

PROJET DE  
CARRIERE  
Ravine du Trou

Commune de  
Saint Leu (974)



Dossier de Demande  
d'Autorisation  
d'Exploiter

**TOME 2 :**  
**COMPLEMENT A**  
**L'ETUDE D'IMPACT**

## CONTEXTE

Le présent document est réalisé afin de compléter le *Tome 2 : Etude d'Impact - chapitre 7.7 Patrimoine Naturel* en apportant des précisions quant aux mesures mises en place pour les espèces marines ainsi que sur les mesures d'accompagnement pour la faune terrestre.

Il est constitué essentiellement de deux pièces spécifiques élaborées par le bureau d'étude Biotope :

- La pièce A – « Note complémentaire concernant l'acoustique sous-marine et les cétacés dans le cadre du dossier règlementaire DDAE », vient compléter et renforcer le chapitre 7.7.6 de l'Etude d'Impact. Elle définit un périmètre de surveillance visuelle et acoustique correspondant à la mesure d'évitement relative aux mammifères marins. Elle précise également les modalités d'évaluation acoustique des tirs ainsi que les différentes mesures d'évitement mise en en faveur des cétacés et les modalités de suivi par monitoring.
- La pièce B – « Description des mesures d'accompagnement du projet de carrière de la ravine du Trou (St Leu) pour le suivi de la faune terrestre» vient compléter et renforcer chapitre 7.7.4 de l'Etude d'Impact. Elle présente sous forme d'une note méthodologique, l'organisation et les moyens de suivi des chiroptères et de l'avifaune marine sur le site avant et pendant toute l'exploitation et notamment le comportement de ces espèces vis-à-vis du bruit et des vibrations. Cette pièce vient alors en complément de *l'annexe 3 pièce 2 « suivi des chiroptères »* du Dossier de Demande d'Autorisation.

# I. Pièce A - Note complémentaire concernant l'acoustique sous-marine et les cétacés dans le cadre du dossier réglementaire DDAE

---



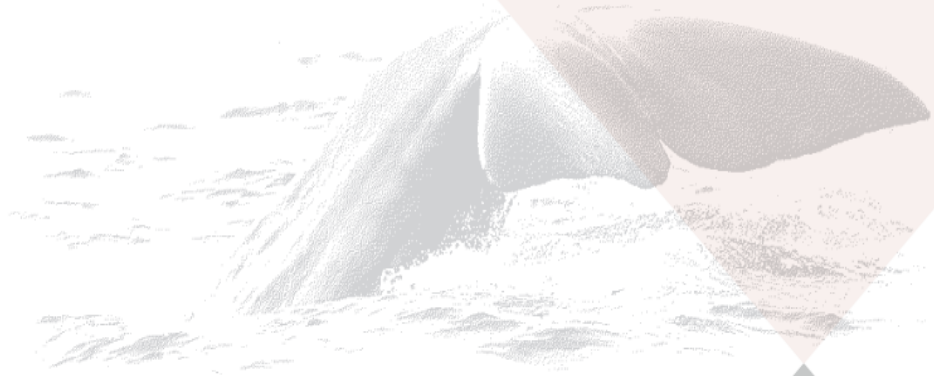
# PROJET DE CARRIERE DE BOIS BLANC (SAINT-LEU)

## NOTE COMPLEMENTAIRE CONCERNANT L'ACOUSTIQUE SOUS- MARINE ET LES CETACES DANS LE CADRE DU DOSSIER REGLEMENTAIRE DDAE

SCPR

Juin 2016

collection des études



## PROJET DE CARRIERE DE BOIS BLANC (SAINT-LEU)

### NOTE COMPLEMENTAIRE CONCERNANT L'ACOUSTIQUE SOUS- MARINE ET LES CETACES DANS LE CADRE DU DOSSIER REGLEMENTAIRE DDAE

SCPR

---

Juin 2016

Responsable Projet  
Jean Sébastien  
PHILIPPE

Tel. : 02 62 46 67 75  
jsphilippe@biotope.fr





# SOMMAIRE

|          |  |    |
|----------|--|----|
| I.       | CONTEXTE   | 5  |
| II.      | DEFINITION DE LA ZONE D'INFLUENCE THEORIQUE ET SUPPOSEE DES TIRS DE MINE POUR LA CARRIERE DE KOUNGOU (MAYOTTE) | 7  |
| II.1.    | CONTEXTE ET OBJECTIFS  | 7  |
| II.1.1.  | Contexte   | 7  |
| II.1.2.  | Objectifs  | 7  |
| II.2.    | RAPPEL : DESCRIPTION DES TIRS  | 7  |
| II.3.    | METHODE ET OUTILS  | 9  |
| II.3.1.  | Synoptique de la méthode mise en œuvre   | 9  |
| II.3.2.  | Données sismographiques  | 10 |
| II.3.3.  | Données altimétriques et bathymétriques  | 11 |
| II.3.4.  | Profil de célérité dans l'eau  | 11 |
| II.3.5.  | Données géologiques  | 11 |
| II.3.6.  | Données acoustiques sous-marines mesurées  | 12 |
| II.3.7.  | Modélisation acoustique  | 13 |
| II.3.8.  | Calibration du modèle acoustique   | 14 |
| II.4.    | RESULTATS  | 15 |
| II.4.1.  | Génération des ondes acoustiques   | 15 |
| II.4.2.  | Analyse de la propagation au droit de la carrière de Koungou à Mayotte   | 15 |
| II.4.3.  | Niveaux d'exposition sonore au droit de la carrière de Koungou à Mayotte                                       | 17 |
| III.     | DEFINITION DE LA MESURE D'EVITEMENT DES CETACES  | 20 |
| III.1.   | PREAMBULE  | 20 |
| III.2.   | DEFINITION DE LA MESURE D'EVITEMENT DES CETACES LORS DE L'EXPLOITATION   | 21 |
| III.2.1. | Évaluation acoustique réelle in situ d'une opération de minage   | 22 |
| III.2.2. | Définition d'un plan de gestion des risques  | 24 |
| III.2.3. | Mesures d'évitement en faveur des cétacés  | 25 |

## I. CONTEXTE

Dans le cadre du projet de site d'emprunt de Bois blanc (commune de St Leu) qui répond à la construction de la Nouvelle route du Littoral, la problématique des émissions sonores dans la colonne d'eau a été soulevée lors des procédures réglementaires. Pour rappel, les états sonores liés au chantier susceptibles d'induire un risque sur les mammifères marins sont les bruits d'émission de l'activité de minage terrestre.

Dans ce sens, pour répondre à cette problématique, SCPR a donc souhaité engager une expertise acoustique sous-marine, permettant d'évaluer le niveau sonore d'une opération de minage. Cet exercice a été réalisé en 2015 à Mayotte, au niveau de la carrière de Koungou qui présentait des similarités avec l'activité prévue sur le site de Bois Blanc (Biotope / Quiet Oceans, 2015). Cette évaluation a donc été faite dans le lagon de Mayotte au droit d'une carrière d'exploitation de roches massives. Elle a permis d'évaluer le niveau sonore sous-marin d'un son impulsif issu d'un tir de mine, mettre en évidence des niveaux sonores significatifs, indiquant un risque potentiel vis-à-vis des cétacés. Ce risque est pressenti pour avoir un impact comportemental. Bien qu'inférieurs aux seuils acoustiques de références (Federal Environmental Agency Umweltbundesamt, UBA ; Projet NRL), ces résultats s'inscrivent dans les seuils de modification du comportement ( $145 < S < 164$  SEL dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ ). Le SEL mesuré a été au maximum de 156.1 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  à 300m de la côte. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques principales du son impulsionnel enregistré à Mayotte.

| SEL (Sound Exposure Level)                            | SPL                                       | Étalement du signal | Durée du pic impulsionnel | Fréquence d'excitation max |
|---|---|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Entre 154.5 et 156.1 dB ref $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ | Entre 165.9 et 167 dB ref $1\mu\text{Pa}$ | Environ 8s          | Entre 0.85s et 1.1 s      | Entre 22 et 31Hz           |

*(Charge et nombre d'explosif définis / Hydrophone situé à environ 800m du tir et 300m de la côte / Profondeur < 15m)*

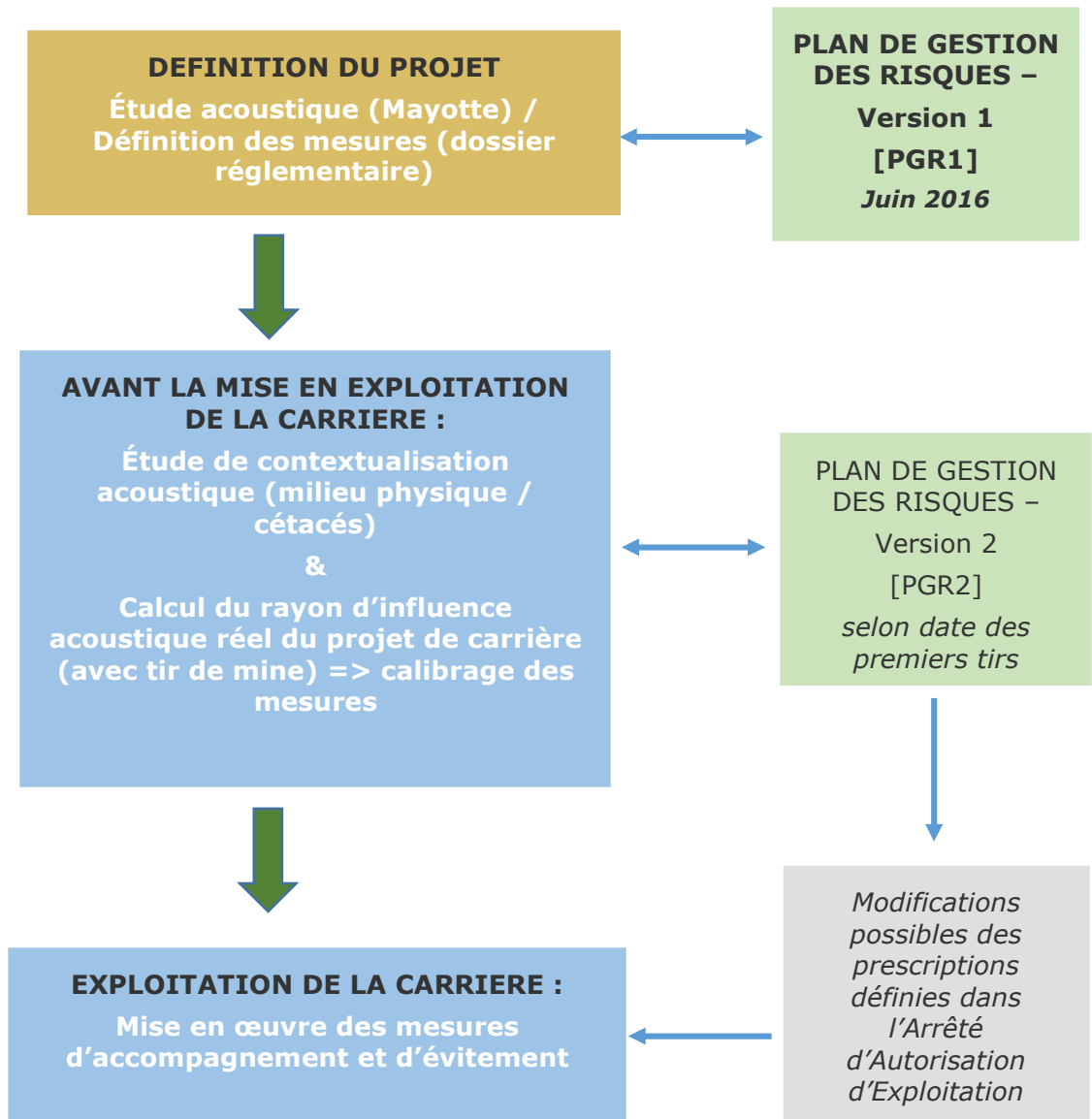
Suivant cette logique et au vu de ces résultats, il a été demandé d'approfondir ce sujet, en apportant notamment des réponses sur certains points importants pour l'exploitation de la carrière en lien avec les cétacés, à savoir :

- La définition théorique d'un rayon d'influence acoustique de la carrière (exploitation) pour les cétacés,
- La définition des moyens mis en œuvre pour l'étude des effets acoustique des tirs de mines sur le milieu et les espèces marines protégées,
- La définition des mesures prévues pour éviter, réduire et accompagner les effets de la carrière sur les espèces marines protégées.

Cette note vise donc à répondre à ces différents points.



Le présent logigramme présente la succession des différentes étapes expliquant les niveaux et la logique d'intervention.



## **II. DEFINITION DE LA ZONE D'INFLUENCE THEORIQUE ET SUPPOSEE DES TIRS DE MINE POUR LA CARRIERE DE KOUNGOU (MAYOTTE)**

*Annexe 1 – Lexique des termes employés pour cette modélisation*

### **II.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS**

#### **II.1.1. CONTEXTE**

Dans le cadre du projet pour l'extraction de matériaux de la carrière de Bois blanc (St Leu), des études complémentaires sont demandées pour évaluer les potentielles incidences sonores sous-marines des opérations de minage effectuées à terre à proximité du littoral. La société SCPR, en charge de son exploitation, a donc engagé des études acoustiques complémentaires de façon à évaluer les niveaux sonores produits sous l'eau lors de tirs de mine pour l'exploitation de la carrière. Une 1<sup>ère</sup> évaluation a donc été menée au niveau de la carrière de Kougou à Mayotte, permettant de disposer de résultats préliminaires sur la base de mesures des bruits et vibrations enregistrés et analysés en novembre 2015 (Biotope & Quiet Oceans, 2015). Bien que ces tirs ne soient pas directement transposables au cas du projet de carrière de Saint-Leu (La Réunion), il en ressort des premiers éléments d'information permettant d'appréhender les niveaux sonores possibles pour cette carrière.

#### **II.1.2. OBJECTIFS**

De façon à mieux appréhender l'influence d'un tel projet sur les cétacés, il a été demandé de réaliser la modélisation des niveaux de bruits dans la colonne d'eau engendrés par les deux tirs de minage effectués dans la carrière de Kougou (Mayotte).

Cette évaluation se base donc sur un contexte spécifique propre au site d'étude : la carrière et baie de Kougou à Mayotte. Cette évaluation du rayon d'influence permet d'apporter une information supplémentaire, mais cela reste différent du contexte du projet de carrière de Bois blanc car les paramètres sont différents : profondeur, substrat, morphologie du site, paramètres environnementaux différents...

### **II.2. RAPPEL : DESCRIPTION DES TIRS**

Pour rappel, l'évaluation acoustique porte donc sur 2 tirs de minage effectués dans la carrière de Kougou (Figure 1). Un premier tir a été réalisé le 16/11/2015 vers 09:15:00

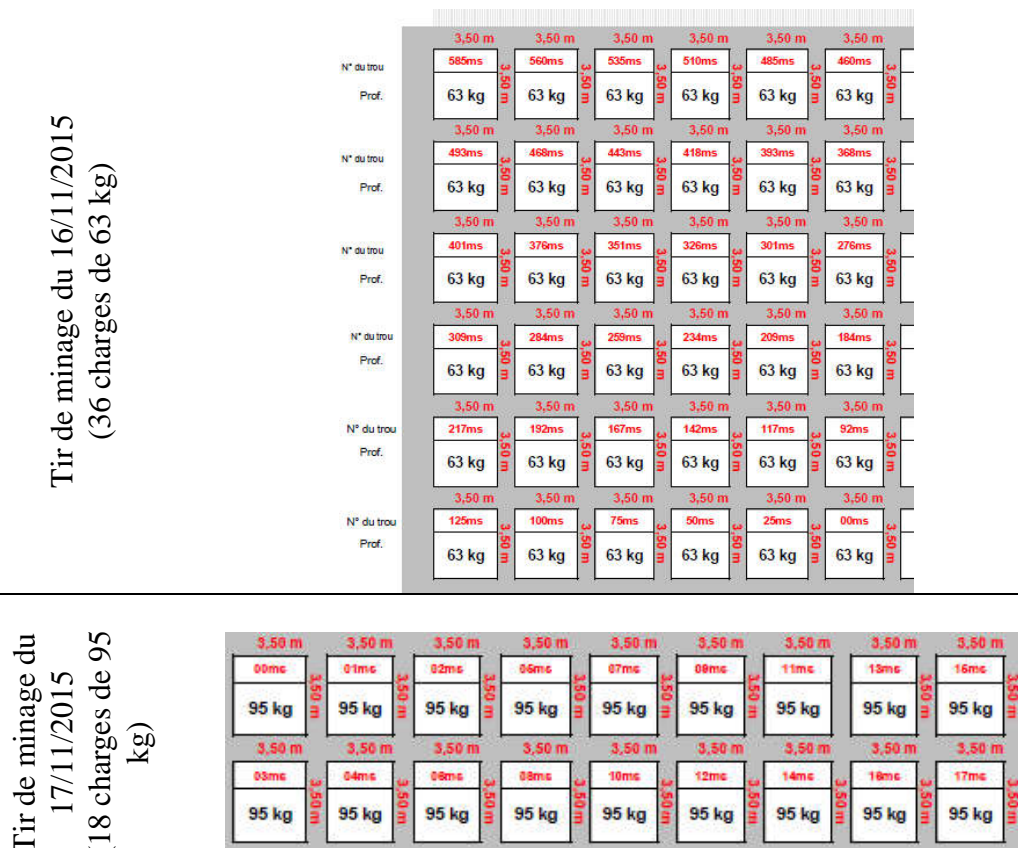
UTC et le second tir le 17/11/2015 vers 09:16:00 UTC. Chaque tir possède des caractéristiques techniques différentes :

- Le tir de minage du 16/11/2015 a été effectué avec un ensemble de 36 charges explosives de masse unitaire 63kg (soit une masse totale de 2268 kg). Chaque charge est espacée de 3,5m. Un micro-délai de 25ms est appliqué entre chaque charge soit au total une différence de 585ms entre la 1ère et la dernière explosion (Figure 2) ;
- Le tir de minage du 17/11/2015 a été effectué avec une ensemble de 18 charges de masse unitaire 95kg (soit une masse totale de 1710 kg) et le micro-délai est de 1ms entre de deux charges successives (Figure 2).

Pendant chaque tir, un sismographe a été placé à quelques dizaines de mètres du tir afin de contrôler l'intensité du tir et la datation.



Figure 1 : configuration de la carrière de Koungou et emplacements de chaque tir de minage. Emplacements de sismographe (source ETPC)



géoacoustiques (densité, vitesse de compression et atténuation des ondes sonores de compression) ;

- Les données acoustiques mesurées [4],[5] en un point fixe (distance et immersion) permet de comparer les résultats des modélisations et d'affiner les paramètres du modèle (niveau de source de bruit équivalent, atténuation dans les sols), afin de disposer d'un modèle calibré ;
- La dernière étape consiste à effectuer les modélisations complètes sur la longueur du transect complet et pour toutes les fréquences pertinentes.

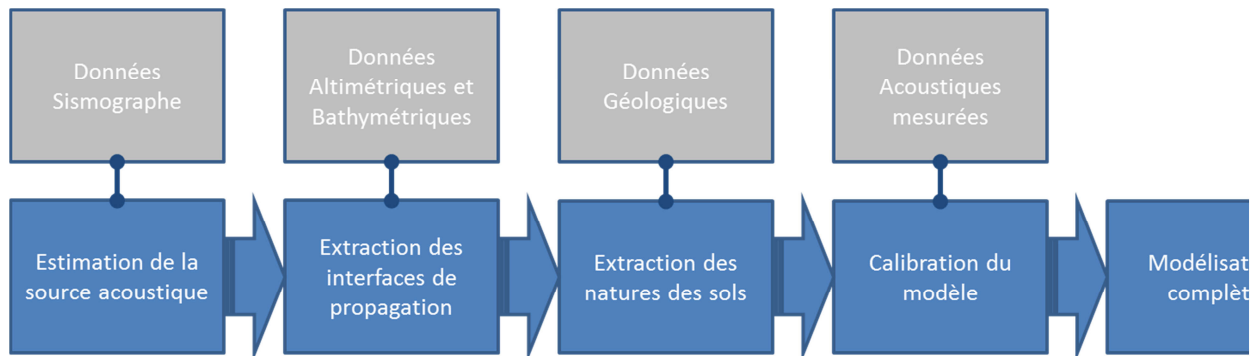


Figure 3 : Synoptique de la méthodologie mise en œuvre

### II.3.2. DONNEES SISMOGRAPHIQUES

Pendant chaque tir, un sismographe est placé par ETPC à quelques dizaines de mètres du tir afin de contrôler l'intensité du tir et la datation (Figure 1). Ces signaux ont permis d'estimer les niveaux de source acoustique équivalente en fonction de la fréquence qui sont utilisés dans les modélisations des deux tirs (Figure 4).

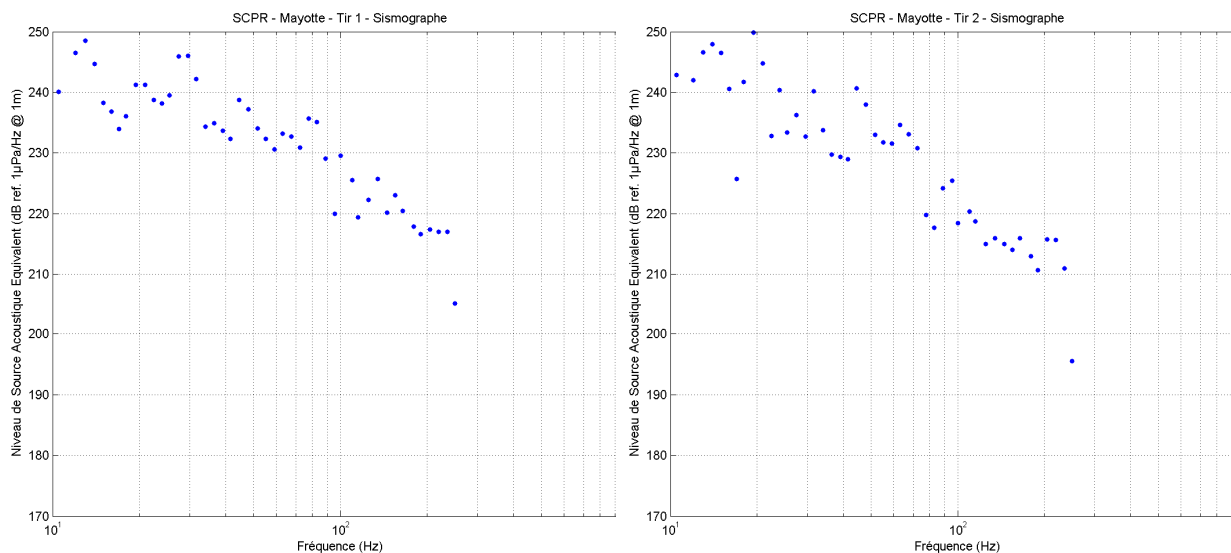
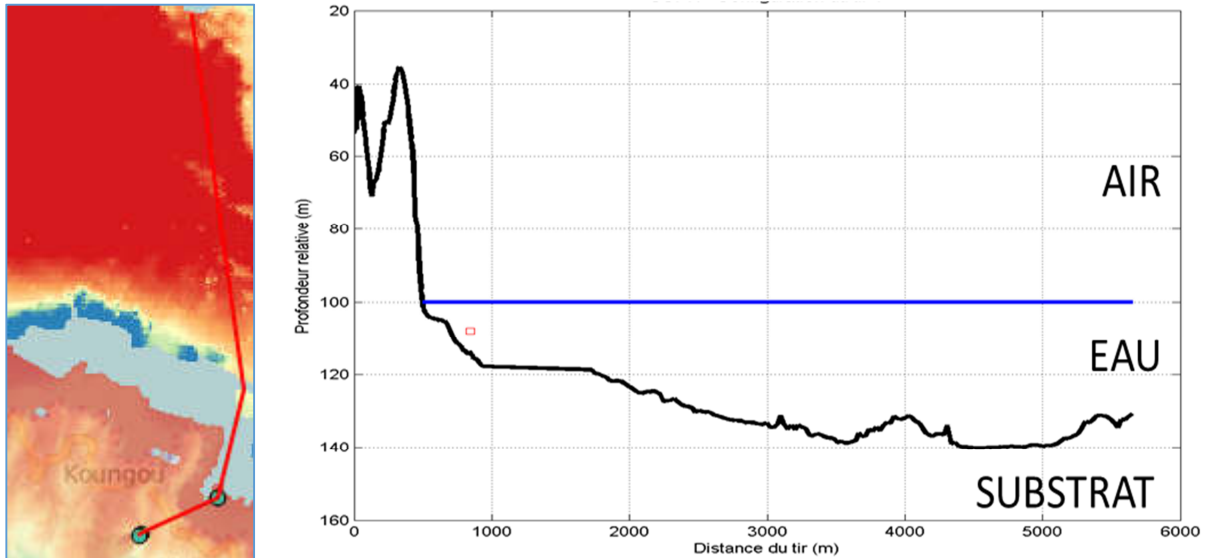


Figure 4 : Spectre de source acoustique équivalente dérivé des données de pression mesurées par le sismographe lors du premier (gauche) et du deuxième (droite) tir.

### II.3.3. DONNEES ALTIMETRIQUES ET BATHYMETRIQUES

Les données altimétriques et bathymétriques ont été acquises auprès du SHOM. Une extraction est réalisée pour chaque tir à partir de l'emplacement du tir jusqu'à l'emplacement de l'hydrophone (carré rouge sur la Figure 5 droite), puis selon un axe au nord afin de décrire un environnement de propagation représentatif de la baie (Figure 5). Cette extraction prend en compte le marnage à la date et heure des tirs des 16 et 17 novembre 2015 dont les données sont aussi fournies par le SHOM.



### II.3.4. PROFIL DE CELERITE DANS L'EAU

Les mesures de température dans l'eau effectuées lors des tirs des 16 et 17 novembre ont montré une grande homogénéité de la température en fonction de la profondeur et une variation négligeable entre les deux jours. Aussi, le profil de célérité utilisé dans la modélisation correspond à un milieu homogène constant dont la vitesse des ondes sonores est de 1500 m/s.

### II.3.5. DONNEES GEOLOGIQUES

Les informations géologiques sont issues de (Audru, et al., 2006) qui définit le substrat comme basaltique. Le profil des sols est donc modélisé de la façon suivante :

- Une couche de gravier sableux sur une épaisseur de 2m dont les propriétés géoacoustiques sont :
  - o densité de 1800 kg/m<sup>3</sup>,
  - o vitesse de compression des ondes acoustiques de 1800 m/s,
  - o une atténuation des ondes acoustiques de compression de 0.9 dB par longueur d'onde

- Un substrat basaltique dont les propriétés géoacoustiques sont :
  - o densité de 2700 kg/m<sup>3</sup>,
  - o vitesse de compression de 5250 m/s
  - o une atténuation des ondes de compression décroissante de 30 à 1.5 dB par longueur d'onde entre 5 Hz et 25 Hz et de 1.5 dB par longueur d'onde pour les fréquences plus élevées.

### II.3.6. DONNEES ACOUSTIQUES SOUS-MARINES MESUREES

Les données acoustiques mesurées sont issues d'hydrophones autonomes (système Iclisten, S/N SBW1319) déployés par Biotope Océan Indien dans la colonne d'eau le 16/11/2015 et le 17/11/2015 à l'entrée de l'anse de Koungou à la distance voisine de 850 m des ateliers de tir de minage (Figure 6).

Tableau 1: Configuration des mesures acoustiques sous-marines

|                               | Tir de minage       | Hydrophone SBW1319 | Tir de minage       | Hydrophone SBW1319 |
|-------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Date</b>                   | 16.11.2016          | 16.11.2016         | 17.11.2016          | 17.11.2016         |
| <b>Latitude</b>               | 012°44'28.60''S     | 012°44'16.560"S    | 012°44'28.13''S     | 012°44'16.560"S    |
| <b>longitude</b>              | 045°12'29.02''E     | 045°12'54.060"E    | 045°12'29.60''E     | 045°12'54.060"E    |
| <b>Profondeur/surface (m)</b> | 12                  | 8                  | 4                   | 8                  |
| <b>Hauteur d'eau (m)</b>      | NA                  | 11                 | NA                  | 11                 |
| <b>Distance/source (m)</b>    | NA                  | 841                | NA                  | 819                |
| <b>Charge</b>                 | 36 charges de 63 kg |                    | 18 charges de 95 kg |                    |

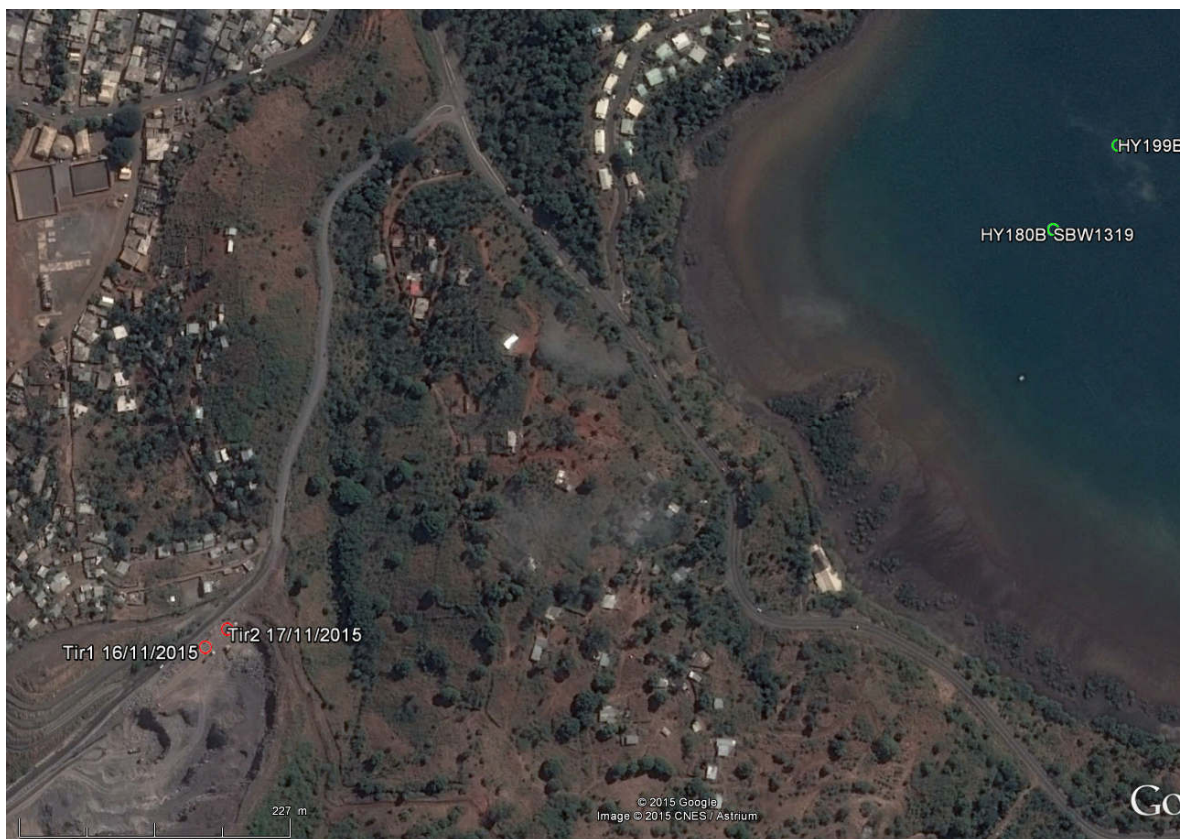


Figure 6 : Configuration expérimentale spécifiant l'implantation des tirs de minages (O) et la localisation des enregistreurs acoustiques (O) dans la colonne d'eau.

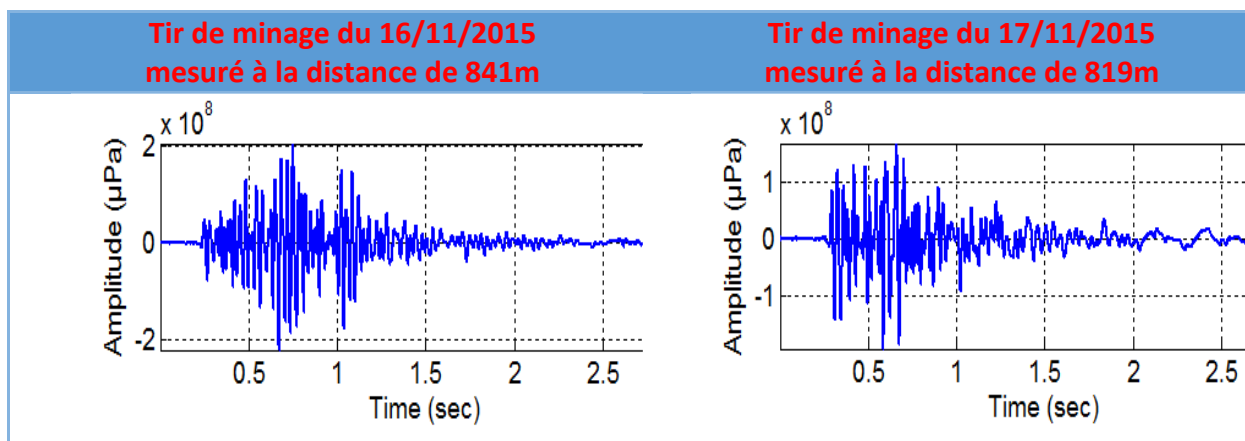


Figure 7 : Signal acoustique mesuré lors des deux tirs de minage.

### II.3.7. MODELISATION ACOUSTIQUE

La modélisation acoustique est réalisée selon la méthode de résolution de l'Equation parabolique de Helmholtz (Jensen, et al., 2000) (Collins, 1991), qui traduit fidèlement la distribution géométrique du bruit dans des milieux hétérogènes, tout en offrant des performances de calcul intéressantes. Les ondes de cisaillement dans le substrat basaltique sont négligées. Les modélisations se font indépendamment fréquence par



fréquence entre 10 et 250 Hz, comme le montre l'illustration du champ sonore obtenu à la fréquence de 100 Hz (Figure 8).

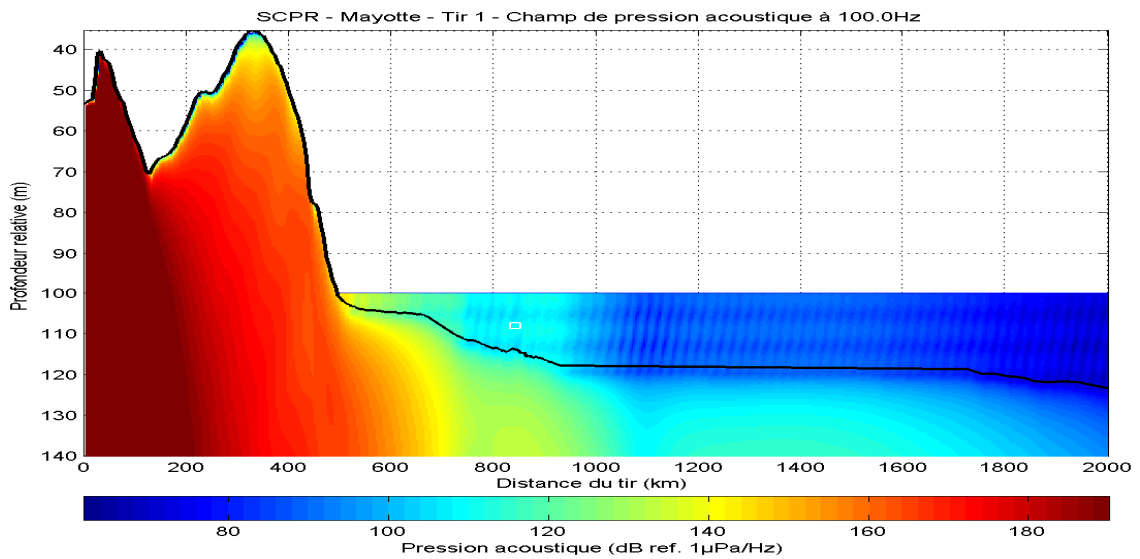


Figure 8 : Modélisation du champ sonore généré par le tir 1 à la fréquence de 100 Hz. La position de l'hydrophone dans la colonne d'eau est matérialisée par le carré blanc (~850m).

### II.3.8. CALIBRATION DU MODELE ACOUSTIQUE

Les résultats des modélisations obtenus à la position des hydrophones pour les deux tirs sont comparées aux données mesurées in-situ. On obtient pour ces deux tirs une très bonne correspondance (Tableau 2). La comparaison des niveaux de bruit large bande, entre 10 et 250 Hz, montrent une erreur résiduelle inférieure à 1 dB.

Tableau 2 : Synthèse de la calibration du modèle par comparaison avec les mesures in-situ.

|  | Tir 1 | Tir 2 |
|--|-------|-------|
| Distance du tir (m)  | 841   | 819   |
| Profondeur de l'hydrophone (m)   | 8     | 8     |
| Exposition sonore mesurée entre 10 et 250Hz (dB réf. 1µPa <sup>2</sup> .s)   | 156,1 | 154,3 |
| Exposition sonore modélisée entre 10 et 250Hz (dB réf. 1µPa <sup>2</sup> .s) | 156,2 | 154,9 |
| Erreur résiduelle (dB)   | 0,1   | 0,6   |

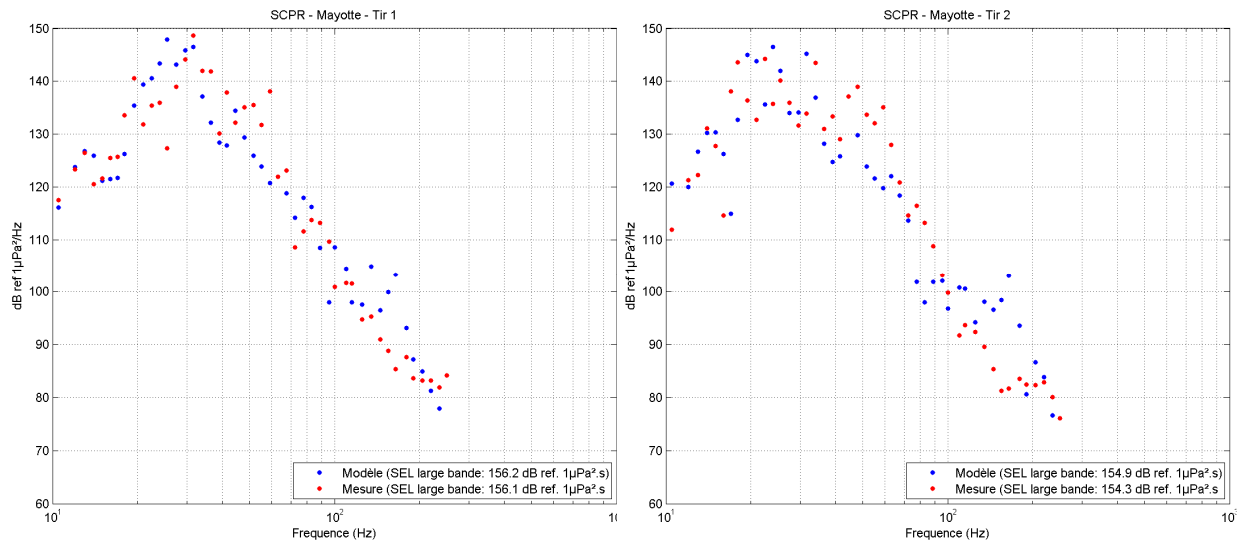


Figure 9 : Comparaison des niveaux de bruit mesurés (rouge) et modélisés à la position et immersion de l'hydrophone (bleu) en fonction de la fréquence entre 10 et 250 Hz. (Tir 1 à gauche, tir 2 à droite).

## II.4. RESULTATS

Les résultats des modélisations sont présentés dans ce chapitre, de façon spatiale (en fonction de la distance au tir et de la profondeur dans la colonne d'eau) afin de fournir des éléments d'analyse des risques.

**Pour rappel, ces résultats sont très dépendants du contexte environnemental du site de Koungou.**

### II.4.1. GENERATION DES ONDES ACOUSTIQUES

La génération des ondes acoustiques est liée à la déflagration des explosifs. L'usage de micro-retards permet de limiter l'amplitude de l'onde de choc générée et ainsi de contenir les niveaux de pression pic-pic à ceux d'une charge unique. En revanche, le cumul des charges augmente l'énergie introduite dans le sol. L'onde générée est limitée à des fréquences inférieures à 250Hz comme le démontre les mesures des sismographes (Figure 4).

### II.4.2. ANALYSE DE LA PROPAGATION AU DROIT DE LA CARRIERE DE KOUNGOU A MAYOTTE

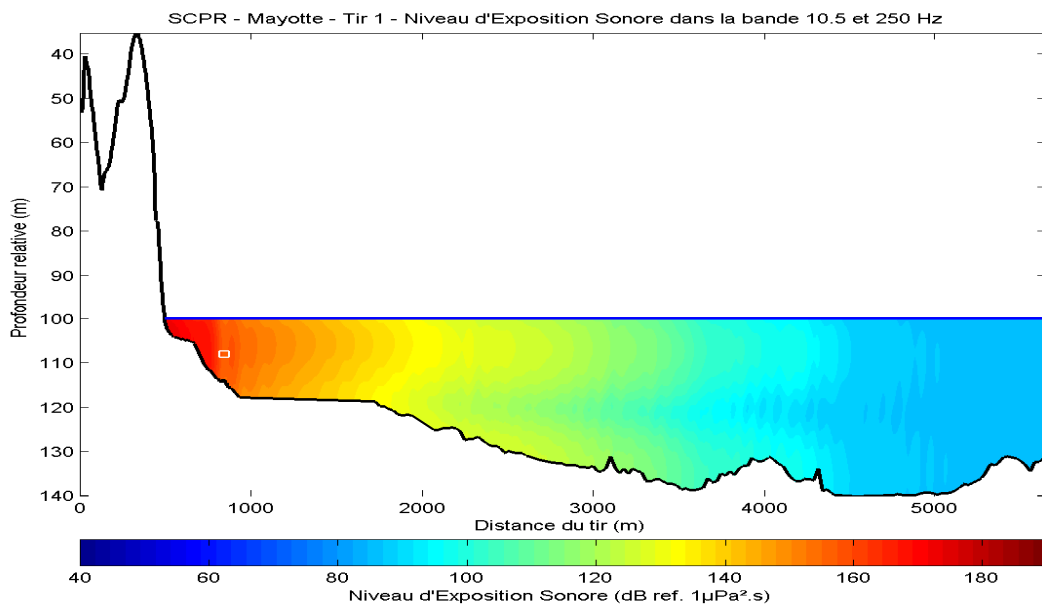
La propagation des ondes acoustiques de compression est particulièrement influencée par la particularité de la topographie au voisinage des tirs. En effet, le renforcement situé à une centaine de mètres des tirs réfracte l'énergie acoustique vers le fond et permet de limiter les niveaux introduits dans la colonne d'eau.

Les ondes sonores diffusent dans la colonne d'eau principalement par l'interface sol-eau située au-delà du trait de côte sur une distance qui dépend grandement de la pente bathymétrique et de la fréquence des ondes acoustiques. Dans le cas de la fréquence de 100Hz (Figure 8), ce rayonnement « par le fond » est notable jusqu'à une distance voisine de 1km du tir.

L'absorption des ondes acoustiques de compression étant plus importante dans le basalte que dans la colonne d'eau, la distance entre le tir et le trait de côte joue un rôle primordial sur les niveaux de bruit rayonnés dans la colonne d'eau.

On observe une forte absorption des ondes de compression pour les fréquences inférieures à 30Hz, qui est vraisemblablement due à des inhomogénéités dans le sol, particulières à ce site. La profondeur d'enfouissement des charges est aussi susceptible de jouer un rôle dans la propagation des ondes, en particulier lorsque la topographie au voisinage du tir (quelques centaines de mètres) présente des particularités.

La propagation du bruit introduit dans la colonne d'eau est conditionnée par la nature « petits fonds » (30 à 40m d'eau au plus) de la baie au large de Koungou qui a pour effet d'absorber les ondes sonores (Figure 10). Cet effet peut se combiner avec des inhomogénéités dans la distribution de la température et de la salinité dans la colonne d'eau (présence d'une thermocline par exemple) et s'amplifier par grands fonds ou par bathymétrie plongeante.



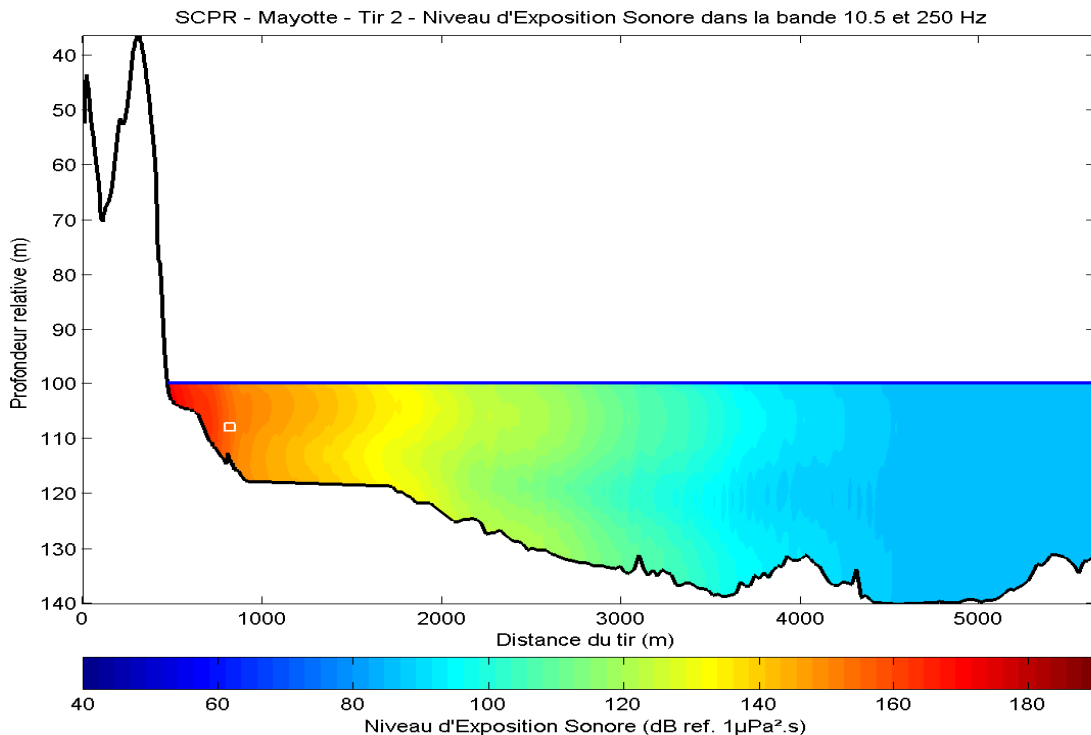


Figure 10 : Modélisation des niveaux d'exposition sonore entre 10 et 250Hz au droit de la carrière de Koungou (Mayotte) en fonction de la distance et de la profondeur dans la colonne d'eau lors du tir 1 (haut) et du tir 2 (bas). Le carré blanc indique la position de l'hydrophone ayant servi à la calibration.

### II.4.3. NIVEAUX D'EXPOSITION SONORE AU DROIT DE LA CARRIERE DE KOUNGOU A MAYOTTE

Les niveaux d'exposition sonore obtenus par modélisation au droit de la carrière de Koungou (Mayotte) présentent une décroissance atypique en fonction de la distance au tir. Cette décroissance est liée à la particularité du site et à l'opération de minage. La Figure 11 représente cette décroissance pour chacun des deux tirs. La courbe débute à la distance d'environ 500m qui correspond à la distance entre le tir et le trait de côte. La courbe noire représente le niveau médian sur l'ensemble de la colonne d'eau (entre la surface et le fond interface eau-sol). La zone grisée représente la variabilité de valeurs d'exposition sonore obtenues dans la colonne d'eau.

Des incertitudes subsistent sur la description de l'environnement de propagation au-delà de la position de l'hydrophone, en particulier sur la nature des fonds marins qui peut influencer de façon significative les niveaux prédits.

Le bruit des opérations de minage émerge du bruit ambiant existant mesuré peu avant les tirs jusqu'à une distance d'environ 4,5km pour le tir 1 et d'environ 3,9 km pour le tir 2. Le niveau maximum est obtenu au voisinage du trait de côte et dépasse 170 dB réf. 1μPa².s.

Les niveaux d'exposition large bande entre 10 et 250Hz dépassent le seuil de dérangement comportemental de 145 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  à une distance :

- comprise entre 1600m et 1900m du tir pour l'explosion de 36 charges de 63 kg le 16/11/2015 ;

- comprise entre 1000m et 1500m du tir pour l'explosion de 18 charges de 95 kg le 17/11/2015.

Ces résultats sont valables dans le contexte spécifique des tirs effectués les 16 et 17 novembre 2015 dans la carrière de Koungou à Mayotte.

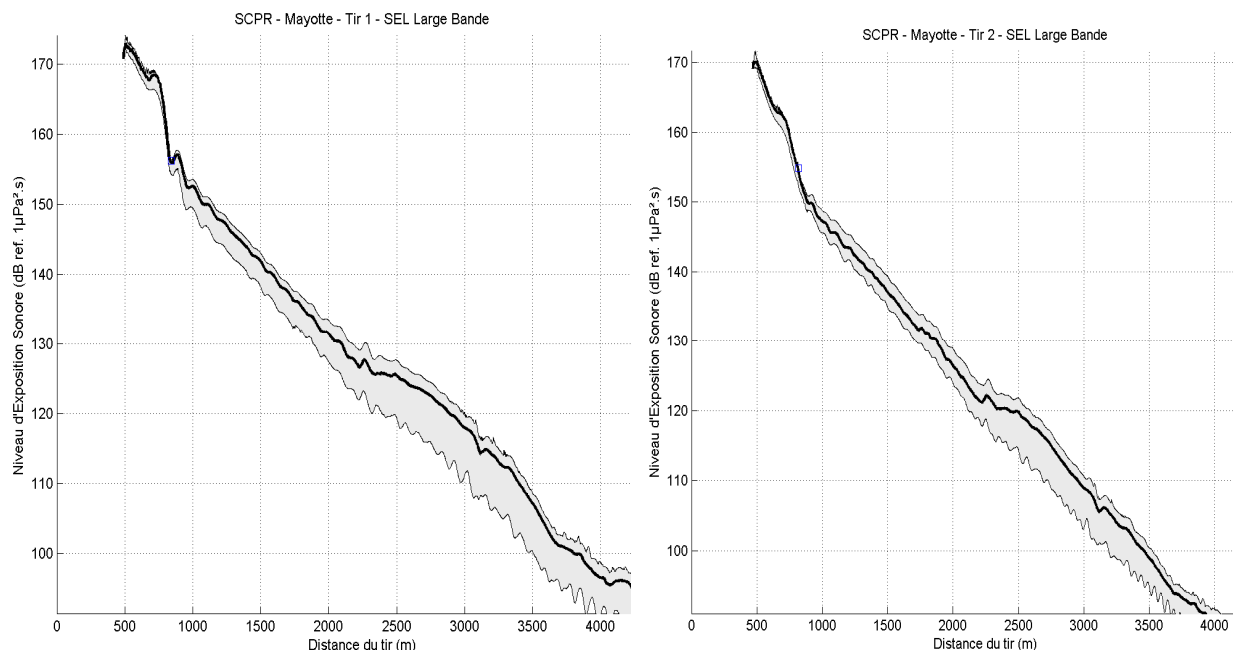


Figure 11 : Niveaux d'exposition sonore entre 10 et 250Hz dans la colonne d'eau pour le tir 1 (gauche) et le tir 2 (droite).

Pour la carrière de Koungou (Mayotte), l'évaluation de la zone d'influence acoustique met donc en évidence un rayon maximal de 1900m entre le tir et le niveau d'exposition sonore engendrant un dérangement des cétacés (de 145 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  / intervalle de de fréquences 10 – 250 Hz).

En considérant ce rayon d'influence maximal pour une possible incidence sur le comportement des cétacés lors d'un tir de mine, il a été réalisé une carte de la zone d'influence supposée au niveau de la carrière de St Leu (figure 12). Le rayon retenu est de 1900m pour un tir réalisé dans la partie basse, en supposant des charges explosives similaires. Cette représentation reste totalement schématique car les contextes entre la zone de Koungou (Mayotte) et celle de Saint-Leu sont bien différents.

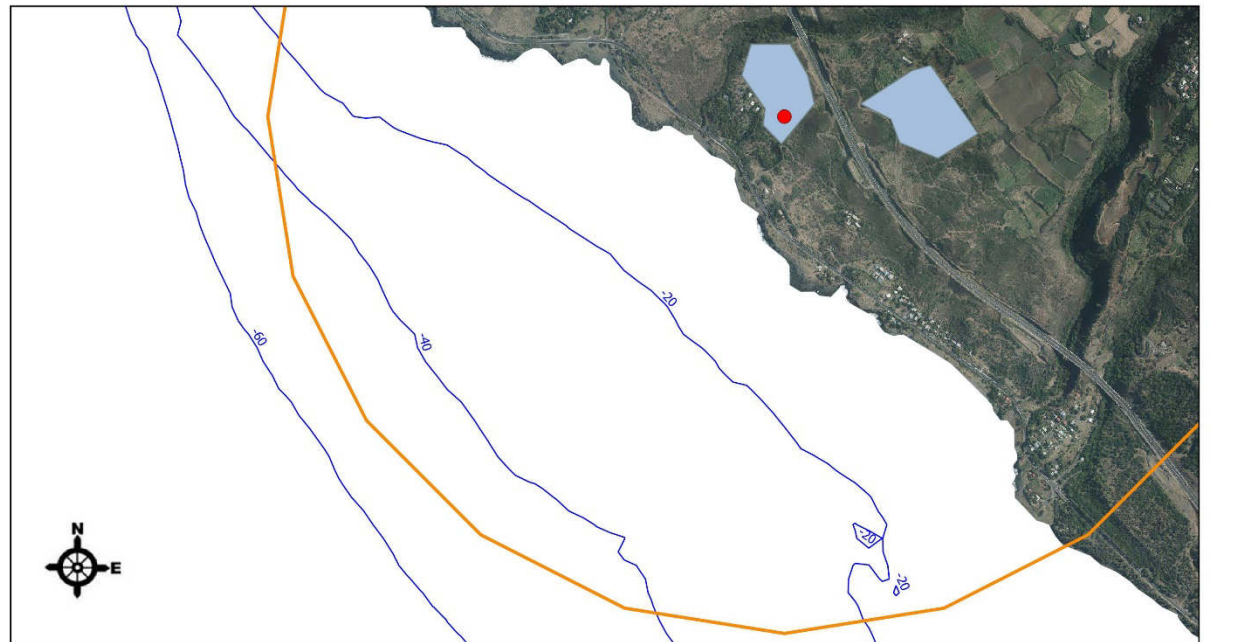
**Néanmoins, ce rayon d'influence servira de base à la mise en place des mesures d'évitement, notamment le contrôle d'absence de cétacés dans la zone (voir § III.2.3) lors des premiers tirs. Pour cela, une étude de contextualisation et de mesures in-situ permettra d'adapter ce rayon d'influence et d'éventuellement adapter les prescriptions de l'arrêté préfectoral.**



## Représentation de la zone d'influence acoustique comportementale pour les cétacés

Données de bases: Modélisation acoustique sur la carrière de Koungou (Mayotte) pour l'intervalle de fréquence de 10-250 Hz

SCPR - Projet de carrière de Bois-Blanc (Saint-Leu)



### Légende

- Zone d'emprise de la carrière
- Périmètre maximal de la zone d'influence supposée (base Mayotte)
- Localisation du tir de mines (centroïde du rayon d'influence)
- Courbes isobathes

0 250 500 750 1000 m



Figure 12 : Représentation schématique de la zone d'influence maximale supposée pour un risque acoustique comportemental sur les cétacés dans le cadre de l'exploitation de la carrière de Bois blanc / CETTE REPRESENTATION SE BASE SUR UNE MODELISATION ACOUSTIQUE REALISEE A MAYOTTE ET TRANSPOSEE A SAINT LEU SANS CONTEXTUALISATION

### III. DEFINITION DE LA MESURE D'EVITEMENT DES CETACES

#### III.1. PRÉAMBULE

A ce jour, il est important de rappeler que seul le résultat issu de l'expertise menée à Mayotte renseigne sur la nuisance sonore provoquée en mer par une activité de minage située à terre. Dans les chapitres ci-après, le rayon d'influence sonore d'un tir de mine et les mesures proposées se sont basés sur cette unique information. Or, des différences significatives entre les résultats obtenus à Mayotte et le contexte réunionnais peuvent être induites par de nombreux facteurs, influant sur le niveau et la propagation des bruits des travaux. De nombreux facteurs peuvent donc influencer sur le contexte acoustique d'une zone d'étude :

**\* Les facteurs liés au contexte en milieu terrestre**

- La nature géologique du site (nature de la roche / capacité de dispersion acoustique en milieu terrestre),
- La localisation, la topographie, l'altitude...
- La nature, le nombre et la puissance des explosifs utilisés.

**\* Les facteurs liés au contexte en milieu marin**

- La bathymétrie,
- Le relief et la nature du fond,
- La densité de la masse d'eau dans la colonne d'eau (variant elle-même selon la température et la pression ambiante),
- Les paramètres intrinsèques du signal émis (fréquence, direction du signal...).

En incluant cette spécificité, la démarche observée dans la détermination de la mesure d'évitement destinée aux cétacés dans le cadre de l'exploitation de la carrière de Bois blanc va donc s'attacher à intégrer l'ensemble de ces éléments de contextualisation et de mesures permettant de réévaluer l'influence acoustique du projet et définir un plan de gestion des risques adapté (ajustement de la mesure d'évitement).

## III.2. DEFINITION DE LA MESURE D'EVITEMENT DES CÉTACÉS LORS DE L'EXPLOITATION

### **Objectifs de résultats visés**

Pour la prise en compte des mammifères marins au regard des impacts sonores en phase d'exploitation de la carrière, il est important de viser **un objectif de résultat qui consiste à garantir l'absence d'exposition des cétacés à un niveau de bruit supérieur au seuil de gêne comportemental (Exposition sonore SEL = 145 dB ref. 1 $\mu$ Pa2s).**

Cet objectif doit intégrer une définition réactualisée de la zone d'influence acoustique du projet, en lien également avec les contraintes d'exploitation de la carrière.

### **Dispositions proposées pour répondre à l'objectif de résultats**

Les grands principes d'évitement pour limiter les risques acoustiques vis-à-vis des cétacés lors de l'exploitation de la carrière se basent sur une stratégie réaliste, reposant sur 3 axes :

- **la limitation et la maîtrise du bruit à la source ;**
- **La limitation des contextes à risques ;**
- **Le contrôle d'absence de cétacés dans la zone d'influence.**

De façon à garantir la bonne définition des mesures et garantir l'objectif de résultats, il est nécessaire préalablement de réaliser **une validation in-situ de l'estimation théorique des risques.**

L'évaluation en situation réelle d'une opération de minage sera par conséquent réalisée avant validation de la mesure. Elle est l'élément précurseur permettant de valider ou d'ajuster son dimensionnement afin de garantir son succès et d'assurer l'absence d'impact acoustique significatif sur les cétacés.



### III.2.1. ÉVALUATION ACOUSTIQUE REELLE IN SITU D'UNE OPERATION DE MINAGE

En amont de cette évaluation, une contextualisation acoustique du site sera réalisée afin de prendre en compte le caractère unique du site et plus particulièrement celui de la zone d'influence des tirs de mines de la carrière. Cette contextualisation passera par la caractérisation acoustique du milieu marin et un renforcement des connaissances sur les cétacés de la zone.

#### **La caractérisation acoustique du milieu marin dans le cadre du projet de carrière**

La **caractérisation acoustique** (biophonie, géophonie, anthropophonie) de la zone d'influence des travaux sera réalisée via l'utilisation de **l'acoustique passive fixe** sur une période suffisamment longue pour être représentative du site (4 à 5 mois).

Elle permet d'obtenir des éléments précis sur le paysage acoustique physique tels que :

- le bruit ambiant sur le site (« moyenne » SEL et moyenne SPL),
- le bruit maximum atteint (« pic » SEL et SEL), intégrant les bruits naturels ou anthropiques (houle, moteur de bateau...),
- la caractérisation des bruits physiques anthropiques récurrents (SEL et SPL associés aux passages de navires).

La caractéristique bioacoustique permet également d'approfondir les connaissances sur la fréquentation des cétacés identifiés dans le périmètre de détection de l'hydrophone. Cela offre la possibilité d'obtenir une **information continue**, comme :

- les espèces présentes (passage nocturne et diurnes),
- le niveau de fréquentation des espèces dans la zone d'étude,
- l'identification d'un possible rythme circadien (cela peut permettre d'ajuster les horaires pour les tirs de mines le cas échéant).

**Le matériel d'enregistrement va permettre une acquisition de l'ensemble des sons physiques et biologiques.** Un hydrophone sera ainsi déployé en 1 point fixe à une profondeur de 30m, permettant de diminuer l'enregistrement de sons parasites.

Dans le cadre de cette étude d'approfondissement des connaissances, il est souhaité d'acquérir les **données acoustiques durant l'hiver austral, période de présence des Baleines à bosse**. Rappelons que les Odontocètes (dauphins..) sont présents annuellement sur les côtes réunionnaises et présentent un répertoire acoustique composé majoritairement de clics et de sifflements. Les Mysticètes tels que la Baleine à bosse sont présents principalement de juin à octobre lors de l'hiver austral. Seuls les mâles sont connus pour « chanter » régulièrement. Cette période hivernale d'acquisition permettrait également de couvrir la période des houles australes, potentiellement bruyantes, ce qui constitue un contexte non négligeable pour la caractérisation acoustique ambiante (« bruit de fond » important).

## Renforcement des connaissances sur les cétacés

En parallèle au suivi bioacoustique, **un approfondissement des connaissances sur les cétacés** va être mené. Cela va se traduire pour une analyse des données acquises par l'association Globice durant 10 années de suivi visuel maritime entre 2005 et 2015. Selon un protocole standardisé, ces données acquises permettent de définir des analyses fines de différents indicateurs relevés pour les espèces présentes dans la bande côtière comprise entre 0 et 5 miles nautiques. De façon à compléter cet état des lieux bibliographique, il sera également réalisé des suivis aériens dans la zone d'étude, selon un protocole standard de collecte déjà appliqué à la Réunion.

Ces résultats vont permettre de mieux caractériser la zone du projet fréquentée par les cétacés, en définissant :

- La richesse taxonomique de la zone du projet,
- La fréquence d'observation,
- L'abondance relative,
- Les habitats d'espèces (en fonction de la bathymétrie, présence des espèces...).

## La modélisation de la zone d'influence acoustique du projet après contextualisation

La transposition d'un scénario de diffusion du bruit sous-marin au site de St Leu, s'effectuera sur la base du scénario obtenu à Mayotte. **Le rayon d'influence d'un tir de mines de 1900m sera ré-estimé en majorant le scénario** de propagation du son dans le milieu marin, de manière à ne jamais minimiser la nuisance acoustique potentielle. En plus de travailler dans un scénario majorant, les calculs de propagation prendront compte de la distance au trait de côte et compareront la charge d'explosif utilisée à Mayotte avec celle envisagée lors des travaux de la carrière de Bois-Blanc.

La combinaison de l'ensemble des éléments acquis par l'approfondissement des connaissances et par la contextualisation des enjeux et des nuisances permettra une évaluation des risques acoustiques vis-à-vis des cétacés.

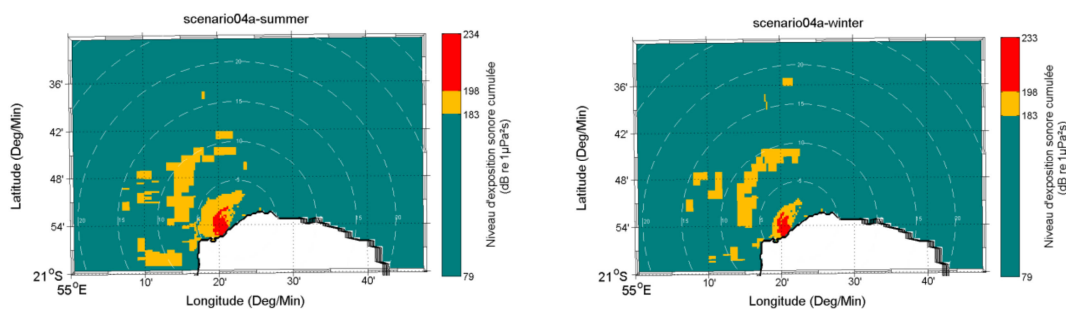


Figure 13 : Exemple d'une modélisation acoustique pour 1 tir de mine sans mitigation pour les espèces basse fréquence dans le cadre du projet NRL (Quiet Oceans, 2011)

## **Evaluation acoustique réelle de la zone d'influence du projet**

La vérification de la portée des nuisances acoustiques lors de la mise en activité (*in situ veritas*) de la carrière est prévue avant son ouverture pour exploitation. Cette évaluation va donc se faire dès les premiers tirs de mines. Le volume d'explosif testé lors ces essais devra correspondre à un volume assimilable à la charge maximum utilisé lors d'un tir. Le nombre exact d'essais sera déterminé en fonction du contexte réglementaire et de la qualité et la complexité des ondes de propagation à analyser. Pour cela, un protocole similaire à celui déjà mis en œuvre à Mayotte est proposé (Biotope-Quiet Océan 2015), avec enregistrement du son impulsionnel.

La modélisation va se faire par l'intermédiaire d'une caractérisation par post-traitement des sons enregistrés (durée de l'impulsion, gammes de fréquences concernées, niveaux de pressions au plus proche de la source d'émission...)

**Plusieurs hydrophones fixes et autonomes seront déployés dans la zone de manière à créer un maillage d'écoute selon des points géoréférencés situés en zone proche et éloignée.** Ce type de maillage vise à identifier les centroïdes concentrant le niveau de bruit maximal. Cela aboutit à la **modélisation du périmètre incluant un niveau de bruit au-dessus du seuil de début de gêne comportementale (SEL > 145 dB réf. 1 $\mu$ Pa2s).** Dans cette modélisation, les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau ainsi que la topographie marine du site sera prise en compte.

La garantie de résultats des mesures d'évitement dépend des résultats de cette expertise. En cas de différence avérée entre les résultats prédit et les résultats obtenus sur site, la mesure sera redimensionnée.

### **III.2.2. DEFINITION D'UN PLAN DE GESTION DES RISQUES**

Ce plan de gestion doit permettre de proposer les mesures opérationnelles pour la gestion du risque acoustique engendré par l'exploitation de la carrière vis-à-vis des cétacés. En utilisant la modélisation acoustique actualisée, les mesures de gestion du risque vont être actualisées en intégrant :

- Le rayon d'influence acoustique actualisé engendré par l'exploitation de la carrière,
- Les modalités d'exploitation de la carrière : fréquence des tirs, charges (localisation, volume et puissance), calendriers ...

Ce plan de gestion des risques va ainsi définir l'ensemble des mesures adéquates pour éviter ou limiter les nuisances sonores dans le milieu marin, reprenant les 3 axes :

- La limitation et la maîtrise du bruit à la source,
- La limitation des contextes à risques,
- Le suivi et le contrôle de l'absence des cétacés dans la zone d'influence.

### III.2.3. MESURES D'ÉVITEMENT EN FAVEUR DES CETACES

#### **M1 - La limitation des contextes à risques**

Dans le cadre de la contextualisation acoustique, l'étude d'approfondissement des connaissances va permettre notamment de mieux définir les modalités d'utilisation ou de fréquentation de la zone d'influence par les cétacés.

Sur cette base, l'exploitation de la carrière va ainsi intégrer les possibles rythmes quotidiens de fréquentation des cétacés dans la zone d'influence du projet (horaires préférentiels de fréquentation). Ainsi, l'horaire du tir quotidien sera planifié de façon à limiter les risques acoustiques en fonction de la fréquentation des cétacés dans la zone d'étude (si cela s'avère pertinent).

Dans ce sens, l'évitement pour se traduire par :

- L'évitement d'un tir lors d'une tranche horaire plus propice au passage des cétacés,
- L'adaptation du rythme des tirs en fonction de la présence de certaines espèces (cas de la Baleine à bosse).

#### **M2 - Le contrôle d'absence de cétacés dans la zone d'influence**

##### o **Monitoring acoustique des cétacés en temps réel**

Pour limiter les perturbations et le dérangement des cétacés, un **monitoring acoustique en temps réel** sera mis en place dans la zone d'influence du projet, permettant la détection des cétacés dans le rayon d'influence acoustique du projet et de qualifier les niveaux de bruits sous-marins (ambiance sonore, niveau acoustique du tir...).

Pour ce faire un **système de monitoring acoustique** va être déployé et installé dans la zone d'émergence acoustique maximale (en fonction des contraintes topographiques et hydrodynamiques), permettant de détecter la présence et l'approche de cétacés (détection omnidirectionnelle).

Le système va permettre une localisation des cétacés dans la zone d'influence du projet, grâce à l'utilisation de 3 hydrophones fixés sur un même système (montage en stéréo). L'information sera envoyée par un système satellite à l'opérateur à terre. Le tir sera organisé en fonction des résultats de détection.

Le système sera simple pour permettre une utilisation par un agent de terrain. Une formation au système sera fournie par l'expert en charge du fonctionnement de l'hydrophone.

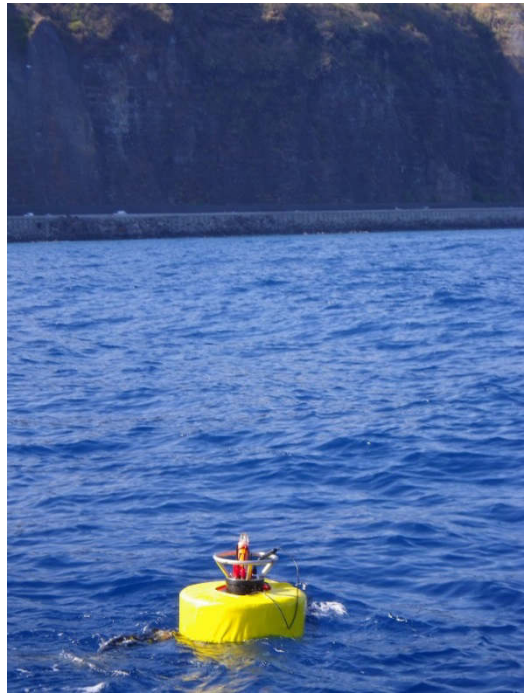


Figure 14 : Exemple de système acoustique déployé pour l'évaluation des niveaux sonores et la présence des cétacés (BIOTOPE, 2013)

- **Monitoring renforcé par suivi visuel aérien**

En complément du monitoring en temps réel des cétacés, **un suivi visuel aérien accompagnera les procédures d'évitement lors des 6 premiers mois de démarrage** des tirs de mines. Durant cette période, cela devrait permettre de définir de manière optimale le mode opératoire de la surveillance des cétacés et garantir l'évitement du risque lors des tirs de mine

Un observateur expérimenté dans la détection et le suivi aérien des cétacés va **mener une surveillance de la zone d'influence 30 minutes avant le tir.**

Avec un système adapté de télécommunication, il va informer des résultats de ces prospections en temps réel. Cela doit permettre de certifier de la présence/absence d'individu(s) dans la zone d'influence acoustique de la carrière. En outre, le comportement sera clairement observé, ainsi que la direction du déplacement (en cas d'observation).

En cas de détection d'un cétacé, conjointement avec le monitoring acoustique, la reprise du tir doit être validée par l'observateur aérien, selon les étapes de la procédure à suivre.

Pour chaque observation de cétacés, l'expert relèvera également les informations issues du suivi focal du groupe (formation, taille du groupe, activité dominante, présence de juvéniles).

**Le survol se poursuivra 30 minutes après le tir.** Cette surveillance renforcée « post-tir » permet de s'assurer de l'absence d'un impact sur les cétacés.

Les suivis visuels aérien accompagnant le suivi acoustique en temps réel permet d'une part de valider l'efficacité du monitoring acoustique et d'autre part de s'assurer en phase de démarrage, de l'absence d'impact et du bon dimensionnement des mesures d'évitement.

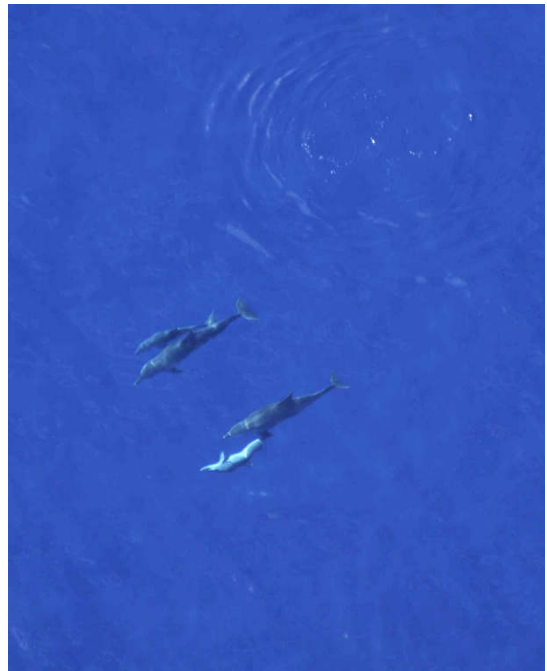


Figure 15 : Observation de Grand dauphin de l'Indo-Pacifique lors d'un survol de contrôle (Biotope, 2014)

- **Renforcement de la mesure durant la saison de présence des baleines à bosse**

Les eaux côtières de La Réunion accueillent des baleines à bosse durant l'hiver austral, lors de leur migration vers les eaux froides des mers du Sud. Durant cette période, entre les mois de juin et novembre, une attention particulière pourra être portée à cette espèce dans le cadre de l'exploitation de la carrière.

Ce cas de figure sera déclenché uniquement si l'actualisation de la modélisation acoustique de l'opération de minage en situation réelle indique un risque accru sur cette espèce dans le rayon d'influence de la carrière (cétacés sensibles aux basses fréquences).

Dans ce cadre, **la mesure d'évitement va être consolidée par l'intermédiaire d'un suivi aérien visuel** (se référer au protocole défini dans le chapitre précédent). Cela s'explique notamment par le fait que le monitoring acoustique ne détecte que les baleines mâles, les femelles et baleineaux n'émettant pas de sons particuliers.

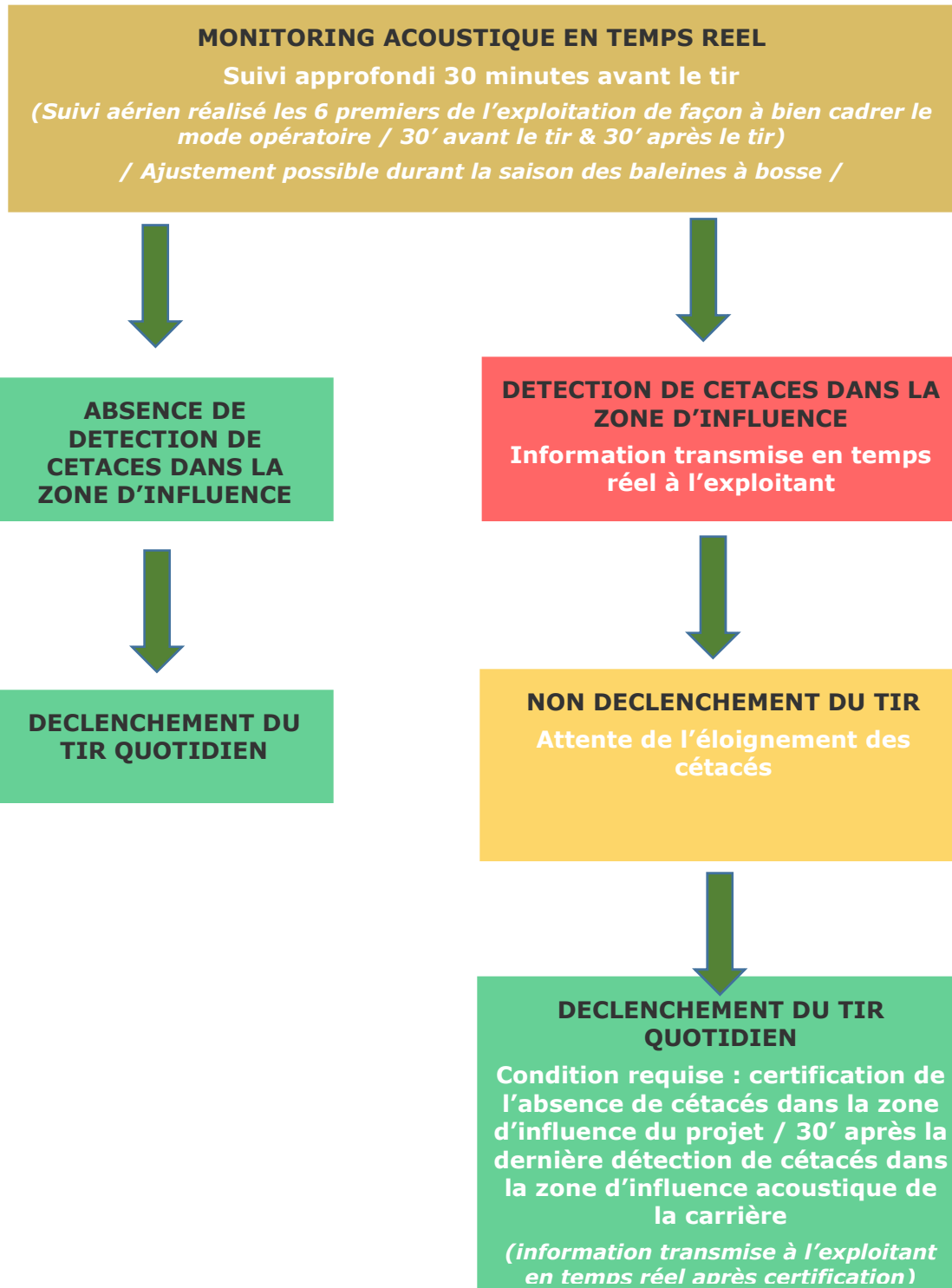
○ **Définition d'une procédure interne d'évitement en prévision du tir**

Dans le cadre de l'exploitation de la carrière, 30 minutes avant chaque tir, la présence des cétacés est surveillée via l'information acoustique en temps réel.

Avec l'appui du système de détection acoustique en temps réel, un logigramme de gestion du risque est défini pour éviter toute présence de cétacés dans la zone d'influence du projet.



Figure 16 : Observation d'une femelle et petit de Baleine à bosse à La Réunion lors d'un survol de contrôle (Biotope, 2012)



Cette mesure garantit le décalage du tir de mine en cas de détection des cétacés dans la zone d'influence acoustique de la carrière. Le déclenchement de l'opération est engagé uniquement lorsque le (s) cétacé(s) détecté(s) sont sortis de la zone d'influence, 30 minutes après la dernière détection de cétacés.

La procédure est définie de telle manière qu'elle minimise les chances de présence des cétacés dans la zone. Si aucun individu n'est détecté préalablement au tir, l'opération peut être réalisée.





Cette procédure pourra être transmise à l'autorisation environnementale pour information et validation.

Pour chaque tir, une fiche-procédure sera produite, relevant l'ensemble des informations collectées durant l'opération (type de monitoring, temps de suivi, détections...).

# Documents de référence

- [1] Plan du site, *Implantation Mesure Koungou.pdf*, 2015
- [2] Compte rendu du sismographe, *KOUNGOU 2015 11 16.PDF & KOUNGOU 2015 11 17.PDF*
- [3] Plan de tir, *Plan de tir Koungou 2015 11 16 ANFO.pdf & Plan de tir Koungou 2015 11 17.pdf*
- [4] *Compte rendu de mission BIOTOPE\_QO\_SCPR\_expertise acoustique\_Mission\_Nov2015\_B.pdf*, 2015
- [5] Caractérisation de l'impact d'une carrière d'extraction de roches massives sur le milieu marin QO.20150925.01.CER.001.01A.SCPR.Certification Minage Koungou.pdf

## Bibliographie

- Audru, J.-C., Guennoc, P., Thinon, I. & Abellard, O., 2006. Bathymay : la structure sous-marine de Mayotte révélée par l'imagerie multifaisceaux. *C. R. Géoscience*, Volume 338.
- Collins, M. D. a. W. E. K., 1991. A higher-order energy conserving parabolic equation for range-dependent ocean depth, sound speed and density. *J. Acoust. Soc. Am.* 89, 1068–1075.
- Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. & Schmidt, H., 2000. *Computational Ocean Acoustics*. s.l.:Springer.

# Annexe 1 – Lexique des termes employés pour cette modélisation

L'acoustique sous-marine est un domaine scientifique de la mécanique des fluides. Elle utilise son propre vocabulaire et ses propres unités. Une définition des principaux termes utilisés est présentée dans ce lexique afin de faciliter la compréhension du document par le lecteur.

## **Acoustique passive**

Mesure du bruit ambiant sans générer de bruit parasite qui puisse affecter l'observation du chorus sonore.

## **Décibel**

Le décibel (dB) est une mesure du niveau de pression acoustique, une quantité qui se trouve à la base de la perception du volume sonore. C'est une échelle logarithmique qui décrit un multiple d'une valeur de référence. Lorsque la puissance sonore double, la valeur en décibel augmente de 3 dB. En acoustique sous-marine, le niveau de référence du décibel est 1  $\mu\text{Pa}$  (prononcé micro Pascal).

## **Empreinte sonore**

Une empreinte sonore représente la distribution du niveau sonore d'une source de bruit qui émerge au-dessus du bruit existant lorsque cette source est absente.

## **Energie acoustique reçue**

L'énergie reçue est le carré du signal de pression acoustique reçu. Elle s'exprime en dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$ .

## **Fréquence sonore**

La fréquence correspond au nombre d'oscillations de la pression sonore en une seconde. Les sons graves ont une fréquence basse, les sons aigus ont une fréquence élevée. L'unité de la fréquence est l'Hertz (Hz). A titre d'illustration, l'oreille humaine ne perçoit que les fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, bien que la limite supérieure diminue généralement avec l'âge. Les espèces sous-marines ont un spectre auditif différent.

## **Hydrophone**

Un hydrophone est un microphone destiné à être utilisé sous l'eau. Il convertit une variation de pression en variation de tension électrique permettant ainsi l'enregistrement de la pression acoustique en fonction du temps.

## **Octave**

Une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence fondamentale de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre. Un tiers d'octave est une fraction d'octave. La norme ANSI S1.11 (2004) définit les fréquences centrales et les caractéristiques des filtres servant à les distinguer.

## **Marnage**

Modification de la hauteur d'eau principalement lié à l'effet des marées. Il s'exprime en mètres et est référencé sur le zéro hydrographique. Le zéro hydrographique est voisin du niveau des plus basses mers astronomiques.

## **Modèle Numérique de Terrain (MNT)**

Un modèle numérique de terrain est une extrapolation des points de mesures de la bathymétrie par l'intermédiaire de modèles. Il représente la hauteur d'eau, référencé

selon les normes internationales de l'Organisation Hydrographique Internationale sur un maillage spatial régulier.

### **Niveau d'exposition sonore**

Le niveau d'exposition sonore est l'intégrale de l'énergie acoustique reçue sur une bande de fréquence de sensibilité biologique (bande de fréquence effectivement perçue par une espèce) pendant une durée donnée. Il s'exprime en dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ .

### **Pertes de propagation**

Les pertes de propagation acoustique correspondent à l'atténuation des ondes causée par le milieu de propagation en fonction de la distance à la source.

### **Pression acoustique émise**

La pression acoustique émise par une source de bruit est l'amplitude du signal qui serait généré à un mètre de cette source si celle-ci était ponctuelle. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur moyenne, valeur efficace<sup>1</sup>, ou en valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf.  $1\mu\text{Pa}$  @1m.

### **Pression acoustique reçue**

La pression acoustique reçue est l'amplitude du signal acoustique tel qu'il peut être mesuré sur la bande de fréquences de réception d'un hydrophone à une distance donnée de toute source sonore. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur efficace, ou en valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf.  $1\mu\text{Pa}$ .

### **Profil de célérité**

La célérité décrit la vitesse à laquelle les ondes sonores se déplacent dans le milieu marin. Elle est fonction de la profondeur, de la température et de la salinité. Sa variabilité est temporelle (en fonction des saisons, des événements météorologiques, etc.) et spatiale.

### **Thermocline**

La thermocline est la zone de transition thermique rapide entre les eaux superficielles (généralement plus chaudes et oxygénées) et les eaux profondes (généralement plus froides et anoxiques et parfois plus salées).

---

<sup>1</sup> La valeur efficace, ou RMS pour « Root Mean Square » en anglais correspond à la racine carrée de la moyenne des carrés du signal sur une période de temps fixée.

## II. Pièce B : Description des mesures d'accompagnement du projet de carrière de la ravine du Trou (St Leu) pour le suivi de la faune terrestre

---



De grandes idées naissent de la pierre

**SCPR – PROJET DE CARRIERE DE BOIS BLANC**  
**BIOTOPE - Affaire suivie par Jean-Sébastien PHILIPPE**  
**T. : 02 62 46 67 75 / F. : 02 62 46 06 81**

Saint-André, le 01/06/2016

Émetteur : BIOTOPE

|   |                        |
|---|------------------------|
|   | <u>DESTINATAIRES :</u> |
| <b><u>RÉFÉRENCE :</u></b><br><b>SCPR_CARRIERE-BOIS-BLANC_SUIVI_FAUNE_VF</b>   | SCPR                   |
| <u>Objet</u> : Description des mesures d'accompagnement du projet de carrière de la ravine du Trou (St Leu) pour le suivi de la faune terrestre |                        |

## I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La société SCPR souhaite développer un projet de carrière sur la commune de Saint-Leu. Le DDAE intègre un diagnostic écologique « milieux naturel, flore et faune » de la zone. Ce diagnostic en présente une description écologique avec les enjeux floristiques et faunistiques liés au projet.

Il a notamment fait ressortir la forte dégradation des milieux naturels et la quasi-omniprésence d'espèces introduites et invasives sur la planèze. Seules les deux ravines bordant la zone d'étude portent des enjeux floristiques plus importants, avec des espèces indigènes traduisant la possibilité de résilience d'habitats tels que des reliques de forêts semi-sèches (forêts semi-xérophiles de pentes) et des groupements à *Actiniopteris* (groupement semi-xérophile également). Tous les deux restent néanmoins nettement dégradés.

Pour la faune terrestre, les enjeux principaux mis en évidence portent principalement sur les chiroptères (présences certaines et potentielles de gîtes), et à un degré moindre avec la présence de sites de nidification de Phaéton à bec jaune (Paille en queue) dans la ravine des Avirons. Les flux d'oiseaux marin (Procellariidés) en vol au-dessus de la zone d'étude ont été également analysés et considérés comme non négligeables.

Un volet impacts et mesures, propre aux milieux naturels présente les mesures de réduction destinées à limiter les effets négatifs du projet sur les habitats naturels, la flore et la faune et à assurer sa transparence écologique. Des mesures d'accompagnement sont proposées, concernant les chauves-souris et les oiseaux marins.

Ces mesures d'accompagnement concernent donc le suivi des chauves-souris et des oiseaux marins (paille en queue principalement). Plusieurs actions sont ainsi définies.

Pour les chauves-souris :

- A - Accompagnement pour déplacement et suivi de la colonie de chiroptères du PIOH,
- B- Adaptation du protocole de suivi des chiroptères durant le chantier (installations de chantier, plan de circulation, phasage définitif),
- C - Mise en œuvre du suivi des nichoirs pour chauves-souris (sur 4 ans),

Pour les oiseaux marins :

- D - Suivi de l'avifaune marine de la ravine des Avirons (sur 4 ans).

## II. MÉTHODES ET OUTILS

### II.1. ACCOMPAGNEMENT POUR LE DÉPLACEMENT ET LE SUIVI DE LA COLONIE DE CHIROPTÈRES DU PIOH

Cette mesure consiste à permettre un aménagement adapté de l'ouvrage hydraulique (PIOH), se traduisant par la condamnation du gîte actuellement occupé par ces chauves-souris. Ces travaux doivent notamment éviter toute blessure ou mortalité de chauves-souris.

Pour cela, il s'agit de bien définir le mode opératoire, qui se décline en différentes étapes :

- Préparation de l'intervention de déplacement
- Repérage avec état 0 (avant intervention)
- Définition concertée du mode opératoire pour la condamnation des gîtes au niveau du PIOH
- Intervention sur le PIOH (3 passages : avant/pendant/après)
- Rapport de recollement (bilan de l'intervention)

#### II.1.1.1. 1/ Repérage avec état 0 (avant intervention)

Une visite préalable va être menée par l'expert chiroptérologue de façon à bien identifier :

- L'espèce concernée,
- Les effectifs recensés,
- Les zones occupées par l'espèce.

Le maximum d'information sera relevé pour permettre la définition d'un mode opératoire pertinent destiné à engager les travaux de fermeture du gîte.

### II.1.1.2. 2/ Préparation de l'intervention de déplacement

Préalablement à l'intervention devant condamner le gîte actuel présent dans le PIOH, il sera nécessaire d'organiser les modalités techniques pour ces travaux spécifiques. Pour cela, nous rédigerons une note technique devant cadrer l'intervention, et précisant :

- Les objectifs visés,
- La période d'intervention,
- Les travaux nécessaires,
- La prise en compte de la sensibilité des espèces,
- Les risques

Cette note servira de base d'échanges avec l'ensemble des partenaires techniques, institutionnels et réglementaires.

Enfin, une réunion d'échange sera réalisée avec SCPR, la Région (DRR) et les services de l'Etat (DEAL Réunion) de façon à valider l'itinéraire technique.

### II.1.1.3. 3/ Définition concertée du mode opératoire pour la condamnation des gîtes au niveau du PIOH

Après échange et définition des moyens d'intervention, le mode opératoire sera consolidé et défini, en intégrant en particulier les spécificités réglementaires pour ces travaux, en concertation avec les services de l'Etat (DEAL Réunion).

Après validation des différents partenaires, une note technique sera produite et transmis au responsable des travaux pour la condamnation et la délocalisation du gîte actuel au niveau du PIOH. Un échange est prévu entre BIOTOPE et l'Entreprise pour définir clairement les modalités d'intervention, en évitant toute blessure ou mortalité des chauves-souris.

*Il est rappelé que cette intervention ne doit pas faire appel à une dérogation réglementaire spécifique (non demandée par la DEAL à ce jour).*

### II.1.1.4. 4/ Intervention sur le PIOH

Au total, 3 passages sont prévus, permettant de bien cadrer les modalités d'intervention pour les travaux sur le gîte (PIOH) :



- 1 visite la veille des travaux, établissant un diagnostic actualisé de l'occupation du gîte par les chauves-souris. Cette intervention permet d'ajuster le mode opératoire par rapport à la situation réelle ;
- 1 visite lors des travaux, avec présence continue du chiroptérologue. La présence du spécialiste doit garantir la tenue de travaux exemplaires, évitant toute dégradation de l'état des chauves-souris (blessure, mortalité...). Ces travaux doivent être réalisés sans la présence des chauves-souris (en journée).
- 1 visite après les travaux, permettant de juger de l'état du gîte et l'absence de chauves-souris dans le PIOH.

#### II.1.1.5. 5/ Rapport de recollement (bilan de l'intervention)

L'ensemble de cette mission va faire l'objet d'un rapport, présentant les étapes et le contenu technique des travaux réalisés.

Ce travail doit permettre de montrer l'efficacité du mode opératoire, garantissant le succès de la délocalisation des chauves-souris (sans blessure, ni cas de mortalité pour les individus présents dans le gîte).

## II.2. ADAPTATION DU PROTOCOLE DE SUIVI AU CHANTIER POUR LES CHIROPTÈRES

Cette action est à réaliser préalablement pour garantir la mise en place de nichoirs fonctionnels et réaliser un suivi pertinent. Pour cela, il s'agit **d'adapter le protocole de suivi au chantier** (installations de chantier, plan de circulation, phasage définitif), se traduisant de la façon suivante :

- visite préparatoire et une réunion de lancement avec l'Autorité Environnementale ;
- adaptation de la programmation des passages et le choix de l'implantation des dispositifs de suivi ;
- conception de gîtes artificiels ;
- vérification/recalage des seuils de vibrations avec le calcul des charges.

#### II.2.1.1. 1/ Visite préparatoire et réunion de lancement

La disposition des outils de mesures et des points prévisionnels des relevés qui seront utilisés au cours du suivi sera dépendante du terrain, des facilités d'accès, de la protection des intempéries...

Une visite spécifique permettra de repérer, marquer les secteurs d'étude et commencer la préparation des installations qui pourraient s'avérer nécessaires.

Une réunion de lancement dont l'objectif sera de présenter les suivis envisagés, les échéances et les modalités de leur réalisation sera prévue. Elle sera suivie par un processus de rendus annuels tout au long de la durée des travaux d'exploitation (voir phase II).

### II.2.1.2. 2/ Adaptation de la programmation

La présente proposition détaille les méthodes de suivi et les fréquences de relevés, à priori, sur la base de la programmation actuelle des travaux d'exploitation et des contraintes connues. D'ici à la mise en œuvre effective des travaux, ces éléments de programmation peuvent avoir évolué et une vérification des nécessités d'adaptation méthodologiques s'avère indispensable.

Une note technique accompagnera le détail des évolutions méthodologiques potentielles.

### II.2.1.3. 3/ Conception des gîtes artificiels

Le risque de dérangement lié aux travaux et à l'exploitation de la carrière en projet nécessite de disposer, au préalable, des gîtes artificiels pour faire office de sites de substitution (repos diurnes ou reproduction) en cas d'abandon des points actuels.

Si plusieurs types de gîtes sont expérimentés et installés depuis plusieurs années en France métropolitaine et pour les espèces d'Europe continentale notamment, les tentatives et retours d'expériences à La Réunion restent extrêmement rares et peu documentés. Une phase de conception est donc nécessaire, d'autant qu'il semble ici judicieux de multiplier les types de gîtes. Ceux-ci pourront correspondre à des nichoirs individuels ou collectifs (bois ou autre matériaux) classiques, comme étudier les opportunités naturelles à la création d'aménagements spécifiques (buttes, fronts de taille...).

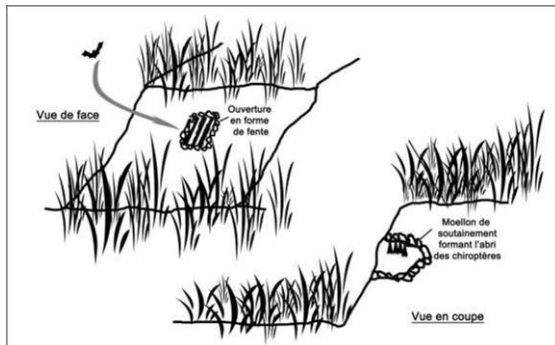
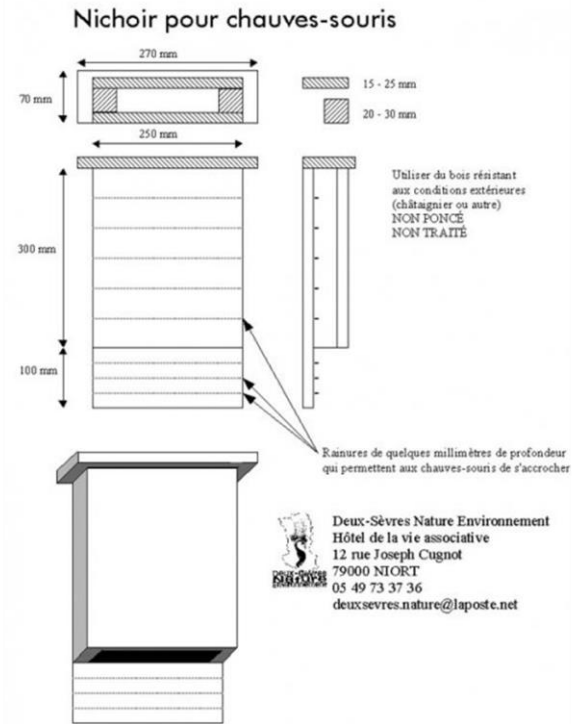
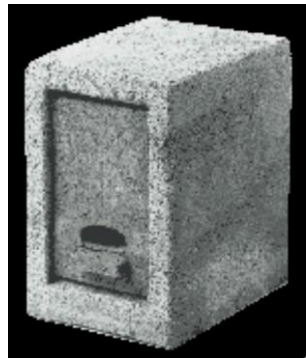
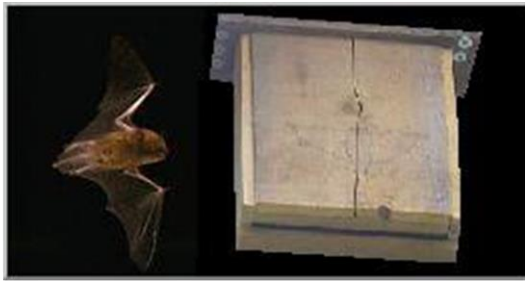


Figure 2: Schéma d'aménagement présenté dans le DDAE



Figure 2: Figure 1: Schéma d'aménagement présenté dans le DDAE

La bibliographie relative aux dérangements provoqués par les vibrations sur les gîtes de chiroptères mentionne une absence d'effets négatifs jusqu'au seuil de vibration de 14mm/s. La réglementation française applicable à la préservation de l'habitat humain impose, elle, un seuil de 10mm/s.

Les techniques d'extraction qui seront utilisées dans ce projet font appel aux méthodes les plus récentes et sont destinées à limiter les nuisances, notamment par l'usage de détonateurs à microretard permettant de limiter ces vibrations.

La phase de test consistera à analyser les résultats des sismographes disposés pour mesurer les tirs, et vérifier le niveau de vibrations transmises *in situ*, en lien avec la présence des gîtes de de chiroptères. Il s'agit notamment de suivre les éventuelles perturbations sur les gîtes, par observation directe (avec burrowscope ou caméras), en corrélation avec les niveaux de vibrations mesurées. Un recalage fin des charges et microretards permettra de s'assurer de l'applicabilité des seuils préconisés et de limiter au maximum les effets négatifs éventuels.

Une note technique accompagnera le suivi de cette phase.

### **III. MISE EN ŒUVRE DU SUIVI DES NICHOS À CHAUVES-SOURIS**

Ce suivi se décline en différentes actions réalisées régulièrement durant les 4 années de suivi :

- suivi "visuel" trimestriel des gîtes recensés ;
- suivi trimestriel de l'activité acoustique des chiroptères sur la planèze ;
- suivi de l'efficacité de gîtes artificiels ;
- suivi des vibrations ;
- Restitution des résultats avec réunions annuelles.

#### **III.1.1.1. 1/ Suivi visuel des gîtes recensés**

Sur les gîtes recensés dans les études préalables, un suivi de l'occupation par caméra sera mis en place de manière à pouvoir effectuer un comptage du nombre moyen d'individus sortant des gîtes en début de nuit.

Ce nombre moyen sera calculé à partir des comptages issus des images réalisées lors de 3 nuits consécutives (avec max. et min.). Il permettra d'établir un suivi des variations trimestrielles correspondant à un modèle d'utilisation des gîtes sur la zone d'étude.

Pour établir la transparence écologique du projet ou l'existence d'impacts résiduels non prévus, ce suivi démarrera dès l'autorisation d'exploiter et avant la phase de travaux préparatoires.

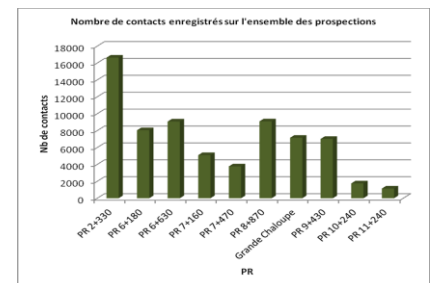
#### **III.1.1.2. 2/ Suivi trimestriel de l'activité acoustique des chiroptères en planèze**

Les effets des travaux et de l'activité d'extraction seront également suivis sur la planèze pour déterminer et suivre régulièrement l'utilisation de cette zone définie comme secteur d'alimentation et de transit.

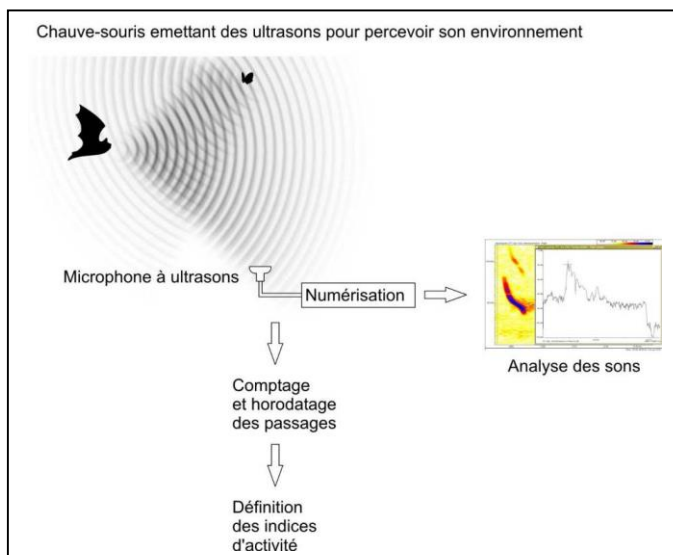
Cinq points d'enregistrements acoustiques automatisés seront disposés sur l'ensemble de la planèze et des relevés trimestriels (sur 3 nuits consécutives complètes) seront effectués dans l'objectif de réaliser un suivi de la variation des activités de chasse ou sociales comprenant les éventuelles variations de proportions respectives du Petit molosse de La Réunion et du Taphien de Maurice (voire de détecter la présence de sp1).

### Point technique

Les signaux ultrasonores détectés sont stockés sur carte mémoire, durant une ou plusieurs nuits complètes (ici 2 nuits consécutives pour 3 points). L'appareil enregistre les sons en temps réel sans altération du son (contrairement à d'autres systèmes / ex. : ANABAT) ce qui permet de procéder ultérieurement à une analyse fine des séquences obtenues à l'aide d'un logiciel classique d'analyse de son (Batsound 3.1 ou Siryx). Par ailleurs, sa qualité d'échantillonnage et de détection est supérieure à d'autre système (ex. ANABAT). Le SM2BAT est ainsi bien plus performant que le matériel de type ANABAT utilisé ces dernières années. De plus, 2 micros peuvent être connectés sur un même SM2 et déportés via un câble que nous fabriquons en interne. En utilisant ce dispositif (1 appareil et 2 micros synchronisés), les micros peuvent ainsi installés à quelques mètres au dessus du sol où plus haut sur un mât (en fonction des besoins), il est possible de certifier l'identification des espèces, d'évaluer automatiquement les distances et hauteurs globales des cris détectés par les micros.



Ce système est parfaitement adapté aux espèces présentes à La Réunion (*Mormopterus francoimoutoui*, *Taphozous mauritianus*, voire *Scotophilus borbonicus*).



### III.1.1.3. 3/ Suivi de l'efficacité et de l'occupation des gîtes artificiels installés

L'installation préalable de gîtes artificiels conçus spécifiquement pour l'opération permettra de prévoir le dispositif de suivi associé. Celui-ci sera effectué par Trail master (piège photos dont la cadence de prise de vues devra être déterminée et réglée) et assorti de vérifications semestrielles des traces d'occupation (fientes, odeurs).

Les espèces, le nombre d'individus, la durée d'occupation ou la sensibilité aux prédateurs pourront ainsi être suivis et faire l'objet d'un retour d'expérience.

### III.1.1.4. 4/ Suivi des vibrations

Des contrôles réguliers seront effectués pour s'assurer de l'absence de dérangements liés aux vibrations lors de la phase d'extraction. Ils reprendront les points analysés lors de la phase préparatoire qui serviront alors de référence.

Le contrôle visuel sera effectué dans les gîtes par burrowscope.



Figure 3 : Exemple de burrowscope pour visualiser l'intérieur d'un terrier.

### III.1.1.5. 5/ Présentation des résultats annuels aux services de la DEAL

Une réunion annuelle destinée à présenter les résultats des suivis aux services de l'autorité environnementale est prévue dans le cadre de la mesure de suivi générale à mettre en œuvre.

## IV. SUIVI DE L'AVIFAUNE MARINE DE LA RAVINE DES AVIRONS

### IV.1.1.1. Suivi des oiseaux marins

#### - Pour le Paille en queue à brins blancs

Ce suivi consiste à dénombrer les nids de Paille-en-queue à brins blancs localisés dans la ravine. Il sera réalisé à l'aide de jumelles ou d'une longue vue pour localiser les sites potentiels de nidification. Ces observations se feront à partir de points situés en hauteur, offrant une vision élargie sur les rives de la ravine des Avirons. Deux postes d'observation devraient être utilisés, l'un permettant un suivi de la rive gauche, et inversement.

Les nids vont être localisés visuellement à partir des entrées ou des sorties de nid des oiseaux nicheurs. Deux indices de reproduction vont être associés aux observations :

- « *reproduction probable* » : entrée d'un individu dans le rempart suspectée mais cachée à l'observateur par la végétation ou le relief.
- « *reproduction certaine* » : entrée d'un individu dans le rempart et stationnement de cet oiseau dans le rempart pendant deux minutes au moins, ou sortie du rempart par un individu, se dirigeant ensuite en direction de l'océan en vol direct.

Les observations seront réalisées entre 5h00 et 15h30 durant le « pic » de reproduction de l'espèce, et étalées entre septembre et décembre.

Il est prévu 2 passages durant l'été austral, ce qui devrait permettre d'obtenir des résultats satisfaisants.

Il peut être envisagé de réaliser ces suivis lors de phases de tirs (minage) dans la carrière, de façon à évaluer les incidences sur les pailles en queue et le possible dérangement induit pour les tirs lors de la période de nidification de l'espèce. Au-delà de ce constat ponctuel, le suivi sur 4 ans devra montrer si ce possible dérangement induit une réelle perte d'habitat de reproduction.



### - Pour le Puffin tropical

La détection des colonies de Puffin tropical est principalement sonore, grâce aux signaux sonores émis par les individus reproducteurs lors de leur retour aux colonies (début de soirée). Pour cela, des écoutes nocturnes vont être réalisées entre octobre et décembre, période optimale d'émissions sonores des individus lors des retours aux colonies. Cela sera fait en période de nouvelle lune, lors de la période de reproduction favorable de l'espèce. La durée de ces écoutes est comprise entre 45 minutes et 1 heure après le coucher du soleil. Il est prévu 2 écoutes par ravines (soit 4 au total) pour 1 suivi annuel.

En complément de ces écoutes nocturnes, des vérifications visuelles des colonies pourront être réalisées si nécessaire, par l'observation des trajectoires de vol des individus et l'entrée d'adultes reproducteurs dans une cavité.

Trois indices de reproduction ont été associés aux observations :

- « reproduction possible » : signaux sonores en provenance d'un rempart favorable à l'espèce, mais pas plus d'un signal par minute ou bien rempart inobservable ;
- « reproduction probable » : au moins trois signaux sonores par minute ; oiseaux frôlant ou se posant éventuellement au sol ou sur la végétation du rempart ;
- « reproduction certaine » : entrée d'un individu dans le rempart.



Pour chaque année, un rapport de suivi sera réalisé, présentant les différents résultats. Une analyse sera réalisée pour évaluer les possibles incidences du projet sur les populations d'oiseaux marins présents dans la ravine des Avirons. Un lien pourra être fait entre les nuisances de la carrière (bruits, poussières...) et la fréquentation des oiseaux marins.



#### IV.1.1.2. Suivi de l'avifaune terrestre

Dans la zone d'influence du projet, l'avifaune terrestre nicheuse se caractérise principalement par des espèces exotiques (Martin triste, Merle de Maurice...). Les espèces indigènes (voire endémiques) sont peu représentées, principalement au travers de l'Oiseau-lunettes blanc.

De façon à suivre ces peuplements, la méthode de suivi proposé se traduit par la réalisation de points fixe de type I.P.A (Indice Ponctuel d'Abondance), permettant de caractériser les peuplements avifaunistiques se développant à proximité de la carrière de Bois blanc.

Au total, chaque année, il est ainsi prévu de réaliser 15 points fixes, localisés dans des secteurs représentatifs de la zone d'influence du projet.

Ces relevés vont permettre de qualifier les peuplements au travers de différents indicateurs (richesse spécifique, abondance, densité...), mettant ainsi des possibles évolutions de l'avifaune terrestre.

En se référant aux enjeux réels et possibles impacts, l'avifaune terrestre reste potentiellement peu concernée par les impacts de la carrière. Il s'agira d'évaluer la réelle nécessité de mettre en place ce suivi.