. The Gulf Stream frontal system: A key oceanographic feature in the habitat selection of the leatherback turtle? *Deep Sea Research Part I*. DOI:10.1016/j.dsr.2017.03.003.
- Chambault et al. 2016. Habitat use and diving behaviour of gravid olive ridley sea turtles under riverine conditions in French Guiana. *Journal of Marine Systems* 10/2016; 165. DOI:10.1016/j.jmarsys.2016.10.005.
- Chambault et al. 2016. Inter-nesting behavioural adjustments of green turtles to an estuarine habitat in French Guiana. *Marine Ecology Progress Series*. DOI: 10.3354/meps11813.
- Chambault P., de Thoisy B., Heerah K., Conchon A., Barrioz S., Dos Reis V., Berzins R., Kelle L., Picard B., Roquet F., Le Maho Y., Chevallier D. 2016. The influence of oceanographic features on the foraging behavior of the olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* along the Guiana coast. *Progress in Oceanography* 142: 58-71.
- Jordao J., Bondioli A-C, Almeida-Toledo L, Bilo K., Berzins R., Le Maho Y., Chevallier D. & de Thoisy B. 2015. Genetic structure of green turtles *Chelonia mydas* in the West Atlantic: mtDNA decipher connections between populations and redefine Management Units. *Mitochondrial DNA*. DOI: 10.3109/19401736.2015.1115843.
- Chambault P, Pinaud D., Vantrepotte V. Kelle L., Entraygues M., Guinet C., Berzins R., Bilo K., de Thoisy B., Le Maho Y., Chevallier D. 2015. Dispersal and diving adjustments of green turtles in response to dynamic environmental conditions during post-nesting migration. *PLoS One* 10.
- Baudouin M., de Thoisy B., Chambault P., Berzins R., Entraygues M., Kelle L., Turny A., Le Maho Y., Chevallier D. 2015. Identification of key marine areas for conservation based on satellite tracking of post-nesting migrating green turtles (*Chelonia mydas*). *Biological Conservation* 184: 36–41.
- Christina Péron, Damien Chevallier, Martin Galpin, Andy Chatelet, Edward J. Anthony, Yvon Le Maho, Antoine Gardel. 2013. Beach morphological changes in response to marine turtles nesting: a preliminary study of Awala-Yalimapo beach, French Guiana (South America). *Journal of Coastal Research, Special Issue* 65: 99-104.

## **Niveau 2, Personnes autorisées à :**

- CAPTURER, DETENIR temporairement, MESURER et RELACHER sur les territoires des départements de la Martinique et de la Guadeloupe, des spécimens de tortues vertes (*Chelonia mydas*) et de tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*).

### Liste des personnes de Niveau 2 :

Régis Sidney, Nicolas Lecerf, Cédric Frouin, Fabien Lefèbvre. Ces quatre apnéistes sont des captureurs professionnels qui pratiquent la capture des tortues marines en Martinique depuis 2009 (Sidney Régis et Nicolas Lecerf) et depuis 2013 (Cédric Frouin et Fabien Lefebvre). Sidney Régis et Nicolas Lecerf, sont en charge de la formation des apnéistes captureurs et récupérateurs (en surface). Valentine André, Noémie Léger (PNG), un garde moniteur (PNG, non identifié), un observateur SIH (IFREMER, non identifié) et trois stagiaires M2 (non identifiés) sont impliqués dans le cadre du projet TOPASE. Yves Le Gall et Eric Menut sont des spécialistes de l'acoustique chez les mammifères marins et les poissons comme l'attestent les récents articles ci-après. Ils interviendront dans le cadre des tests des Dispositifs de dissuasion acoustique (ADD).

- Le Gall Yves (2020). Expertise sur les dispositifs de dissuasion acoustique pour limiter les captures accidentelles de marsouins communs en zone CIEM VII (Manche et mer Celtique) en respect de la réglementation européenne. DPMA - Direction des Pêches Maritimes & de l'Aquaculture, La Défense, Ref. DG/2020.1263 - Saisine n° 20-16008 du 17 septembre 2020, 1p., 6p., 3p. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00680/79219/>
- Le Gall Yves (2019). Oceanographic campaigns and marine mammals. Acoustic risk management. GHASS2 - R/V. Délégation Ifremer - GeoEcomar / Ministère de l'Environnement Roumain. 17 septembre 2019, Bucharest.
- Le Gall Yves (2019). Campagnes océanographiques et mammifères marins : Gestion des risques sonores. Présentation de la FOF. 24 Avril 2019, Martinique.
- Le Gall Yves (2018). Use of acoustic deterrent devices in Pelagic fisheries and in Shellfish Farms. Sea Tech Week 2018, F1 Sustainable fishing session (Part I) - Brest, France - 10th october 2018.

D'autres personnes pourront participer en tant qu'observateur ou manipulateur (sous la surveillance des niveaux 1 à terre, et des niveaux 2 en mer), sous réserve d'avoir été formées et assisté à chaque briefing matinal dispensés par Chevallier Damien et Sidney Régis durant les sessions de capture.

## 4. Livrables

Les résultats seront restitués sous forme d'un rapport annuel et de fin de mission et de publications scientifiques à la base des actions de vulgarisation régulièrement menées par le laboratoire BOREA. Ces résultats seront mis à disposition du réseau tortues marines Antilles pour ses propres actions de communication ou de conservation (e.g. intégrations aux bases de données).

Le rapport final sera fourni en format papier en trois exemplaires ainsi qu'en version électronique (.docx et .pdf). Le rapport final sera accompagné d'une note de synthèse d'une page A4 à la fin de l'année de suivi présentant les principaux résultats de l'étude en cours et les apports scientifiques.

## Attestation de qualification d'expérimentation animale du porteur



# Attestation

## Diplôme de responsable scientifique d'expérimentation animale Niveau 1

Approuvé par décision du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Enregistré sous le N° I-67UnivLouis Pasteur-F1-04

Je soussigné Yves Larmet, **Responsable de la Formation**, certifie que

**Monsieur Damien CHEVALIER**

a suivi la **formation spéciale à l'expérimentation animale niveau 1**  
pour les rongeurs avec une spécialité de chirurgie.

Le programme de cette formation a été défini par l'arrêté du 18 avril 1988.

M. Damien CHEVALIER a subi avec succès l'évaluation de fin de stage

Fait à Strasbourg, le 16/05/2007

Yves Larmet

**Faculté des sciences  
de la vie**  
28 rue Goethe  
F-67083 Strasbourg Cedex  
Tél. : (33) 03 90 24 20 01  
Fax : (33) 03 90 24 20 02  
SciencesdeLaVie@adm-ulp.u-strasbg.fr

R É P U B L I Q U E F R A N Ç A I S E

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

UNIVERSITÉ STRASBOURG I

DIPLÔME DE DOCTORAT

Vu le code de l'éducation, et notamment son article L.613-1

Vu le décret n°2002-481 du 8 avril 2002 relatif aux grades et titres universitaires et aux diplômes nationaux.

Vu l'autorisation de présenter en soutenance une thèse accordée par le chef d'établissement après avis du directeur de l'école doctorale Sciences de la Vie et de la Santé

Vu l'arrêté du 7 août 2006 relatif à la formation doctorale

Vu le procès-verbal du jury attestant que l'intéressé (e) a présenté en soutenance, conformément aux règlements, à la date du : 14/09/2007 une thèse ou un ensemble de travaux portant sur le sujet suivant :

Ecologie de la Cigogne noire (Ciconia nigra) en Afrique de l'Ouest.

devant un jury constitué au sein de l'Université Louis Pasteur Strasbourg, présidé par : M. J.-L. GENDRAULT et composé de : M. Y. LE MAHO - Mme A. FOURNIER - M. L. GRANJON - M. J.-M. THIOLLAY - Mme S. MASSEMIN-CHALLET.

Vu la décision dudit jury prononçant l'admission de l'intéressé (e),

LE DIPLOME DE DOCTORAT DE : Sciences du vivant

est conféré à : M. Damien CHEVALLIER né(e) le : 07/09/1973 à Longue Jumelles (49)

pour en jouir avec les droits et les prérogatives qui y sont attachés.

Fait à Strasbourg le : 27 mai 2008

Le titulaire

Le Président de l'Université ABERETZ



Le Recteur d'Académie, Chancelier des universités GÉRALD CHAIX



N° STRASI 6719168

Nota : Le Conseil Scientifique de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg réuni le 21 novembre 2000 a décidé que les mentions " honorable - très honorable - très honorable avec les félicitations " ne seront plus attribuées par l'ULP, pour les thèses soutenues à partir du 1er Janvier 2001.