

MATÉRIEL & MÉTHODE

I. LA PASSE DE TIPUTA ET LA ZONE D'ÉTUDE

La passe de Tiputa (S14°58'19.23"XW147°37'43.50") est une tranchée d'approximativement 200 mètres de large, 1 000 mètres de long et de 15 à 35 mètres de profondeur dans le récif nord de l'atoll de Rangiroa (**figures II.1. et II.2.A.-B.**) ; elle est située à 5,3 milles nautiques à l'est de la passe d'Avatoru, large de 300 mètres et longue de 1 500 mètres. La passe de Tiputa est parcourue quotidiennement par des courants violents : on observe généralement l'alternance d'un flux entrant (~ 5 heures) et d'un flux sortant (~ 5 heures) entrecoupés par une courte période d'étalement. Ces courants de marée peuvent atteindre la vitesse de 3 à 6 nœuds (SHOM, 1999) et être accentués par l'étiage. Les horaires des courants se décalent chaque jour de 30' à 60' environ.

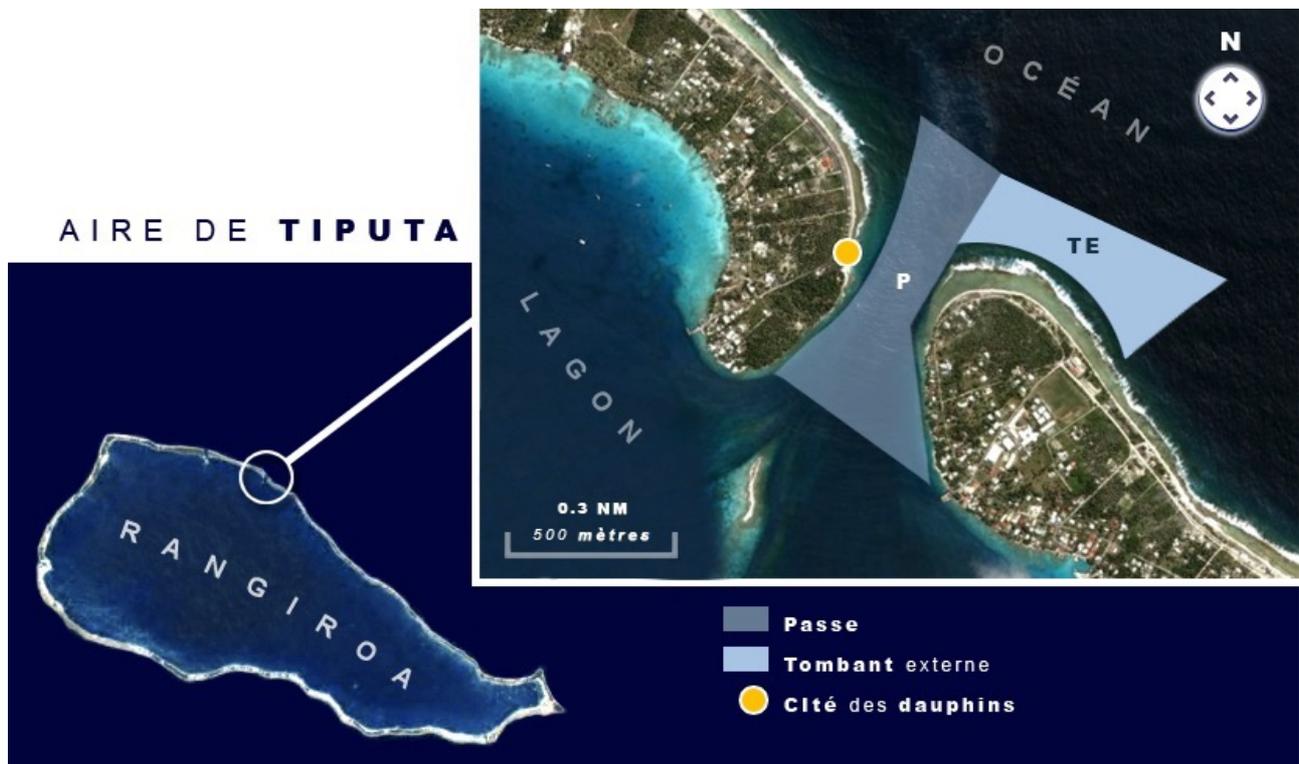


Fig. II.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ET DE LA PASSE DE TIPUTA AU NORD DE RANGIROA.

La carte détaillée montre la passe de Tiputa, la « cité des dauphins » (site de collecte à terre) ainsi que le plateau et le tombant externes situés à l'est de la passe. Photos©Google Earth.

Lorsque l'océan pénètre dans le lagon (*i.e.* courant entrant) l'eau est claire, la surface de la passe est calme et un mascaret de taille modeste se forme dans son axe côté lagon (**figure II.2. C.**).

Lorsque l'eau du lagon se déverse dans l'océan (*i.e.* courant sortant) la visibilité est très limitée et la rencontre des masses d'eau crée un fort mascaret dont les vagues peuvent atteindre 2-3 mètres de haut (**figure II.2. D.**). Ce mascaret s'étend jusqu'à 2 milles nautiques au large de l'axe de la passe.

Le fond de la passe est barré par trois grandes failles où des bancs de chirurgiens, de perches, de taurillons, des requins à pointes blanches de lagon, *Triaenodon obesus*, des requins nourrices, *Nebrius ferrugineus*, et des napoléons, *Cheilinus undulatus*, s'abritent lorsque le courant est entrant. Il est également fréquent d'y croiser des grands requins-marteaux, *Sphyrna mokarran*, des raies manta et des raies aigle en transit.

L'aire d'étude, appelée « zone de Tiputa », a une superficie de < 2 km² et comprend la passe et 500 mètres environ de récif extérieur (**figure II.1.**). Ce récif est composé d'un plateau de 40 à 150 mètres de large et d'une profondeur de 4 à 15 mètres et d'un tombant dont le coefficient de pente est d'environ 45° jusqu'à une soixantaine de mètres de profondeur. Cette zone a été choisie pour la fréquence d'observation des dauphins, la superposition des activités de plongée ainsi que pour sa facilité d'accès depuis la terre et en plongée sous-marine. Nous considérons comme habitats « côtiers » le lagon, la passe et la zone étroite qui s'étend entre la crête récifale et le tombant externe jusqu'à 100 mètres environ de profondeur. Au-delà, nous nous considérons dans le domaine pélagique.

Rangiroa étant orienté est > ouest, la partie extérieure de la zone d'étude est largement exposée aux alizés (secteurs nord-est à sud-est), principalement pendant l'hiver austral, qui s'étend de juin à septembre. On note également un faible courant se déplaçant d'est en ouest aux abords de l'île.

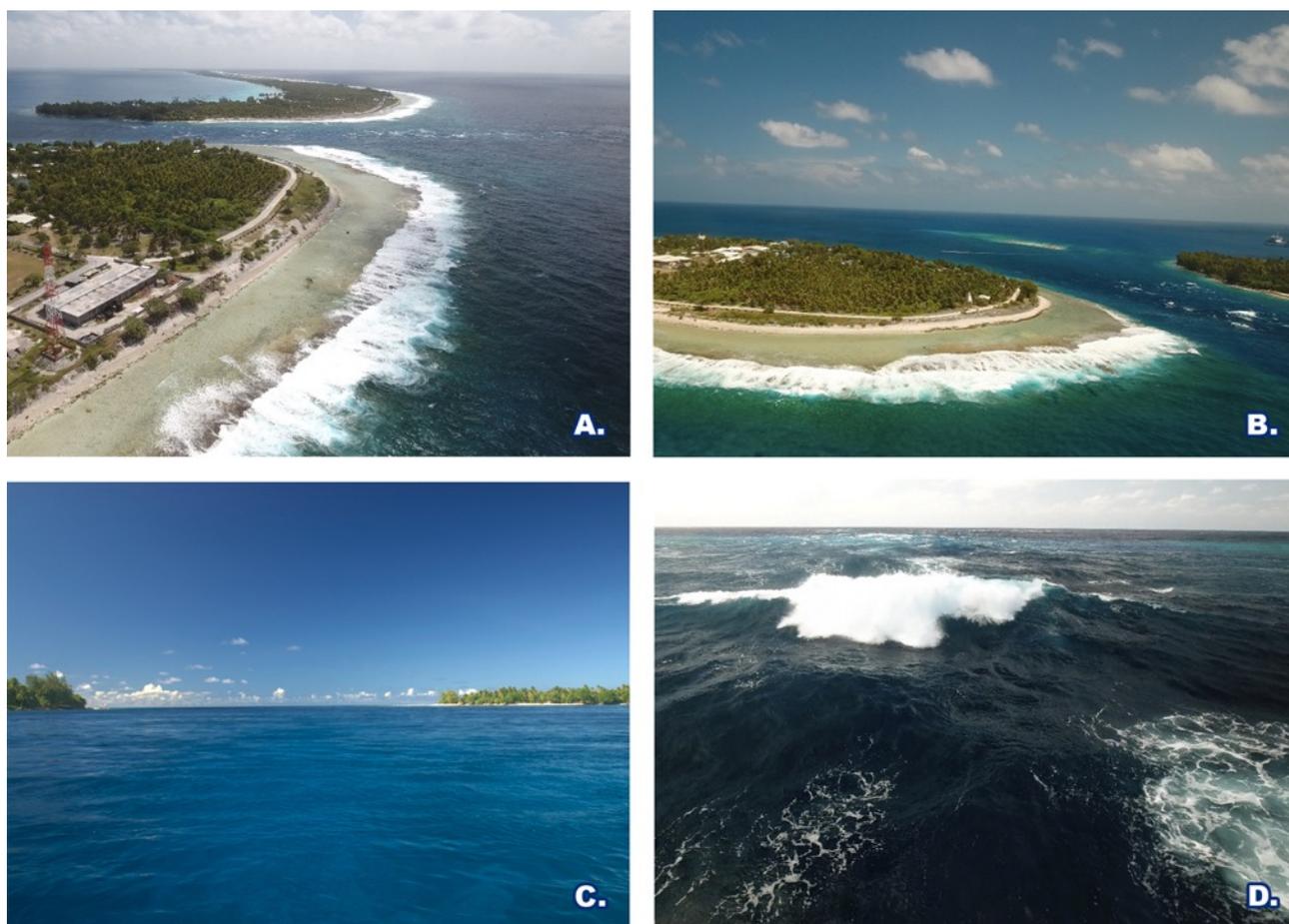


Fig. II.2. LA ZONE D'ÉTUDE. Vues aériennes du récif extérieur est et de la passe de Tiputa (A-B) ; sur la photo (B), le plateau récifal est visible au premier plan, la passe de Tiputa sur la droite et le lagon en arrière-plan. Aspect extérieur de la passe de Tiputa en milieu de journée par courant entrant (C) ; aspect extérieur de la passe de Tiputa en fin d'après-midi par courant sortant : les vagues déferlantes du mascaret sont bien visibles (D). Photos (A-B, D) Fabien Robineau.

II. LE RECUEIL ET L'ARCHIVAGE DES DONNÉES

Les données ont été collectées sur deux fois quatre mois en avril, mai, juin et juillet 2015 et 2016 depuis la terre, en plongée sous-marine et depuis une embarcation. Le choix de ces trois bases complémentaires a permis de maximiser le nombre et la qualité des données recueillies. Un protocole général de collecte a été défini et adapté à chacune des bases. Le type d'échantillonnage a été déterminé d'après les travaux d'Altmann (1974) repris par Mann (2000) dans le cadre de l'observation des cétacés avec pour objectif principal l'identification des dauphins, de leur comportement et du contexte environnemental des observations. Pour des raisons éthiques et scientifiques, l'influence de l'observateur sur le comportement des animaux a été minimisé.

Des informations générales concernant les sorties (zone, heure, durée en minutes, force du vent en Beaufort, état de la mer, horaires et état du courant, coefficient de marée, espèces rencontrées), les groupes de dauphins observés (nombre, heures et durées des observations, nombre d'individus estimé, activité des animaux, comportements et évènements particuliers) ainsi que des photographies ou séquences vidéos ont été collectées de manière systématique. L'échantillonnage par balayage instantané (*scan sampling*), adapté à l'observation des associations et de l'activité des animaux, a été utilisé pour photographier ou filmer les individus présents dans chacun des groupes observés. Quatre catégories d'activités, non-exclusives, ont été définies : chasse, déplacement, repos et socialisation (cf. **glossaire**). La méthode d'échantillonnage de l'activité prédominante (*predominant activity sampling*), qui consiste à retenir l'activité de plus de 50% des animaux du groupe, a été choisie afin de déterminer l'activité des dauphins. Les évènements rares (e.g. allaitement, affrontement) ont été enregistrés de manière prioritaire par échantillonnage *ad libitum*.

Les photographies ont été prises depuis la terre et en surface avec un boîtier Canon EOS 50D ou 5D Mark II muni d'un objectif Canon 100-400 mm. Le comportement actif des animaux dans la passe permet en effet d'y obtenir de bons clichés d'identification (**figure II.3. A.**). Les sorties en surface ont été effectuées par mer calme (≤ 3 Beaufort), permettant de placer l'embarcation parallèlement aux animaux afin de photographier leurs ailerons de profil (**figure II.3. B.**). En plongée sous-marine, les animaux ont été filmés en HD avec un appareil compact Sony HX20V protégé par un caisson *Ikelite*. Les dauphins situés à une distance de < 15 mètres parallèlement à l'observateur sont aisément identifiables, quelles que soient les conditions de visibilité (**figure II.3. C.**).



Fig. II.3. EXEMPLES D'IMAGES PRISES DEPUIS LES TROIS BASES DE COLLECTE.

Depuis la terre (A), une embarcation (B) et en plongée sous-marine (C). Photo (C) Olivier Duguet.

Deux définitions du terme « groupe » ont été utilisées en fonction de la base de collecte : une définition pour les observations effectuées depuis la terre et la surface et une autre, plus restrictive, pour les observations effectuées en plongée sous-marine (cf. **glossaire**).

Le recueil des données à terre

La « cité des dauphins », site d'observation à terre (**figure II.4.**), offre un point de vue général sur la passe de Tiputa. Les animaux y sont observés et identifiés sans que leur comportement ne soit influencé par la présence de l'observateur. Les sessions de collecte, d'une durée de 90 minutes, ont été réparties entre 06h30 et 17h30. Elles sont indépendantes du courant, de la force du vent et de l'état de la mer. Lorsqu'un ou des dauphins ont été observés dans la passe, l'observateur a « balayé » le groupe de façon à photographier un maximum d'individus. Les comportements à court-terme (e.g. *surf*, *leap*, *synchronized leap*, *breach*) ont été relevés tout comme le nombre de bateaux de plongée, de plongeurs à bord des bateaux et d'embarcations de *dolphin watch*.

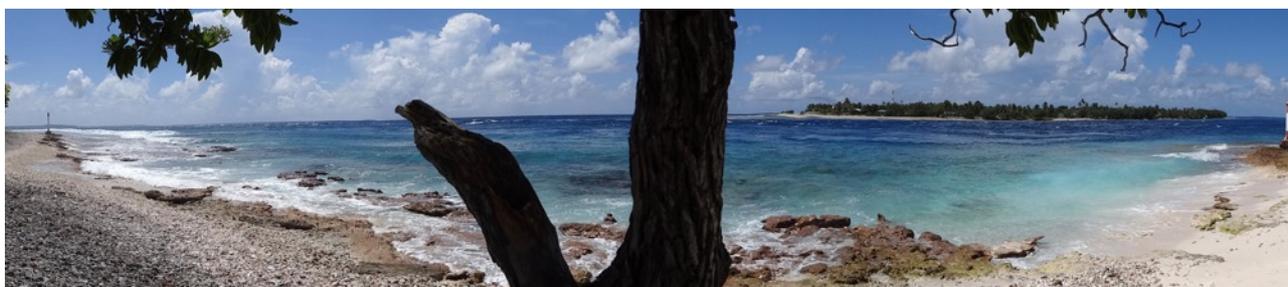


Fig. II.4. LA « CITÉ DES DAUPHINS », SITE D'OBSERVATION À TERRE.

Ce site offre un point de vue général sur la passe de Tiputa.

Le recueil des données en plongée

Le fait que les grands dauphins tolèrent aujourd'hui la présence des plongeurs permet d'observer l'identité, les caractéristiques morphologiques, les associations et les comportements des animaux de manière relativement fine. Les sessions de collecte ont été effectuées dans le cadre de plongées « touristiques » organisées par des centres-partenaires et ont donc été tributaires de leurs horaires et parcours de plongée. Elles sont indépendantes du courant, de la force du vent et de l'état de la mer.

La plupart des plongées ont été effectuées dans les créneaux-horaires 08h00-10h00 et 13h00-15h00 sur la zone du tombant externe (TE) ou dans la passe (P) ; elles ont suivi des parcours-types situés entre la zone dite de l'« éolienne » (600 mètres environ à l'est de la passe de Tiputa) et le quai du village de Tiputa. Le parcours-type d'une plongée effectuée par courant sortant consiste à longer le tombant externe jusqu'à l'angle de la passe tandis que le parcours-type d'une plongée par courant entrant consiste à se laisser dériver dans la passe jusqu'à l'entrée du lagon. Les positions de mise à l'eau et d'émersion (en degrés décimaux), la température de l'eau (en °C) et la profondeur maximale atteinte (en mètres) ont été

enregistrées lors de chaque plongée. Quatre degrés de visibilité ont également été définis : **1** (< 10 mètres), **2** (entre 10 et 20 mètres), **3** (entre 20 et 40 mètres) et **4** (> 40 mètres).

Lorsqu'un ou des dauphins ont été visuellement détectés, l'habitat (bleu, tombant, récif ou passe) a été noté et la profondeur des animaux estimée par rapport à celle de l'observateur. Toute observation sous-marine a été intégralement filmée et les groupes ont été « balayés » jusqu'à ce tous les individus visibles aient été enregistrés.

Le recueil des données en surface

Des données ont été collectées de manière opportuniste depuis un pneumatique de 3,3 mètres équipé d'un moteur hors-bord deux temps d'une puissance de 15CV. Ces dernières ont principalement permis de mettre à jour les catalogues d'identification avec des photographies de très bonne qualité mais aussi d'enregistrer des comportements rares ou exceptionnels (e.g. adoption d'un petit dauphin d'Électre par une femelle grand dauphin). Contrairement aux observations effectuées depuis la terre et en plongée, les animaux ont été recherchés, observés et suivis jusqu'à ce que 100% des individus présents sur zone aient été identifiés. La définition du terme « groupe » est ici similaire à celle utilisée dans le cadre des observations à terre.

Identification, sexage et assignation des dauphins à des classes d'âge

L'identification des animaux est un prérequis pour l'acquisition de connaissances sur les paramètres démographiques et l'organisation sociale de la communauté à laquelle ils appartiennent. La présence de marques naturelles pérennes chez les baleines et les dauphins a encouragé l'application des méthodes de capture-recapture dans le cas des populations de cétacés (Hammond *et al.*, 1990 ; Whitehead *et al.*, 2000).

Les grands dauphins de la zone de Tiputa ont avant tout été identifiés grâce à la forme et aux encoches présentes sur leur nageoire dorsale. Trois catégories d'individus ont été définies en fonction du degré de marquage de leur aileron : les dauphins bien marqués, les dauphins modérément marqués et les dauphins non-marqués (**figure II.5.**). L'identification des individus modérément et non-marqués, notamment des jeunes dauphins, a été confirmée lors de chaque observation grâce à des critères supplémentaires : encoches présentes sur leurs nageoires pectorales et / ou le bord postérieur de leur nageoire caudale, caractéristiques pigmentaires individuelles, dépigmentations consécutives à des blessures profondes et / ou dermatoses (**figure II.6.**). D'autres types de marques ont permis de confirmer une identification à court ou moyen-terme telles que la morsure infligée par le squaielet féroce (*Isistius brasiliensis*) et les blessures superficielles dues à d'autres espèces de requins ou aux coups de dents laissés par des congénères (**figure II.7.**). L'observation conjointe de tous ces caractères limite en outre les risques d'erreur d'identification dues à l'évolution des marques de la dorsale (faux-positifs et faux-négatifs).



Fig. II.5. LES TROIS CATÉGORIES DE MARQUAGE RETENUES.

Exemple d'un individu bien marqué (A), modérément marqué (B) et non-marqué (C).

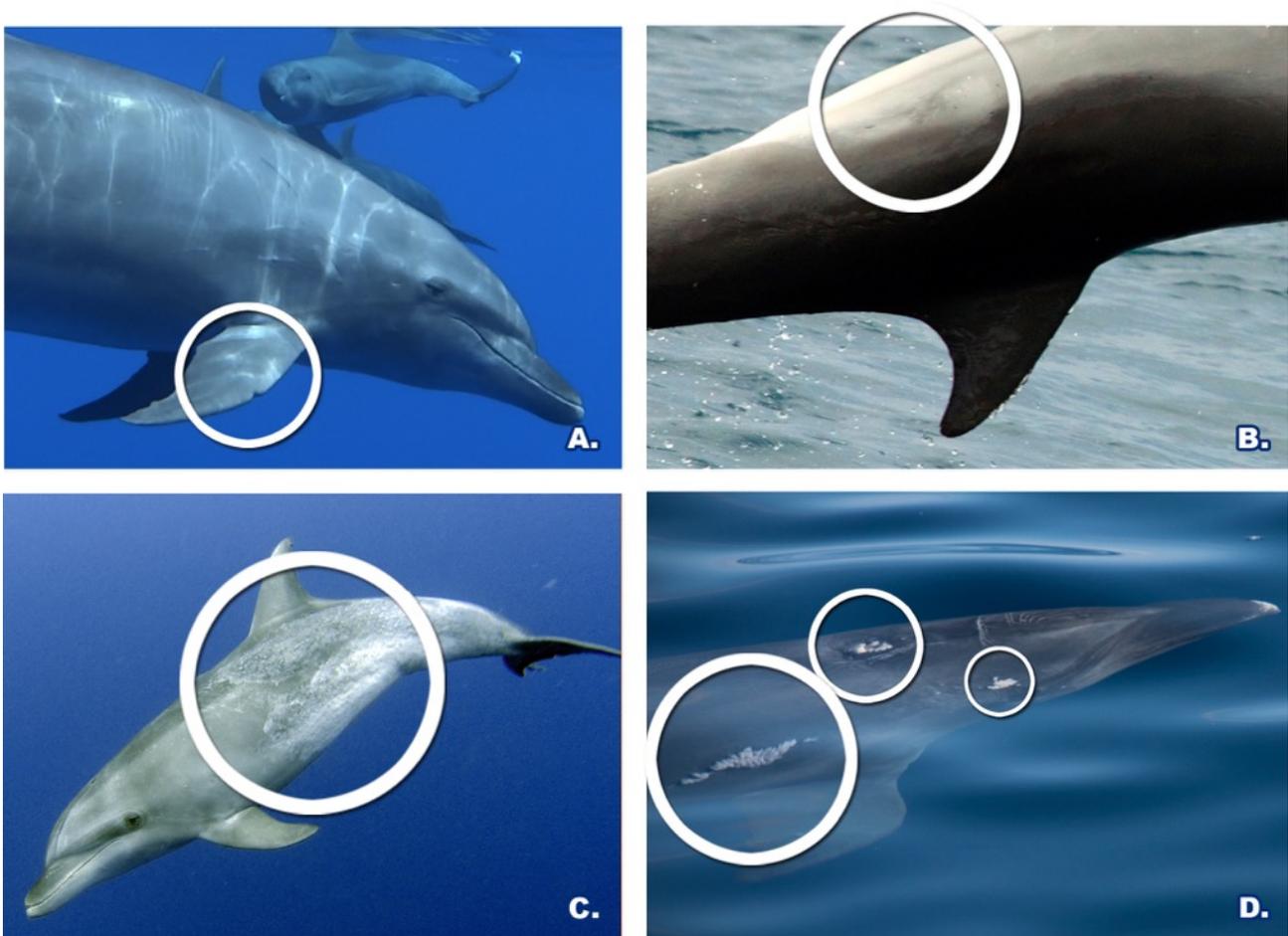


Fig. II.6. CRITÈRES SUPPLÉMENTAIRES D'IDENTIFICATION DES DAUPHINS.

Exemples d'une encoche présente sur une nageoire pectorale (A), d'une caractéristique pigmentaire individuelle (B) et de deux types de dermatoses (C-D).

Chaque individu présent dans un groupe a été photographié plusieurs fois sans tenir compte de son degré de marquage, de sa classe d'âge ou de son comportement. Dans le cas de petites communautés comme celle de la zone de Tiputa, il est possible d'identifier visuellement tous les dauphins de manière fiable en temps réel (Whitehead, 2008). Cette étape de « pré-identification » a été menée lors des observations et confirmée ultérieurement grâce aux photographies et vidéos.

Le sexe de chaque dauphin a pu être déterminé par observation directe de sa zone génitale (cf. **annexe 3.**). Chaque individu a été assigné à l'une des quatre classes d'âge prédéfinies : adulte, subadulte, juvénile et nouveau-né (**figure II.8.**, cf. **glossaire**). Les dauphins nés lors des périodes de collecte ont été classés pour la saison dans la catégorie « nouveau-né ».



Fig. II.7. CRITÈRES SUPPLÉMENTAIRES D'IDENTIFICATION À COURT ET MOYEN-TERME.

Exemples de la morsure d'un squalolet féroce (A), d'une morsure superficielle infligée par une autre espèce de requin (B) et de marques de dents laissées par un ou des congénères (C). Photo (B) Antoine Sola.



Fig. II.8. EXEMPLES D'INDIVIDUS APPARTENANT AUX QUATRE CLASSES D'ÂGE PRÉ-DÉFINIES.

Nouveau-né (A), juvénile (B), subadulte (C) et adulte (D).

Archivage des données

Après chaque sortie, les données ont été archivées dans des feuilles de calcul *OpenOffice 3* et les photographies et vidéos classées dans des dossiers par base de collecte, date et n° de groupe observé. Le parcours effectué lors de chaque plongée a été reporté sur une carte *GoogleEarth* grâce aux coordonnées GPS de mise à l'eau et d'émersion et la distance approximative parcourue a été relevée en kilomètres.

Les photographies ont été triées en fonction de quatre critères de qualité (**figure II.9.**) :

A. Excellente.

B. Bonne. Mauvaise lumière (ombre, contre-jour), reflets.

C. Correcte. Sur- ou sous-exposition, mauvaise lumière (ombre, contre-jour), reflets, éclaboussures.

D. Médiocre. Mauvais cadrage ou mise au point, flou de bougé, angle inadapté, sujet éloigné, sur- ou sous-exposition, mauvaise lumière (ombre, contre-jour), reflets, éclaboussures.

Seules les photographies des catégories A à C ont été conservées pour la phase de *matching*.



Fig. II.9. CRITÈRES DE QUALITÉ DES IMAGES.

Exemple d'une photographie de catégorie A « excellente » (A), de catégorie B « bonne » (B), de catégorie C « correcte » (C) et de catégorie D « médiocre » (D).

Les vidéos ont été triées selon deux critères :

A. Utilisable (au moins un individu identifiable sur les images)

B. Inutilisable (aucun individu identifiable sur les images).

Le nombre total de photographies et de vidéos ainsi que le nombre d'images et de séquences exploitables a été noté pour chaque sortie. Les individus présents sur les photographies et vidéos sélectionnées ont été comparés aux animaux catalogués par le GEMM depuis 2009. Les meilleures images ont été ajoutées aux catalogues individuels et de nouveaux catalogues ont été créés pour les individus non-répertoriés. Chaque dauphin a été baptisé avec un code correspondant à la zone où il a été identifié pour la première fois et à l'ordre dans lequel il est apparu dans le catalogue (e.g. #TP01 pour « zone de Tiputa », premier dauphin identifié). Les individus présents dans un groupe donné ont été rentrés dans une matrice de type 1:0. Le nombre total d'individus identifiés lors de chaque observation a été précisé ainsi que le nombre de dauphins nouveau-nés, juvéniles, subadultes et adultes. Lorsque le nombre de dauphins photo-identifiés était supérieur au nombre estimé, la valeur d'estimation a été remplacée par la valeur d'identification.

III. LE TRAITEMENT STATISTIQUE

Le logiciel libre *R* version 3.2.4 a été utilisé pour effectuer les analyses statistiques standard. Les analyses d'organisation sociale et les estimations d'abondance ont été effectuées avec la version compilée du programme *SOCPROG 2.6* pour *MATLAB 8.5.0*.

Paramètres démographiques

La taille de la communauté a été estimée pour la période 2015-2016 à partir du jeu de données « complet » utilisé pour l'analyse de l'organisation sociale (cf. § **Le traitement statistique**. Organisation sociale). Cependant, tous les individus observés dans chaque groupe, y compris les animaux disparus, nés lors de la période d'échantillonnage et les animaux observés moins de 14 jours différents sur les saisons 2015-2016 ont été inclus dans l'analyse. Le modèle « mortalité » du module « analyse des populations » de *SOCPROG 2.6*, qui considère une population de taille constante où la mortalité (pouvant inclure l'émigration permanente) est équilibrée par les naissances (pouvant inclure l'immigration) a été utilisé pour effectuer les calculs. La taille de la communauté a été calculée grâce à la méthode d'estimation du maximum de vraisemblance. Un intervalle de confiance à 95% a été déterminé avec un *bootstrap* de 100 répliqués.

Un taux de pertes annuel brut a été calculé pour les années 2009 à 2015 en divisant le nombre d'animaux disparus (émigrations à long-terme, mortalités) par le nombre d'animaux identifiés moins le nombre de naissances enregistrées. Le fait qu'un animal ait été considéré comme disparu suite à une modification de ses marques dorsales est peu probable étant donné le suivi exhaustif des caractéristiques morphologiques de chaque individu (cf. § **Le recueil et l'archivage des données**. Identification, sexage et assignation des dauphins à des classes d'âge). Les dauphins observés de manière très occasionnelle (une fois à deux fois sur la période 2009 à 2015) ainsi qu'un jeune dauphin d'Électre intégré à la communauté n'ont pas été pris en compte dans les calculs. Un animal adulte ou subadulte a été considéré comme « disparu » s'il n'a pas été observé pendant au moins deux années consécutives. Un animal juvénile, dépendant de sa mère, a été considéré comme disparu s'il n'a pas été observé sur une saison au moins.

Le nombre de naissances annuelles a été obtenu pour la période 2010-2016 en comptant les nouveau-nés observés lors de chaque saison de collecte. Ce nombre est sous-estimé car il ne tient pas compte des nouveau-nés morts avant d'avoir pu être identifiés.

Un taux annuel brut de naissances a été calculé en divisant le nombre de nouveau-nés documentés par le nombre d'individus identifiés sur la zone de Tiputa. Ces nouveau-nés ont été observés de manière directe ou indirecte (témoignages photos ou vidéos). Ce taux est, une fois encore, sous-estimé.

Un taux annuel brut de recrutement a été calculé en divisant le nombre de petits ayant survécu jusqu'à l'âge d'un an au moins par le nombre total d'individus moins le nombre de naissances enregistrées.

Le sex-ratio a été calculé pour chaque classe d'âge en divisant le nombre de mâles par le nombre de femelles.

Des informations concernant la reproduction ont été collectées de manière opportuniste entre 2009 et 2016. Les femelles gestantes ont été identifiées grâce à leur abdomen, particulièrement arrondi à partir du neuvième mois de gestation (*cf. annexe 4.A.*).

Le comportement démonstratif des grands dauphins dans la passe de Tiputa a permis une détection précoce des nouveau-nés. Les petits viennent en effet surfer et sauter dans les vagues du mascaret quelques heures à quelques jours après la mise-bas (*cf. annexe 4.B.*). Certaines mères accompagnées de leur petit âgé de quelques jours tolèrent par ailleurs la présence rapprochée de plongeurs sous-marins (*cf. annexe 4.C.*). Les couples mère-petit ont été identifiés après trois observations minimum du jeune accompagné de la même femelle mature. Des comportements alloparentaux ont en effet été notés au sein de la communauté et plusieurs femelles, juvéniles ou subadultes, ont été observées de manière temporaire avec des nouveau-nés. L'identité de la mère a également été confirmée grâce à l'observation de ses glandes mammaires, gonflées lors de la période d'allaitement (*cf. annexe 4.D.*).

Un taux annuel de fécondité (nombre de jeunes femelles produites par des femelles matures) a pu être calculé en divisant le nombre de jeunes femelles ayant survécu jusqu'à l'âge d'un an au moins par le nombre de femelles matures identifiées. [Fruet et al. \(2015\)](#) ont utilisé ce taux afin de mesurer la capacité reproductive potentielle des dauphins d'une communauté étudiée au Brésil.

Le taux de fidélité (ou de résidence) des grands dauphins à la zone d'étude a été calculé en divisant le nombre de jours où un dauphin a été observé par le nombre total de jours où des observations de dauphins ont été effectuées. Ce calcul a été fait à l'échelle d'un mois, d'une saison et pour les deux saisons de collecte. Seules les observations effectuées depuis la terre et depuis la surface ont été utilisées. Les observations effectuées en plongée impliquent en effet un biais dû à la visibilité limitée.

Trois degrés de fidélité ont été déterminés :

- **Résident** (taux de fidélité $\geq 0,60$)
- **Semi-résident** (taux de fidélité compris entre 0,20 et 0,59)
- **Occasionnel** (taux de fidélité $\leq 0,19$)

Des données collectées de manière opportuniste entre 2009 et 2016 et des témoignages photographiques indirects nous ont permis d'avoir une idée parcellaire de l'étendue du domaine vital et des mouvements de certains individus capturés au-delà de la zone de Tiputa.

Organisation sociale

Afin d'éviter la pseudo-réplication d'une partie des données, un groupe observé plusieurs fois lors d'une sortie n'a été pris en compte qu'une seule fois dans les calculs. En outre, seuls les groupes où 100% des individus ont été identifiés ont été utilisés. Les morts suspectées pendant la période de collecte (une femelle adulte et deux juvéniles âgés de moins de deux ans) ainsi qu'une jeune femelle née en avril 2016 n'ont pas été pris en compte dans les analyses contrairement au jeune dauphin d'Électre, considéré comme un membre à part entière de la communauté.

Les analyses ont été effectuées en deux étapes et les résultats obtenus ont été comparés :

1. Analyse d'un jeu de données « complet », où les groupes observés depuis la terre, la surface et en plongée ont été inclus afin d'effectuer les calculs sur un maximum de groupes répondant aux critères ci-dessus. Seuls les individus observés ≥ 14 jours différents sur la période 2015-2016 ont été conservés dans ce jeu de données.
2. Analyse d'un jeu de données « plongée » où seuls les groupes observés en plongée sous-marine et répondant aux critères définis ci-dessus ont été inclus. L'intérêt de cette analyse tient au fait que la définition du terme « groupe » y est plus restrictive (cf. **glossaire**). Les dauphins observés ≥ 2 jours différents ont été conservés dans ce jeu de données afin que l'analyse soit effectuée sur les mêmes individus que ceux présents dans le jeu complet.

Un protocole similaire a été suivi pour les deux jeux de données :

1. Le jeu, présenté en mode « groupe », a été chargé dans SOCPROG 2.6 complété par une table d'attributs précisant le sexe et la classe d'âge des individus conservés.
2. Des périodes d'échantillonnages d'une journée ont été définies afin de garantir l'indépendance des associations observées.
3. Un indice d'association a été calculé pour chacune des dyades. Cet indice estime la proportion de temps passé entre deux individus et indique la force de la relation entre ces animaux. Bien que la plupart des études menées sur l'organisation sociale des delphinidés aient utilisé le « *half-weight index* », le « *simple ratio index* » (SRI) a été retenu dans le cadre de ce travail : il est en effet plus robuste et les quatre pré-supposés requis pour l'utilisation de cet indice ont été respectés dans nos jeux de données (associations symétriques sur chaque période d'échantillonnage, associations enregistrées de manière précise, identification de tous les individus présents lors d'une période d'échantillonnage et probabilité similaire d'identifier les membres d'une dyade, même lorsqu'ils ne sont pas associés). La valeur de cet indice se situe entre 0 (les individus ne sont jamais observés ensemble) et 1 (les individus sont systématiquement observés ensemble). Les valeurs élevées (proches de 1) indiquent des individus fréquemment associés et les valeurs faibles (proches de 0) des individus rarement associés.

4. Un test de permutation a été mis en œuvre afin de déterminer si les schémas associatifs observés diffèrent significativement de schémas aléatoires. Ce type de test permet de valider les analyses effectuées à partir des indices d'association et crédibilise les représentations graphiques issues des jeux de données. H0 stipule que les individus s'associent de manière aléatoire (chaque individu a une probabilité équivalente de s'associer avec tous les autres membres de la communauté) tandis que, selon H1, il existe des associations préférentielles au sein de la communauté. La méthode, adaptée par [Bejder et al., \(1998\)](#), observe des valeurs statistiques du jeu de données réel et les compare aux valeurs issues de jeux générés aléatoirement par un ordinateur. Les caractéristiques importantes du jeu réel telles que la taille des groupes et la fréquence des observations sont maintenues dans les jeux permutés. La valeur du coefficient de variation (CV) calculée sur les différents jeux de données a été retenue pour comparer le jeu réel et les jeux-tests. Si H0 est vraie, le CV réel doit être similaire à celui des jeux tests. Les jeux utilisés ne sont pas indépendants car les jeux permutés sont construits à partir du jeu réel. Le seuil de significativité (*p-value*) basé sur 20 000 permutations et 1 000 *flips* par permutation est cependant digne de confiance ([Bejder et al., 1998](#)).

Nous avons choisi d'utiliser le test de permutation des associations au sein des périodes d'échantillonnage car il est plus robuste et prend en compte la différence de grégarité entre les individus. Ce test permet uniquement de détecter la constance des relations entre intervalles d'échantillonnage. Il a été effectué à partir des matrices des SRI. L'indice moyen des jeux permutés doit être quasi-égal à celui du jeu réel. Si des individus s'associent préférentiellement avec d'autres individus sur plusieurs périodes d'échantillonnage, le CV des indices d'association doit être plus grand dans le jeu de données réel que dans les jeux aléatoires. Le test a été réitéré en augmentant le nombre de permutations (1 000, 2 000, 4 000, 10 000 et 20 000) jusqu'à une stabilisation du seuil de significativité. Ce test a également permis de repérer les dyades ayant un SRI statistiquement significatif en y intégrant un test de permutation dyadique avec 40 000 permutations et 1 000 *flips* par permutation.

5. Un test destiné à souligner une différence significative de grégarité (*gregariousness*) entre membres de la communauté a ensuite été mené. Ce dernier permet de savoir si certains dauphins ont tendance à être observés dans des groupes de taille plus importante que d'autres et consiste à compter le nombre moyen d'associés de chaque individu. H0 stipule que tous les dauphins de la communauté ont une grégarité similaire tandis que, selon H1, la grégarité varie en fonction des individus. La technique de permutation des groupes au sein des périodes d'échantillonnage, inspirée des tests de permutation développés par [Manly \(1995\)](#) et reprise par [Bejder et al. \(1998\)](#), a été utilisée avec 20 000 permutations et 1 000 *flips* par permutation.

6. Une sociomatrice symétrique a été créée à partir des SRI calculés. Une correction liée à la grégarité des individus a été apportée lorsque H1 a été retenue (*cf.* étape précédente, [Godde et al., 2013](#)). Dans ce dernier cas, les valeurs du SRI supérieures à 1 jouent en faveur de l'existence d'associations préférentielles. L'erreur standard de chaque indice a été calculée avec un *bootstrap* de 1 000 répliqués.

7. La différentiation sociale (coefficient de variation des véritables indices d'association, notée S) a été estimée. S donne une mesure de la variabilité des indices d'association au sein de la communauté. Lorsqu'elle est proche ou > 1 , la société est bien différenciée ; au-delà de 2, on note une différenciation extrême. À partir de S , il est possible de calculer le coefficient de corrélation entre les véritables indices d'association et leurs valeurs estimées, noté r . La valeur de r , obtenue à partir d'un *bootstrap* de 100 réplicats, indique le niveau de puissance avec lequel l'analyse peut détecter le véritable système social du jeu de données. Lorsque $r \geq 0,4$, on considère que le schéma issu de notre jeu de données est représentatif.

8. La modularité (notée Q , Newman, 2004) a ensuite été calculée en contrôlant la grégarité des individus (*modularity-G*). Il s'agit de la différence entre la proportion des associations mesurée au sein d'une classe et la proportion attendue si les indices d'association étaient distribués de manière aléatoire. Q indique le degré de fiabilité avec lequel une population peut être divisée en plusieurs unités sociales. Sa valeur est égale à 0 lorsque les classes sont assignées de manière aléatoire ; elle est égale à 1 lorsqu'il n'existe aucune association entre les membres de classes différentes. Newman considère que lorsque $Q \geq 0,3$, la division en classes est « bonne ».

9. La matrice des SRI a été représentée sous la forme d'un diagramme en réseau avec arrangement en coordonnées principales. Les individus sont illustrés par des rectangles dans un espace à deux dimensions ; les liens entre dauphins sont représentés par la distance qui les sépare ainsi que par des lignes plus ou moins épaisses en fonction de la force des relations qui les unissent. Afin de faciliter la lecture du sociogramme, les liens entre dyades dont le SRI est $< 0,20$ ($< 1,0$ dans le cas de la matrice bénéficiant d'une correction liée à la grégarité des individus) ne sont pas représentés. Dans le cas de petites communautés ou populations, le sociogramme est une excellente manière d'illustrer un jeu de données (Whitehead, 2008). Cependant, les membres des dyades au SRI élevé se chevauchent, compliquant une lecture détaillée du diagramme.

Des mesures statistiques apportant des informations sur les propriétés du sociogramme (caractéristiques de chaque individu au sein du réseau social) ont été parallèlement calculées (Croft *et al.*, 2008). Ces mesures comprennent 1. le nombre de liens que chaque individu entretient avec d'autres individus (*strength* ou *degree* noté k_i). Plus la valeur est élevée, plus les relations sont nombreuses ; 2. l'importance de la position d'un individu dans la structure du réseau social (*eigenvector centrality*). Une valeur élevée indique un individu ayant beaucoup d'association avec d'autres individus ayant de nombreuses associations (position centrale) ; 3. une mesure de connexion indirecte entre individus (*reach*), concept très utile pour l'étude des sociétés où l'on observe une « contagion comportementale » (le comportement de A envers B peut influencer celui de B envers C) ; 4. une mesure de la façon dont les associés d'un individu sont eux-mêmes associés (*clustering coefficient* noté C) ; 5. une mesure du k_i des associés de chaque individu (*affinity*). Une valeur élevée signifie que l'individu entretient de nombreuses relations avec des individus au k_i élevé.

10. Une classification ascendante hiérarchique a permis de représenter la communauté sous la forme d'un dendrogramme afin de comparer sa structure à celle du diagramme en réseau ; cela permet également d'offrir une vision plus détaillée des relations entre individus membres d'une dyade au SRI élevé. L'arbre

indique les niveaux d'association entre des classes d'individus structurées de manière hiérarchique et permet de distinguer différents « groupes » et « sous-groupes » (ou unités sociales) au sein de la communauté. La technique d'agglomération « *average linkage* », considérée comme étant la plus fiable (Whitehead & Dufault, 1999), a été utilisée pour calculer les distances entre individus. La communauté a été divisée en classes en utilisant la modularité max. avec contrôle de la grégarité. Le coefficient de corrélation cophénétique (CCC) a ensuite permis de mesurer la validité du dendrogramme en estimant la corrélation entre la distance mesurée entre chaque paire d'individus et leur niveau de jointure sur le dendrogramme. Un CCC > 0,8 indique une bonne représentation (Bridge, 1993 in Whitehead, 2008).

11. Pour chaque division en classes par modularité, un test de Mantel avec 1 000 permutations a été mis en œuvre afin de déterminer si les indices d'associations intra- et interclasses sont significativement différents les uns des autres. H₀ stipule l'absence de différence. Ce test de permutation calcule un coefficient de corrélation matriciel noté r . Si $r > 0$, les indices intraclasses sont plus élevés que les indices interclasses. Un test similaire a été utilisé afin de déterminer l'existence d'une différence significative entre les indices d'association intra- et intersexes.

12. Le *Lagged Association Rate* (LAR), noté $g(\tau)$, mesure le schéma temporel des relations sociales à l'échelle de la communauté ou de la population étudiée. Nous l'avons utilisé afin d'estimer la probabilité que deux individus associés lors d'une période d'échantillonnage donnée soient toujours associés plusieurs intervalles de temps après. $g(\tau) = 1$ si une paire est toujours associée et proche de 0 s'il n'existe pas d'associations sur le long-terme. Sa représentation graphique décrit la manière dont les relations évoluent au fil des périodes d'échantillonnage. Une mesure de précision du LAR a été estimée grâce à la technique du *jackknife* sur des périodes de 30 jours. Le *jackknife* consiste à omettre des périodes d'échantillonnage à tour de rôle et à comparer des valeurs statistiques calculées sur chacun des jeux de données. Les résultats sont représentés graphiquement sous la forme de barres d'erreurs.

Le *Null Association Rate* (NAR) est la valeur attendue du LAR s'il n'existe pas d'associations préférentielles sur plusieurs intervalles de temps. Cette valeur est généralement plus faible ou égale à $g(\tau)$.

Lorsque le LAR est égal au NAR, il n'existe pas d'associations préférentielles sur les intervalles de temps considérés. Le NAR a été superposé au LAR sur la représentation graphique.