



## **ACTIVITES PETROLIERES ET CETACES EN GUYANE : ETATS DES LIEUX, DESCRIPTION DES IMPACTS, EVALUATION ET PRECONISATIONS**



Claire Pusineri, responsable scientifique de l'association OSL

Avec la collaboration de l'observatoire Pelagis (Unité Mixte de Services Université de La Rochelle-CNRS) : Ludivine Martinez (chargée des activités d'expertise à destination des sociétés privées/industrielles), Flore Samaran (chargée de missions acoustiques) et Vincent Ridoux (directeur de Pelagis).

Version finale, octobre 2014

Ce rapport est issu d'une commande de l'Etat suite à une convention signée entre le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, représenté par délégation par le DEAL de Guyane, et l'Université de la Rochelle et le CNRS. L'Université de la Rochelle et le CNRS ont établi une convention de reversement avec l'association Ocean Scientific Logistic, relai local en Guyane pour la mise en œuvre de l'opération.

Pour rappel, cette convention demandait la rédaction d'une analyse bibliographique de l'impact des activités pétrolières sur les cétacés comprenant des préconisations.



**Le rapport n'engage que son auteur et l'État n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document.**

Ce rapport a été présenté et soumis pour relecture aux membres du Groupe de Travail "Sécurité-Environnement" de la Commission de Suivi et de Concertation (CSC) sur le pétrole en Guyane<sup>1</sup> le 19 juin 2014 et présenté en CSC le 09 octobre 2014.

L'auteur remercie vivement les membres du groupe de travail sécurité environnement de Guyane qui ont participé à la relecture de ce travail.

---

<sup>1</sup> Voir <http://www.guyane.developpement-durable.gouv.fr/la-commission-de-suivi-et-de-a620.html>

La liste de la documentation qui a été utilisée pour rédiger cette synthèse est disponible à partir du lien ci-dessous :

<http://www.mendeley.com/groups/3519531/mamacocosea-oil-gasactivities/papers/>

En outre, pour chaque référence citée, la liste bibliographique donnée à la fin du présent document indique le lien Internet donnant accès au document complet ou à son résumé.

Les rapports rédigés en Guyane qui ne sont pas accessibles en ligne sont disponibles auprès de l'auteur.

## ABSTRACT

### Overview

An abundant and diversified community of cetaceans for a tropical area characterizes the Exclusive Economic Zone (EEZ) of French Guiana, with 17 species identified so far and 3 times more groups detected than in the French West Indies (respectively 1.8 and 0.6 groups observed per 100 km observation flight). However, the species are threatened by several human activities, such as bycatch in fishing nets, coastal water quality degradation, and the development of oil activities since the early 2000s. Indeed, in the past ten years, 5 seismic campaigns and 5 exploratory drillings have been implemented in the EEZ.

France has committed itself to marine mammal conservation in the region through the Cartagena Convention, and more specifically through its Specially Protected Areas and Wildlife Protocol. In addition, most of marine mammals known to occur in French Guiana are classified in the IUCN Red List. Finally, all the species are protected at the national level.

However, French Guiana cetaceans remain little known and few conservation actions have been implemented. A marine mammal symposium, organized by the French Guiana Direction of Environment in 2012, identified some priority actions for marine mammal conservation. These actions included a compilation of knowledge on marine mammal conservation issues in the context of developing oil activities. The purpose of the present work is to address this priority issue. The list of documents used to prepare this summary is available from the following link:

<http://www.mendeley.com/groups/3519531/mamacocosea-oil-gasactivities/papers/>

### Assessment of the impact of oil activities on French Guiana cetaceans

In order to assess the impact of oil activities on French Guiana cetaceans, we first defined:

- Eight groups of species: humpback whale, fin and blue whale, sperm whale, beaked whale, large oceanic delphinids (false killer whale, long-finned pilot whale, Risso's dolphin), small oceanic delphinids (melon-headed whale, common dolphin, *Stenella spp.*, rough-toothed dolphin, Fraser's dolphin), delphinids of the continental shelf (bottlenose dolphin and long-beaked common dolphin), and Sotalia.

- Six categories of impact: acoustic pollution from seismic operations, acoustic pollution from motor boats + boat strikes, acoustic pollution from offshore construction works, chemical pollution from drilling fluids, chemical pollution from production waters, chemical pollution from a major accidental oil spill.

- Three scenarios of what could be the development of oil activities in French Guiana:
  - o Scenario 1 = for a period of 10 years, the following operations are conducted in the oceanic region of the EEZ: in years 1, 4, and 7, one to four months of seismic operations each year and in years 8, 9, 10, one to two drilling operations each year.
  - o Scenario 2 = scenario 1 + 5 years with the following operations conducted in both the oceanic area of the EEZ and on the Continental shelf: in years 1 and 3, one to four months of seismic operations each year and in year 5, two drilling operations.
  - o Scenario 3 = scenario 2 + exploitation of two oil wells for a period of 30 years, one on the continental shelf and one in the oceanic area.

Then the magnitude of each impact was addressed for each species' group and for each scenario, using a three-point scale:

- Minor impact = impacts are not measurable.
- Moderate impact = impacts are measurable (*e.g.* a short-term switch of behavior or distribution).
- Major impact = impacts are measurable and alter the species' function in the ecosystem (*e.g.* a long-term switch of behavior or distribution). Moderate impacts were also systematically considered as major for threatened species (*Sotalia*, fin and blue whale, as well as sperm whale).

Whenever mitigation measures were implemented during the latest operations conducted in French Guyana, we assessed the impact with and without these measures.

The risk assessment matrix (see below) shows that the categories of impact the most likely to have a major effect on cetaceans in French Guiana are acoustic pollution from seismic operations and chemical pollution from a major accidental oil spill.

After this impact assessment, the document provides guidelines to improve cetacean conservation in French Guiana, within the context of oil activities development. The report focuses only on acoustic pollution from seismic campaigns. Indeed, a major accidental oil spill would have major impacts not only on cetaceans but also on the entire ecosystem; consequently, it warrants specific work, too vast to be included in the present document.

Group of species	Scenario	Acoustic pollution from seismic operations		Boat strikes and acoustic pollution from motor boats.	Acoustic pollution from offshore construction works	Chemical pollution from drilling fluids		Chemical pollution from production waters	Chemical pollution from major accidental oil spills
		Without mitigation measure	With mitigation measure			Without mitigation measure	With mitigation measure		
Fin and blue whale	1	Major	Major	Minor		Major	Minor		Major
	2	Major	Major	Minor		Major	Minor		
	3	Major	Major	Major	Major	Major	Minor	Minor	
Humpback whale	1	Moderate	Moderate	Minor		Moderate	Minor		Major
	2	Moderate	Moderate	Minor		Moderate	Minor		
	3	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Minor	Minor	
Sperm whale	1	Major	Major	Minor		Major	Minor		Major
	2	Major	Major	Minor		Major	Minor		
	3	Major	Major	Major	Major	Major	Minor	Minor	
Beaked whale	1	Major	Moderate	Minor		Moderate	Minor		Major
	2	Major	Major	Minor		Moderate	Minor		
	3	Major	Major	Moderate	Major	Moderate	Minor	Minor	
Large oceanic delphinids	1	Major	Moderate	Minor		Moderate	Minor		Major
	2	Major	Moderate	Minor		Moderate	Minor		
	3	Major	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Minor	Minor	
Small oceanic delphinids	1	Major	Moderate	Minor		Moderate	Minor		Major
	2	Major	Moderate	Minor		Moderate	Minor		
	3	Major	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Minor	Minor	
Continental shelf delphinids	1	Minor	Minor	Minor		Minor	Minor		Major
	2	Major	Moderate	Minor		Major	Minor		
	3	Major	Moderate	Moderate	Moderate	Major	Minor	Minor	
Sotalia	1	Minor	Minor	Minor		Minor	Minor		Major
	2	Major	Major	Major		Major	Minor		
	3	Major	Major	Major	Major	Major	Minor	Major	

## Comparison of measures implemented in French Guiana to mitigate the impact of seismic activities on cetaceans with the main guidelines used as reference around the world

ASCOBANS is the Agreement on the Conservation of Small Cetaceans in the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas; JNCC is the Joint Nature Conservation Committee of UK, MMOA is the Marine Mammal Observer Association.

An \* indicates the measure was incompletely implemented in French Guiana in comparison with what is currently recommended.

MITIGATION MEASURE	ASCOBANS	JNCC	MMOA	IFREMER	GUYANE
<b>The environmental impact assessment should include:</b>					
Species description: distribution, density, seasonality...	X	X	X	X	X*
Local features of sound propagation	X		X		
Impact assessment of the acoustic device on the species (hearing damage, changes in behavior...)	X	X	X		X*
Cumulative impacts of all anthropogenic threats over time	X		X		
A seismic activities schedule to avoid impacts in times/areas critical for the species.	X	X	X	X	
A list of mitigation measures to be implemented during the seismic surveys	X	X	X		X*
<b>Mitigation measures to be implemented during the seismic surveys:</b>					
Use the lowest practicable power source and seek methods to reduce and/or baffle unnecessary high frequency noise produced by the airguns	X	X	X		
Establish a cetacean exclusion zone, either: Specific to the survey (specific to source, species and environmental features) Selected from values pre-determined for the various species and seismic source types Pre-determined whatever the context (in general 500 m)	X		X		
				X	
		X			X
Visual surveillance of the exclusion zone by a minimum of two observers (who relay one another) and at least before and during seismic activities.	X	X	X	X	X
Passive acoustic surveillance at least at night and during low visibility periods.	X	X	X		X*
Start operations only during daylight hours		X			X
Reduce (ideally stop) seismic activities at night and during low visibility periods	X				
The monitoring period prior to source activity should be of :					
30 minutes	X	X	X	X	
60 minutes (in deep-diver habitats)		X			X
120 minutes (in deep-diver habitats)	X				
Power should be built up slowly from a low energy start-up over at least 20 minutes, except when the source has been shut off for a short while (this duration varies according to guidelines)	X	X	X	X	X
Use a low power source when the main seismic source is turned off.					X
Turn off the seismic source when animals are observed in the exclusion zone.	X	X	X	X	X
Turn off seismic source during line changing period when it lasts a pre-defined duration (this duration varies according to guidelines).		X	X		X
<b>Monitoring and supervision of the mitigation measures to be implemented during the seismic survey</b>					
Monitor the acoustic source features during the whole campaign	X				X*
Impose the employment of trained and approved Observers	X	X	X	X	X
Observers must fill in a daily activity form defined in detail before the seismic campaign.		X	X	X	X*
Observers must write a report, defined before the seismic campaign, on mitigation measure implementation and marine fauna observations.	X	X	X	X	X*
<b>Develop a monitoring of marine mammal populations</b>					
Observers' visual and acoustic data and photos should be collected after the campaign for subsequent scientific analysis.			X		X*
Develop independent surveys for marine mammals monitoring	X	X			

### **Guidelines to improve cetacean conservation in the context of oil activities development.**

Most of the mitigation measures to be implemented during the seismic surveys and recommended by the main guidelines used as reference around the world have been implemented in French Guiana. The same conclusion can be drawn for their monitoring. However, some of these measures would benefit from being reinforced, such as the supervision of the data collected by the MMO.

Supervision of the processes before (i.e. environmental impact assessment, see above table) and after (i.e. marine mammal population monitoring) the seismic campaign remains to be improved. For example, the impact assessment was poorly developed compared with what is usually recommended; in particular, no measures were implemented to schedule the seismic activities in order to avoid impact in times/areas critical for the species. These limits are partly due to a lack of knowledge regarding local populations of marine mammals. Furthermore, no population monitoring was planned.

Following these conclusions, some actions are suggested in the following table in order to improve cetacean conservation in the context of oil activities development.

Needs	Objectives	Actions	Priority
1. Maintain and strengthen the measures to be implemented during the seismic surveys	1.1. Maintain and strengthen measures to be implemented during the seismic surveys.	Prepare guidelines for oil operators with a list of measures to be implemented during seismic operations.	1
	1.2. Better supervision of MMO work.	Impose, through regulation, the selection of qualified (JNCC qualification for example) and experienced observers for acoustic and visual monitoring.	1
		Check the experience and qualification of the observers.	1
	1.3. Develop monitoring and supervision procedures of these measures.	Define precisely the content of the daily information forms to be filled in by the MMO and the content of their final report.	1
2. Limit impact of activities by organising them in terms of time and space in the best interests of cetaceans	2.1. Protect critical habitats of cetaceans	Identify cetacean species' critical habitats and seasonality.	1
		Identify high heritage value areas such as marine protected areas.	1
		Restrict or forbid oil activities in critical habitats and high heritage value areas.	1
3. Improved adequacy of impact reduction measures with respect to regional environment characteristics.	3.1. Improve knowledge regarding cetaceans by exploiting data collected during seismic surveys.	Centralize data (observations, photographs, database, soundtracks) collected during the seismic surveys conducted since 2009, validate and analyze them.	3
		Check that the selected observers are motivated and experienced in scientific data collection.	2
		Provide standard protocols for scientific data collection for the MMO.	2
		Provide standard protocols for data centralization: which data should be centralized, in which format, which institution will centralize...	2
	3.2. Improve knowledge concerning cetaceans through independent studies.	Implement independent studies on cetaceans in French Guiana on: distribution, abundance, densities, critical habitats, seasonality, site fidelity, ecotoxicology...	2
		Study and model sound propagation in the different mediums (oceanic, slope, continental shelf, coastal).	1
4. Development of the monitoring of French Guiana cetacean species.	4.1. Implement monitoring measures for French Guiana cetacean species.	Implement aerial surveys for cetacean monitoring over the whole French Guiana EEZ.	2
		Implement boat-based survey for critical habitats and endangered species monitoring.	3
		Implement an ecotoxicological monitoring of cetaceans (through boat campaigns and/or bycatch).	2
		Organize a qualified and reactive stranding network for seismic activities monitoring and oil spill response.	2
		Implement the monitoring of cetacean behavior in the presence of seismic operations through data collected by MMO.	3
	4.2. Develop local expertise	Federate a group of local experts to determine and implement a monitoring plan for marine mammal populations.	2
		Train local experts in seismic activities impact.	2

## RESUME

### Contexte

La Guyane présente une diversité et une abondance de cétacés élevées avec 17 espèces identifiées et trois fois plus de groupes d'animaux détectés que dans les Antilles françaises (1,8 groupes observés pour 100km parcourus contre 0,6 obs/100km). Plusieurs pressions s'exercent sur ces animaux et en particulier : les captures accidentelles dans les filets de pêche, la dégradation de la qualité des eaux côtières et les activités pétrolières qui se sont particulièrement développées depuis le début des années 2000 avec cinq campagnes sismiques et cinq forages d'exploration réalisés en une dizaine d'années.

La France s'est engagée au niveau international, au travers de la convention de Carthagène et notamment de son protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (SPAW), à assurer la protection à long-terme de toutes les espèces de mammifères marins. En outre, la plupart des espèces de mammifères marins recensées en Guyane sont classées sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). Enfin, l'ensemble des espèces est intégralement protégé par arrêté ministériel (Arrêté du 1er juillet 2011).

Malgré ce contexte, les cétacés de Guyane restent peu connus et peu d'actions de conservation de ces espèces ont été entreprises. Le séminaire organisé par la DEAL en 2012 sur les mammifères marins de Guyane a permis d'identifier un certain nombre d'actions prioritaires dont la nécessité de réaliser une synthèse bibliographique des connaissances sur les enjeux de conservation des mammifères marins dans le cadre du développement des activités pétrolières. L'objectif du présent rapport est de répondre à ce besoin prioritaire.

### Evaluation de l'impact des activités pétrolières sur les cétacés de Guyane

Afin d'évaluer l'amplitude des effets des activités pétrolières sur les cétacés de Guyane, une matrice a été constituée, comprenant :

- huit groupes d'espèces (baleine à bosse, rorquals, cachalot, baleines à bec, grands delphinidés océaniques, petits delphinidés océaniques, delphinidés du plateau continental, dauphin de Guyane) ;

- six catégories d'impacts (la pollution acoustique causée par les activités sismiques, la pollution acoustique causée par les embarcations à moteur et les collisions, la pollution acoustique causée par les travaux en mer, la pollution chimique causée par les boues de forage ; la pollution chimique causée par les eaux de production ; la pollution des eaux causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures) ;

- trois scénarios plausibles de ce que pourrait être le développement des activités pétrolières en Guyane (scénario 1 = similaire à ce qui s'est déroulé jusqu'ici en Guyane ; scénario 2 = intensification de l'exploration pétrolière avec des activités plus fréquentes et dont l'emprise s'étend sur le plateau continental ; scénario 3 = passage à la phase d'exploitation).

L'amplitude potentielle des effets de chaque catégorie d'impacts a été évaluée pour chaque groupe d'espèces et en fonction des différents scénarios, selon une échelle à trois niveaux :

- effet négligeable (pas d'effet quantifiable sur l'espèce) ;
- effet modéré (effet négatif quantifiable, par exemple modification notable mais de court terme des comportements ou de la distribution) ;
- effet majeur (effet négatif quantifiable et susceptibles d'affecter le rôle de l'espèce dans le système, par exemple modification permanente de la distribution, ou effet modéré mais espèce menacée par ailleurs, cas du dauphin de Guyane, du rorqual et du cachalot).

Lorsque des mesures de réduction des impacts ont été mises en œuvre, nous les avons prises en compte en proposant une évaluation de l'impact sans puis avec mesures de réduction.

La matrice d'impacts ci-dessous montre que les catégories d'impacts les plus susceptibles d'avoir un effet majeur sur les cétacés en Guyane sont la pollution acoustique causée par les activités sismiques et la pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures.

La dernière partie du document propose des pistes pour améliorer la conservation des cétacés en Guyane dans le cadre du développement des activités pétrolières. Il se concentre sur la pollution acoustique produite par la sismique. La pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures aurait un effet potentiellement majeur sur l'ensemble de l'écosystème, pas seulement les cétacés, et mériterait un travail spécifique, trop important pour rentrer dans le cadre du présent document.

Groupe d'espèces	Scénario	Pollution acoustique causée par les activités sismiques		Pollution acoustique causée par les embarcations à moteur et collisions	Pollution acoustique causée par les travaux en mer	Pollution chimique causée par les boues de forage		Pollution chimique causée par les eaux de production	Pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures
		Sans mesures de limitation des impacts	Avec mesures de limitation des impacts			Sans mesures de limitation des impacts	Avec mesures de limitation des impacts		
Les rorquals	1	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Baleine à bosse	1	Modéré	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	2	Modéré	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	3	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Le cachalot	1	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Les baleines à bec	1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Majeur	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	3	Majeur	Majeur	Modéré	Majeur	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Grands delphinidés océaniques	1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Petits delphinidés océaniques	1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Delphinidés du plateau continental	1	Négligeable	Négligeable	Négligeable		Négligeable	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Modéré	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Dauphin de Guyane	1	Négligeable	Négligeable	Négligeable		Négligeable	Négligeable		Majeur
	2	Majeur	Majeur	Majeur		Majeur	Négligeable		
	3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Majeur	

## Comparaison des mesures mises en place en Guyane pour limiter l'impact de la sismique sur les cétacés, avec les préconisations les plus courantes à l'échelle internationale

ASCOBANS est l'Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord ; le JNCC est le comité de conservation de la nature de la Grande Bretagne ; la MMOA est l'association internationale des observateurs embarqués de mammifères marins. Le signe \* indique que la mesure a été appliquée mais de manière incomplète en Guyane par rapport à ce qui est généralement préconisé.

MESURE DE LIMITATION DES IMPACTS	ASCOBANS	JNCC	MMOA	IFREMER	GUYANE
<b>Rédaction d'une étude d'impact comportant les éléments suivants :</b>					
Caractéristiques des espèces présentes, de leur distribution, de leur saisonnalité...	X	X	X	X	X*
Caractéristiques de la propagation du son en fonction des caractéristiques océanographiques	X		X		
Evaluation de l'impact de la source acoustique sur les espèces présentes (dommages acoustiques, perturbation des comportements...)	X	X	X		X*
Evaluation de l'impact cumulé des campagnes sismiques et de l'ensemble des menaces d'origine anthropique, à l'échelle des individus et des populations	X		X		
Une organisation spatiale et temporelle des activités, de manière à limiter l'impact sur les habitats sensibles et/ou durant les périodes les plus sensibles pour les animaux	X	X	X	X	
Une liste de mesures de mitigation à mettre en place durant la campagne sismique	X	X	X		X*
<b>Mesures de mitigation à mettre en place durant la campagne sismique</b>					
Utiliser la source d'énergie la plus faible possible et éliminer les fréquences inutiles	X	X	X		
Instaurer une ou des zone(s) d'exclusion des cétacés, soit : spécifique à la campagne (fonction de la source sonore, des espèces, des seuils limites de dommages auditifs choisis et de la modélisation de la propagation du son) choisie à partir d'une grille de valeurs préétablie et fonction de la source sonore et des espèces de rayon fixe quel que soit le contexte (en général 500 m)	X		X		
				X	
		X			X
Mettre en place une surveillance par observations visuelles (au moins 2 personnes qui se relaient) <i>a minima</i> avant et durant les phases d'activité sismiques	X	X	X	X	X
Mettre en place une surveillance par acoustique passive ( <i>a minima</i> la nuit et quand la visibilité est mauvaise)	X	X	X		X*
Commencer les opérations le jour		X			X
Restreindre (dans l'idéal arrêter) l'activité durant la nuit ou lorsque la visibilité est mauvaise	X				
Mettre en place une recherche pré-tir dans la zone d'exclusion d'une durée de : 30 minutes 60 minutes (dans les habitats de grands plongeurs) 120 minutes (dans les habitats de grands plongeurs)	X	X	X	X	
		X			X
	X				
Mettre en place un démarrage progressif, de 20-30 min en général, sauf lorsque la source sonore a été arrêtée pour une courte durée (variable selon les lignes directrices)	X	X	X	X	X
Utiliser une source sonore de faible intensité lorsque la source sismique d'acquisition est en arrêt.					X
Arrêter la source acoustique lorsque des animaux sont détectés dans la zone d'exclusion	X	X	X	X	X
Arrêter la source sismique durant les changements de lignes d'acquisition lorsque la manœuvre dure plus d'une certaine durée prédéfinie.		X	X		X
<b>Outils de contrôle et de suivi des mesures de mitigation à mettre en œuvre durant la campagne sismique</b>					
Mettre en place un suivi des caractéristiques de la source acoustique pendant la campagne	X				X*
Exiger des observateurs et acousticiens formés et expérimentés	X	X	X	X	X
Imposer aux observateurs de remplir des formulaires quotidiens, définis avant le début des opérations, et rapportant : leur activité, les opérations sismiques et les observations d'animaux.		X	X	X	X*
Imposer aux observateurs de rendre un rapport sur les mesures mises en place, leur efficacité et les observations de faune marine, dont le contenu a été défini avant la campagne	X	X	X	X	X*
<b>Mise en place d'un suivi des populations impactées</b>					
Collecter et centraliser après la campagne les données collectées par les observateurs ainsi que les photos et les enregistrements acoustiques pour les vérifier quand cela est possible et les utiliser pour des études scientifiques			X		X*
Réaliser un suivi des populations après la campagne	X	X			

## **Préconisations pour limiter l'impact des campagnes sismiques sur les cétacés en Guyane**

La plupart des mesures de mitigation à mettre en place durant les campagnes sismiques qui sont préconisées dans les principales lignes directrices utilisées comme référence à l'échelle internationale ont été mises en œuvre en Guyane (Tableau ci-dessus) dans le cadre des arrêtés préfectoraux n°723/SG/2D3B et n°943/SG/2D3B. Il en est de même pour les outils de suivi de ces mesures. Cependant, certains de ces éléments demanderaient à être renforcés, comme le contrôle des informations collectées par les observateurs embarqués.

L'encadrement amont (étude d'impact ; tableau ci-dessus) et aval (suivi des populations ; tableau ci-dessus) des campagnes reste, lui, à améliorer. Par exemple, la notice d'impact a été peu développée par rapport à ce qui est préconisé dans les références internationales ; en particulier, aucune mesure n'a été prise pour organiser au mieux les activités dans le temps et l'espace afin de minimiser leur impact, en raison d'un manque de connaissances sur les espèces. En outre, le suivi des populations de cétacés n'a pas été prévu et permettrait des apports intéressants.

Les préconisations faites dans les paragraphes suivants découlent de ce constat.

### **1. Maintenir et renforcer à la fois les mesures de mitigation à mettre en œuvre durant les campagnes sismiques ainsi que les outils de contrôle et de suivi de ces mesures**

Afin de s'assurer du maintien des mesures de mitigation pertinentes mises en place en 2012 durant le déroulement des campagnes sismiques et de renforcer certaines mesures, il serait intéressant de rédiger un guide à l'attention des opérateurs. Ce guide n'a pas vocation à se substituer à la réglementation ; il définirait en détail les meilleures pratiques à avoir dans le contexte local, ainsi que les meilleures méthodes et normes à appliquer, et serait rédigé en concertation avec l'ensemble des acteurs. Un guide similaire a notamment été élaboré en 2012 sur commande DEAL pour la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impacts en Guyane au niveau terrestre (Biotope, 2012).

Il est aussi important de continuer à s'assurer au mieux de la qualité du travail des observateurs chargés des surveillances acoustique et visuelle de la zone d'exclusion, comme cela a été fait en 2012. Pour cela, il est recommandé de poursuivre la sélection d'observateurs qualifiés et expérimentés (selon les standards de la certification MMO du JNCC ou équivalent) et cela doit être vérifié avec le CV des personnes sélectionnées.

Pour améliorer le suivi et le contrôle de ces mesures, il serait en particulier intéressant de définir en amont et en détail les formulaires quotidiens remplis par les observateurs ainsi que leur rapport final. Des fiches descriptives de ces éléments pourraient être incluses dans le guide à l'attention des opérateurs.

Enfin, il serait intéressant de renforcer l'évaluation de ces mesures. Les modifications réglementaires prévues au niveau européen dans les années à venir (§6.1.2) devraient faire évoluer les demandes d'autorisations de travaux sismiques, qui pourraient désormais être soumises à enquête publique, ce qui irait dans le sens de cette préconisation.

## **2. Organiser au mieux les activités dans le temps et l'espace afin de limiter leur impact**

Les habitats sensibles de chacune des espèces présentes dans les eaux guyanaises et les schémas saisonniers de fréquentation de ces habitats doivent être étudiés. La définition de ces périmètres pourra permettre de maintenir l'activité pétrolière tout en limitant son impact dans ces milieux sensibles. Des limitations saisonnières de ces activités pourront être envisagées, tout ou partie de l'année. Les zones à forts enjeux patrimoniaux, telles que les aires protégées (comme la Réserve naturelle nationale du Grand Connétable) ou les ZNIEFF mer de type 1 (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique ou Floristique), devront aussi être prises en compte dans ces schémas d'aménagement. A titre d'exemple, une zone tampon pourrait être définie pour les aires protégées. Une zone tampon pourra permettre une meilleure prise en compte des zones à fort enjeux patrimoniaux lorsque les activités doivent se dérouler à proximité de celles-ci. De plus, en cas d'opérations de nettoyage, lors d'un déversement, les zones tampons pourraient être des secteurs prioritaires d'intervention, afin de mieux protéger les zones à enjeux.

## **3. Renforcer les connaissances pour mieux adapter les mesures aux spécificités régionales**

Les notices d'impacts rédigées avant la réalisation des dernières opérations pétrolières en Guyane étaient peu détaillées pour ce qui concerne les cétacés, en comparaison de ce qui peut se faire aujourd'hui dans d'autres régions du monde. La principale raison à cela est que les données disponibles sur les cétacés de Guyane, et sur le milieu marin en général, sont encore très limitées.

Pour pallier à ce problème, il serait intéressant de mieux valoriser la collecte de données d'observations qui est faite à bord des navires sismiques. La DEAL de Guyane est en train de centraliser l'ensemble des données collectées durant les campagnes menées depuis 2009, à l'exception des bandes sons. Il faut poursuivre ce travail en y incluant les données acoustiques et en le préparant en amont en définissant un protocole standard de collecte et de centralisation des données (quelles données, quel organisme, quelles bases de données...). Ces protocoles pourraient aussi être inclus dans le guide à l'attention des opérateurs. En outre, pour s'assurer que les données collectées dans le futur soient de la

qualité nécessaire aux besoins des analyses scientifiques, il serait pertinent de maintenir la présence d'observateurs embarqués qualifiés et expérimentés.

Pour mieux adapter les mesures d'accompagnement prescriptives pour les mammifères marins lors des exploitations pétrolières il est nécessaire de réaliser des études indépendantes plus précises sur les populations de cétacés de Guyane, ceci afin de mieux définir la distribution des espèces, leur abondance, leurs habitats critiques, leur saisonnalité et leur fidélité au site. Ces études devraient être conduites selon des protocoles standards validés par la communauté scientifique, afin d'obtenir des données de qualité. Une étude plus complète sur la propagation du son et en particulier dans les milieux de faible profondeur où le phénomène est très complexe serait nécessaire pour affiner les impacts potentiels de l'exploitation pétrolière.

#### **4. Assurer le suivi des populations de cétacés de Guyane**

Les activités pétrolières ont débuté dans les années soixante en Guyane. Elles ont pris de l'ampleur à partir des années 2000 et il est très probable qu'elles s'intensifient encore dans les années à venir et ce sur une dizaine d'années au moins, qu'elles débouchent ou non sur la découverte de gisements exploitables. Il est avéré que les activités pétrolières ont des impacts négatifs à court terme sur les cétacés mais les impacts à long terme sont méconnus. Il semble donc nécessaire de mettre en place un suivi sur le long terme des populations de cétacés en Guyane et cela à diverses échelles : à l'échelle de la ZEE, par survols aériens et en exploitant au mieux les données collectées à bord des navires sismiques, et à une échelle plus fine pour les espèces et habitats sensibles ou à forts enjeux patrimoniaux, par campagnes en mer en bateau et/ou par suivi acoustique et en développant le suivi des échouages.

Pour optimiser le montage et la mise en œuvre de tels projets, il paraît intéressant de poursuivre le travail fédérateur initié par la DEAL en 2012, en organisant par exemple des ateliers de travail avec l'ensemble des acteurs, permettant de définir les priorités ainsi que les moyens humains, techniques, et financiers à mobiliser. Il apparaît aussi important de développer l'expertise locale. Pour cela, il faudrait encourager la participation des acteurs locaux à des formations sur l'impact des activités sismiques sur les cétacés, ou aux événements régionaux ou internationaux traitant de ce sujet.

# TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTE : LE MILIEU MARIN DE GUYANE .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>LES PRINCIPALES ESPECES DE CETACES DE GUYANE.....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>PRESENTATION DETAILLEE DES ACTIVITES PETROLIERES.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>LES IMPACTS POTENTIELS DES ACTIVITES PETROLIERES SUR LES CETACES.....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>REGLEMENTATIONS RELATIVES AUX ACTIVITES PETROLIERES EN GUYANE.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>EVALUATION DES IMPACTS DES ACTIVITES PETROLIERES SUR LES CETACES EN GUYANE .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>RECOMMANDATIONS POUR LA CONSERVATION DES CETACES EN GUYANE DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT DES ACTIVITES PETROLIERES .....</b>	<b>81</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANNEXE 1 : QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE.....</b>	<b>107</b>
	<b>ANNEXE 2 : CLASSIFICATION DES MAMMIFERES MARINS .....</b>	<b>111</b>
	<b>ANNEXE 3 : MODELISATION DE LA PROPAGATION ACOUSTIQUE DU SIGNAL SISMIQUE PROPOSEE PAR URS (2012) .....</b>	<b>112</b>
	<b>ANNEXE 4 : PLAN DE LIMITATION DES IMPACTS PREVU PAR L'OPERATEUR POUR LES DERNIERES CAMPAGNES SISMIQUES REALISEES EN 2012 EN GUYANE.....</b>	<b>113</b>
	<b>ANNEXE 5 : DETERMINATION DES ZONES D'EXCLUSION AUTOUR DES SOURCES SISMIQUES, SELON LA METHODE ETABLIE PAR L'IFREMER (LURTON, 2013).....</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUCTION

Les caractéristiques biologiques et écologiques des mammifères marins en font des espèces particulièrement vulnérables aux impacts d'origine anthropique : leur maturation tardive et leurs faibles taux de reproduction constituent déjà un point de fragilité ; ils exploitent de plus des habitats souvent côtiers et leur alimentation comprend souvent des espèces exploitées par les pêcheries. Environ ¼ des espèces de cétacés est considéré comme étant menacé et plus de 10% d'entre elles sont listés dans les catégories « en danger critique d'extinction » ou « en danger » de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). La situation est probablement sous-estimée car plus de la moitié de ces espèces est classée dans la catégorie « données insuffisantes ».

Au cours des dernières décennies, les problématiques de conservation ont évolué. En effet, la menace principale qui pesait sur les populations de mammifères marins jusque dans les années 70 était la chasse aux grands cétacés et aux phoques ; tandis qu'aujourd'hui, d'autres menaces se développent. Le plan d'action mondial pour la conservation des cétacés 2002-2010 (Reeves et al., 2003) dresse la liste suivante des différentes menaces d'origines anthropiques qui pèsent aujourd'hui sur les mammifères marins à travers le monde : la chasse, les captures accidentelles, les modifications des réseaux trophiques par les pêcheries, la dégradation des milieux côtiers, les collisions avec les navires, le dérangement occasionné par l'observation ou la pollution acoustique de tout type et enfin, les effets du changement climatique.

Les captures accidentelles se produisent essentiellement dans les filets de pêche. Les filets maillants constituent un risque majeur pour deux espèces en voie de disparition : le marsouin de Californie (*Phocoena sinus* ; Rojas-Bracho et Reeves, 2013) et le dauphin d'Hector (*Cephalorhynchus hectori* ; Sooten, 2013). En Méditerranée, les filets dérivants ont causé des dommages importants aux populations de mammifères marins (Bearzi, 2002). Enfin, une correspondance entre les pics d'échouages et l'intensité de la pêche au chalut pélagique a été démontrée sur les côtes atlantiques françaises (Van Canneyt, 2003). Diverses études ont mis en évidence des impacts de la diminution de la ressource alimentaire liée à la pêche sur des populations de mammifères marins. Par exemple, on suppose que la diminution de la densité de dauphins communs (*Delphinus delphis*) dans les eaux côtières de la mer Ionienne est liée à la surexploitation des petits poissons pélagiques (Bearzi et al., 2006).

L'impact de la diminution des ressources alimentaires lié à d'autres facteurs tels que la pollution de l'eau ou la dégradation physique des milieux est plus difficile à mettre en évidence. Parmi les exemples existants, Bearzi *et al.* (2004) montrent un lien en Adriatique entre le déclin des populations de petits delphinidés et des problèmes à la fois de surpêche et d'eutrophisation des milieux côtiers. La dégradation des eaux côtières peut aussi avoir un impact direct sur les populations de mammifères marins car sous l'effet de la bioaccumulation, de fortes concentrations de polluants peuvent se rencontrer dans les tissus des prédateurs en bout de chaîne trophique (Aguilar *et al.*, 2002 ; Pierce *et al.*, 2008). Certains de ces polluants semblent avoir un effet négatif sur la santé des animaux et en particulier sur leur système immunitaire et sur leur reproduction (Hall *et al.*, 2006). Par exemple, en mer du Nord et en mer Baltique, les marsouins communs (*Phocoena phocoena*) échoués morts de maladies présentent de fortes concentrations en hydrocarbures (Jepson *et al.*, 2005 ; Pierce *et al.*, 2008).

Les collisions avec des embarcations à moteur (§5.2) sont à l'origine de mortalités importantes chez certaines espèces de mysticètes telles que le rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*), la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), et les baleines franches (*Eubalaena* spp.; revu par Van der Hoop *et al.*, 2012 et Van Waerebeek *et al.*, 2007), mais aussi chez certaines petites populations d'odontocètes comme le dauphin à bosse (*Sousa chinensis*), le dauphin de l'Irrawaddy (*Orcaella brevirostris*), et le marsouin aptère (*Neophocaena phocaenoides* ; revu dans Van Waerebeek *et al.*, 2007).

Le bruit généré par les activités anthropiques offshore comme le trafic maritime, les activités sismiques ou les travaux, perturbe les mammifères marins en masquant les sons qu'ils produisent pour se déplacer, trouver et capturer leurs proies, localiser leurs congénères ou encore leurs prédateurs (Tyack 1999, 2000 ; §5.1.1). Par exemple, une étude en Croatie a montré une corrélation spatiale entre la réduction de la densité de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) et l'augmentation de la densité du trafic maritime (Cañadas *et al.*, 2006). Des individus soumis à une pollution acoustique permanente peuvent sur le long-terme présenter des capacités auditives dégradées. Les sons de forte amplitude peuvent aussi détériorer l'appareil auditif des animaux marins et en particulier des mammifères marins (Southall *et al.*, 2007).

Le tourisme baleinier, activité intéressante sur le plan touristique, peut avoir des impacts négatifs sur les animaux observés par la pollution acoustique qu'il engendre mais aussi par le simple fait de la présence persistante d'embarcations auprès des animaux. A court terme, ces impacts sont essentiellement des signes de stress : changements comportementaux, augmentation des vitesses de nage, augmentation de la fréquence des vocalisations (revu dans Bejder et Samuels, 2003). Si l'activité reste peu fréquente, limitée dans le temps, et peu intrusive, ses impacts resteront de court terme et seront tolérés par la population impactée. A l'inverse, si les événements perturbateurs sont fréquents et

intensifs, ils peuvent entraîner à long terme une diminution de l'abondance de certaines populations (dans l'absolu ou suite au déplacement de certains individus vers des sites moins fréquentés ; ex : Higham et Bejder, 2008 ; Lusseau *et al.*, 2006).

Enfin, le changement climatique aggrave les impacts d'origines anthropiques. Il contribue non seulement à la dégradation ou à la perte des habitats disponibles pour les cétacés, mais impacte également leurs ressources alimentaires (poissons, plancton... ; Elliott et Simmonds, 2007).

Leur classement en tant qu'espèces vulnérables ne constitue pas le seul argument en faveur de l'amélioration de la conservation des mammifères marins. En effet, ces animaux sont particulièrement appréciés par le grand public et peuvent être utilisés à ce titre pour sensibiliser et mobiliser la population à la préservation de son environnement marin. En outre, les mammifères marins constituent des modèles pertinents pour évaluer et suivre l'état des milieux : ce sont non seulement des prédateurs qui se situent en bout des chaînes trophiques mais aussi leur mode de respiration aérienne, qui les oblige à remonter à la surface, facilite leur observation par rapport à la plupart des autres animaux marins.

En Guyane, les survols aériens de la ZEE menés dans le cadre du programme REMMOA (Van Canneyt *et al.*, 2009) puis les campagnes d'observation embarquées menées par le GEPOG (Bordin *et al.*, 2012) ont mis en évidence une diversité de cétacés élevée avec 17 espèces identifiées (§2.2.4). Les densités sont elles aussi relativement importantes pour une région tropicale avec par exemple trois fois plus de groupes d'animaux détectés que dans les Antilles françaises (Mannocci *et al.*, 2013).

Plusieurs pressions s'exercent en Guyane sur les cétacés. La pêche menace ces espèces notamment par les mortalités induites par les captures accidentelles de dauphins de Guyane (*Sotalia guianensis*) dans la pêcherie côtière au filet : 10 captures de dauphins de Guyane ont été recensées en 2008 chez les fileyeurs côtiers utilisant des tapouilles (embarcation de 13-16 m), pour environ 20% de l'effort de pêche suivi (Nalovic, 2009 ; §2.4.3). Aucune étude écotoxicologique n'a été menée sur les cétacés de Guyane mais la pollution probable des eaux côtières pourrait avoir un impact sur ces espèces comme cela a été montré au Brésil où des concentrations importantes de certains polluants ont été mesurées chez le dauphin de Guyane, comme les PCB ou le DDT dans l'Etat de Sao Paulo (Alonso *et al.*, 2010) ou le mercure dans l'Etat de Rio de Janeiro (Carvalho *et al.* 2008). En effet, la concentration de près de 90% de la population sur le littoral participe à la dégradation des milieux littoraux et marins, notamment en raison des systèmes d'épuration encore insuffisants et du rejet important de macro-déchets (sacs plastiques, canettes...) directement dans le milieu naturel. En outre, certains fleuves sont contaminés en amont par les rejets de l'orpaillage et la pollution aux pesticides (AAMP, 2009 ; §2.4.1). A tout cela vient s'ajouter l'exploration pétrolière qui a débuté en Guyane dans les années soixante et s'est développée à partir du début des années 2000 avec cinq campagnes sismiques et cinq

forages d'exploration réalisés en une dizaine d'années (§2.4.4). Ce développement des activités pétrolières constitue une autre préoccupation pour la conservation des cétacés en Guyane car son impact potentiel sur le milieu reste mal connu.

La France s'est engagée au niveau international, au travers de la convention de Carthagène et notamment de son protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (SPA), à assurer la protection à long-terme de toutes les espèces de mammifères marins. En outre, la plupart des espèces de mammifères marins recensées en Guyane sont classées sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). Enfin, l'ensemble des espèces est intégralement protégé par arrêté ministériel (Arrêté du 1er juillet 2011).

Malgré ce contexte particulier caractérisé par une diversité et une abondance de cétacés relativement élevées (Bordin *et al*, 2012 ; Mannocci *et al.*, 2013 ; Van Canneyt *et al.*, 2009), des pressions anthropiques croissantes, des statuts de protection forts et des engagements internationaux pour une protection renforcée de ces animaux, les cétacés de Guyane restent peu connus et peu d'actions de conservation de ces espèces ont été entreprises. Ce constat est aussi celui de l'Analyse Stratégique Régionale de Guyane rédigée par l'Agence des aires marines protégées (AAMP) en 2009 ; cette Analyse préconise, entre autre, de développer la connaissance du milieu marin et en particulier des espèces à « statut de protection forte » dont les mammifères marins font partie.

C'est pour cette raison que la DEAL de Guyane a organisé en 2012 un séminaire qui avait pour objectifs de faire le bilan des connaissances sur les mammifères marins en Guyane et d'engager la réflexion sur la stratégie à mettre en œuvre pour permettre le suivi, l'évaluation et la conservation de ces populations. Ce séminaire a permis d'identifier un certain nombre d'actions prioritaires dont la nécessité de réaliser une synthèse des connaissances sur les enjeux de conservation des mammifères marins au regard des activités anthropiques sur le milieu marin. L'objectif du présent travail est de répondre, dans un premier lieu, à ce besoin en proposant :

- une description de la communauté de cétacés de Guyane ;
- une description des différentes activités pétrolières : campagnes sismiques, forages d'exploration et exploitation ;
- une description des impacts potentiels des différentes activités sur les cétacés ;
- une évaluation des différents impacts sur les différents groupes de cétacés présents en Guyane ;
- des préconisations pour améliorer la conservation des cétacés et le suivi des populations dans le cadre du développement de ces activités.

Le document est une synthèse de la documentation disponible sur le milieu marin et les cétacés de Guyane et celle de l'impact des activités pétrolières sur les cétacés et des mesures de limitation de ces effets.

## 2 CONTEXTE : LE MILIEU MARIN DE GUYANE

### 2.1 Milieu physique

#### 2.1.1 Géomorphologie

La Zone Economique Exclusive (ZEE) de Guyane s'étend sur une surface totale de 138 000 km<sup>2</sup> et est constituée de quatre habitats (Figure 1 ; AAMP, 2009).

- Une bande côtière qui s'étend jusqu'à environ 20-30 km de la côte, où les eaux sont très peu profondes (0-20 m) et les fonds vaseux, et qui est sous l'influence de l'Amazone et des fleuves de Guyane.

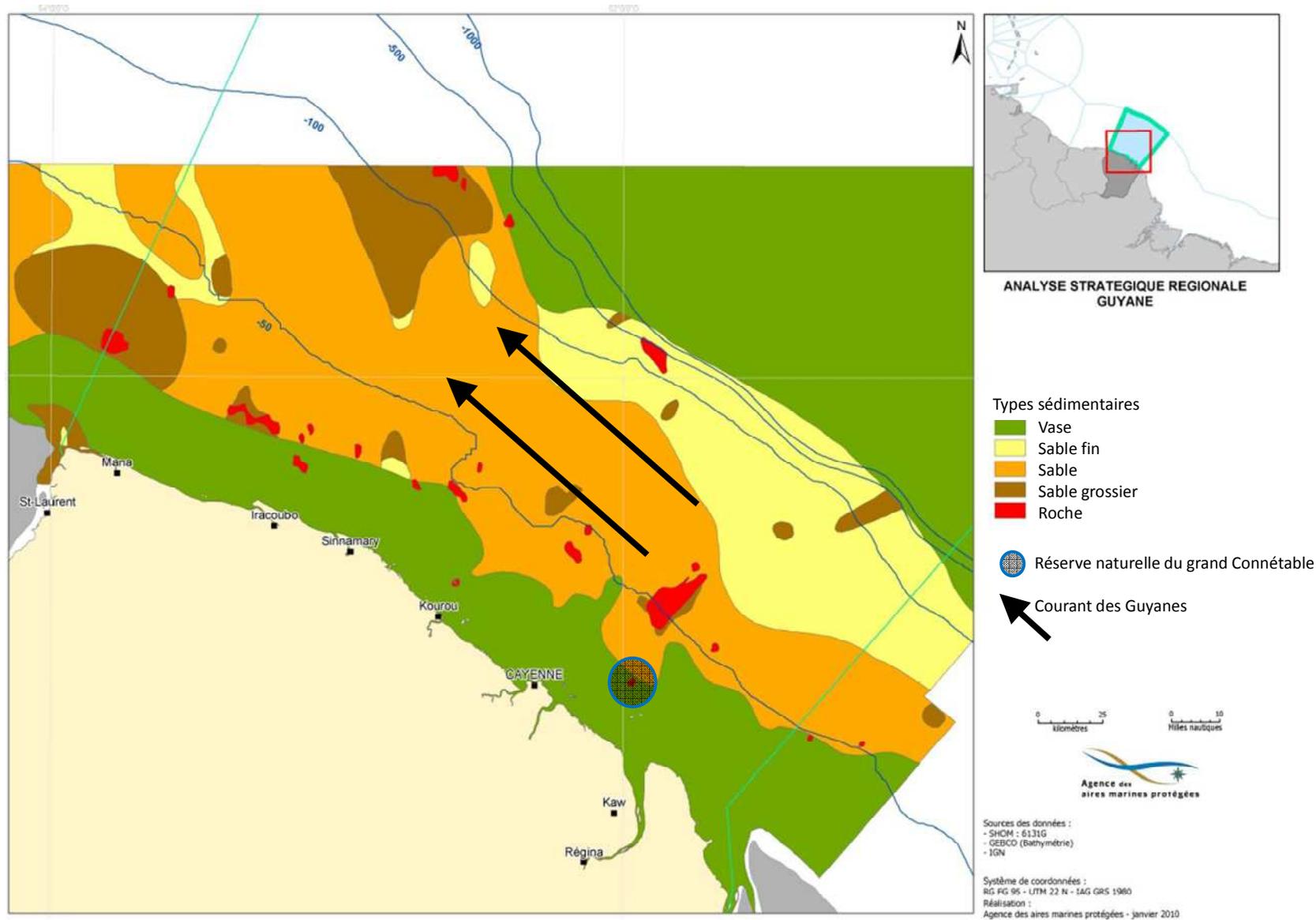
- Un plateau continental qui s'étend jusqu'à environ 100-120 km de la côte, et présente des fonds marins en pente douce (0,6-0,7 m/km) jusqu'à 200 m de profondeur. Les sédiments y sont caractérisés par des sables, ponctués de temps à autre par des zones de vases indurées, des zones rocheuses, et des récifs coralliens fossiles.

- Le talus très pentu et entaillé de canyons sous-marins. Dans sa partie sud-est, le talus plonge rapidement pour atteindre 3000 m de profondeur. A l'inverse, au nord-ouest, au niveau du Plateau de Démérara, la pente est plus douce et le fond marin n'atteint les 3000 m de profondeur qu'à environ 300 km de la côte. Le talus constitue aussi une frontière entre les zones sableuses du plateau et la vase océanique mais on y trouve aussi quelques affleurements rocheux.

- La zone océanique, qui s'étend au-delà du talus à partir de 370 km de la côte, présente des profondeurs comprises entre 3000 m et 5000 m.

#### 2.1.2 Courants, vents et houles

Le courant Sud Equatorial, qui traverse l'Atlantique d'Est en Ouest, se sépare en deux branches distinctes à l'approche du plateau continental brésilien, autour de la latitude 10°S. L'une des branches part vers le Sud (courant du Brésil) et l'autre vers le Nord, pour donner naissance au courant Nord Brésil puis au courant de Guyane (Baklouti, 2012). Le courant de Guyane longe les côtes sur une largeur de 200 à 300 milles (Figure 1). Sa vitesse varie de 0,2 à 4,2 nœuds ; elle est plus importante le long du talus continental et maximale entre avril et mai (CREOCEAN, 2012a). Ce courant subit une réflexion et tend à se diriger vers l'Est au niveau de la latitude 5°N. Cela génère des tourbillons sur le plateau qui se déplacent vers le nord-ouest et les Caraïbes. Ce phénomène est plus important en saison sèche mais semble persister toute l'année (Froidefond, 2012).



**Figure 1** : Caractéristiques du milieu marin de la ZEE de Guyane (AAMP, 2009)

La Guyane est soumise à des alizés de nord-est en saison des pluies (décembre à juillet) et de sud-est en saison sèche (juillet à décembre). Ces vents sont faibles à modérés et ne dépassent pas les 80 km/h (CREOCEAN, 2012a).

La mer est plus calme en Guyane durant la saison sèche et en particulier entre juillet et octobre, où plus de 50% des houles sont inférieures à 1,5 m. Les plus fortes houles sont observées entre décembre et mars avec des hauteurs pouvant aller jusqu'à 3,5-4,0 m (CREOCEAN, 2012a).

### **2.1.3 Caractéristiques des masses d'eau**

Les conditions biogéochimiques des eaux de Guyane sont fortement influencées par les eaux de l'Amazone. On distingue trois zones, en fonction du degré de cette influence (Figure 1 ; Froidefond, 2012 ; Ternon et Guiral, 2012).

- Une zone côtière qui subit une forte l'influence des eaux amazoniennes. La turbidité y est très importante et malgré des concentrations en nutriments élevées, la production phytoplanctonique est limitée par le manque de lumière.

- La première partie du plateau continental est sous une plus faible influence des eaux amazoniennes. La turbidité y est moindre mais la concentration en sels nutritifs est toujours importante en surface, ce qui favorise une forte productivité primaire. Cette zone de forte productivité est plus ou moins étendue selon la saison : elle peut aller jusqu'à 250-300 km au large entre mars et juin, reste très importante en début de saison sèche, puis se réduit petit à petit pour être minimale en fin de saison sèche et en début de saison des pluies.

- La partie externe du plateau, le talus continental et le milieu océanique sont caractérisés par des eaux salées marines, une turbidité faible, des concentrations en sels nutritifs faibles et en conséquence une faible biomasse phytoplanctonique.

## **2.2 La grande faune marine**

### **2.2.1 Les Poissons**

A ce jour, 363 espèces de poissons sont recensées en Guyane. Cependant, les poissons étant essentiellement recensés grâce au suivi des captures de pêche, les données disponibles concernent essentiellement les espèces cibles et accessoires des pêcheries (Léopold, 2012).

Dans la zone côtière, la communauté de poissons est dominée par des espèces adaptées à un milieu dessalé, turbide et envasé, comme les machoirans (ariidés), les acoupas (*Cynoscion spp.*), les loubines (*Centropomus spp.*) et les raies (Rajiformes ; Léopold, 2012).

Dans la première partie du plateau, caractérisée par des fonds vaseux-sableux de 30 à 50 m, les sciaenidés (acoupas et courbines) dominant. Au-delà, sur les fonds de sable, on trouve essentiellement des poissons chauves-souris (*Ogcocephalus nasutus*), des grondins (*Prionotus punctatus*), des rascasses (*Scorpaena spp.*) et des poissons plats (Pleuronectiformes). Au niveau des affleurements rocheux, les vivaneaux (lutjanidés) sont abondants et dans certaines anciennes formations coralliennes, on observe des espèces caractéristiques de ces milieux comme les mérours (*Epinephelus spp.*), le palika ou tarpon (*Megalops atlanticus*) et les thazards (*Scomberomorus spp.* ; Léopold, 2012).

Au niveau du talus et des plaines abyssales, les quelques informations disponibles montrent que l'on trouve dans les eaux profondes des petits poissons caractéristiques des grands fonds océaniques comme les alepocephalidés, les macrouridés et les stomiidés et en surface des petites espèces comme les exocoetidés ainsi que des grands pélagiques tel que les raies manta, les requins, les espadons et les bonites (AAMP, 2009 ; Léopold, 2012).

### 2.2.2 Les tortues marines

La Guyane est un territoire clé pour la reproduction des tortues marines. Cinq espèces peuvent y être observées et trois espèces y nidifient régulièrement (AAMP, 2009). La plus représentée est la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), pour qui la Guyane constitue un des principaux sites de ponte de l'Atlantique (de mars à août). Deux autres espèces sont communes et nidifient sur le territoire : la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*) et la tortue verte (*Chelonia mydas*), dont certains juvéniles se nourrissent sur les algues des zones rocheuses des îles. La tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) et la tortue caouanne (*Careta careta*) sont aussi observées mais très occasionnellement.

Toutes ces espèces sont intégralement protégées par l'arrêté du 17 juillet 1991, fixant la liste des tortues marines protégées dans le département de la Guyane, et sont classées dans la liste rouge de l'UICN.

### 2.2.3 Les oiseaux pélagiques

Une communauté importante d'oiseaux de mer est observée en Guyane, dont les principales espèces sont les suivantes (AAMP, 2009) :

- La frégate superbe (*Fregata magnificens*) s'observe surtout dans la bande côtière et aux alentours de l'île du Grand Connétable, où elle niche toute l'année.
- La sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) est présente toute l'année, en particulier dans la bande côtière.

- La sterne de Cayenne (*Thalasseus sandvicensis eurygnatha*), la sterne royale (*Thalasseus maximus*) et la mouette atricille (*Leucophaeus atricilla*) nichent au Grand Connétable d'avril à juillet mais sont observées toute l'année, surtout dans la bande côtière.

- La sterne fuligineuse (*Sterna fuscata*) et le nodd brun (*Anous stolidus*) nichent en petit nombre au Grand Connétable d'avril à juillet, mais sont présentes toute l'année. La sterne fuligineuse se distribue en particulier au niveau du tombant et dans le milieu océanique.

- Le puffin des Anglais (*Puffinus puffinus*) est observé toute l'année, surtout au niveau du talus et dans le milieu océanique.

- L'océanite cul-blanc (*Oceanodroma leucorhoa*) et l'océanite de Wilson (*Oceanites oceanicus*) sont surtout présents au niveau du tombant du plateau continental.

La frégate, les sternes, les noddis, les mouettes et les goélands sont intégralement protégés en Guyane (Arrêté Ministériel du 15 mai 1986). A l'exception de la sterne de Cayenne, toutes ces espèces sont classées dans la catégorie 'préoccupation mineure' (*least concern*) de la liste rouge de l'UICN.

#### 2.2.4 Les cétacés

Les survols de la ZEE de Guyane réalisés dans le cadre du programme REMMOA (Van Canneyt *et al.*, 2009), les campagnes d'observation embarquées menées par le GEPOG (Bordin *et al.*, 2012) et les campagnes d'exploration sismiques (Shell, 2012a et b; Hardman, 2010) ont mis en évidence une diversité de cétacés relativement élevée en Guyane, avec 17 espèces identifiées (Tableau 1). Les taux d'occurrence sont eux aussi relativement importants pour une région tropicale avec en moyenne 2,5 groupes détectés pour 100 km parcourus pour la campagne du GEPOG (navire) et 1,8 obs./100km pour la campagne REMMOA (avion), contre par exemple 0,6 obs./100km dans les Antilles françaises (avion). En zone très côtière, l'espèce la plus rencontrée est le dauphin de Guyane ou sotalie (*Sotalia guianensis*). Sur le reste de la ZEE, les survols REMMOA ont montré un cortège d'espèces largement dominé par le grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Des grands cétacés ont été aussi régulièrement observés durant cette campagne sur le talus et dans le milieu océanique : des baleines à bec (ziphiidés), des rorquals (balaenopteridés) et le cachalot (*Physeter macrocephalus*). L'inventaire pélagique du GEPOG a mis en évidence des communautés plus diversifiées, dominées par les petits delphinidés des genres *Stenella* et *Delphinus*, accompagnés de la présence notable de grand dauphin sur le plateau, du péponocéphale (*Peponocephala electra*) sur le talus et du cachalot dans le domaine océanique. Les deux études mettent en évidence l'importance particulière du talus où les densités sont beaucoup plus fortes : 149 ind/100km contre 13 sur le plateau et 38 en milieu océanique (Bordin *et al.*, 2012).

D'autres espèces ont été observées par les observateurs embarqués lors des trois campagnes d'exploration sismiques réalisées au niveau du talus (Shell, 2012a et b; Hardman, 2010) : la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), le Rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), la Baleine à bec de True (*Mesoplodon mirus*), l'orque pygmée (*Feresa attenuata*), le dauphin de clymène (*Stenella clymene*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le dauphin commun (*Delphinus delphis*), le dauphin de Fraser (*Lagenodelphis hosei*), et l'orque (*Orcinus orca*);). Ces identifications sont intéressantes car elles permettent de compléter la liste des espèces présentes au niveau du talus, qui est une zone très peu étudiée de par son éloignement de la côte. Néanmoins, quelques doutes subsistent quant à l'identification de certaines de ces espèces, qui peuvent facilement être confondues avec d'autres. C'est le cas en particulier de la Baleine à bec de True (qui n'est habituellement pas observées en dessous de la latitude 30°), les différentes espèces de *Stenella spp.*, le dauphin commun ou encore l'orque pygmée. En attendant que ces identifications soient validées avec l'appui de photographies, le choix a été fait de les considérer comme probables. Nous avons fait trois exceptions pour la baleine à bosse, pour laquelle des photographies sont disponibles, mais aussi pour le rorqual bleu et l'orque, pour lesquels une erreur d'identification est peu probable.

La France est signataire du protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (SPAW) de la Convention de Carthagène qui vise entre autre à assurer la protection à long-terme de toutes les espèces de mammifères marins. En outre, la plupart des espèces de mammifères marins recensées en Guyane sont classées sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Enfin, l'ensemble des espèces est intégralement protégé par l'Arrêté ministériel du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection, et qui interdit entre autre : « La destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation compromette la conservation de l'espèce en remettant en cause le bon accomplissement des cycles biologiques. »

**Tableau 1** : Liste des cétacés identifiés dans la ZEE de Guyane (Bordin *et al.*, 2012 ; Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b ; Van Canneyt *et al.*, 2009)

Nom commun	Nom scientifique	Certitude de l'identification	UICN	CITES	SPAW
Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	certaine	En danger	I	II
Rorqual bleu	<i>Balaenoptera musculus</i>	certaine	En danger	I	II
Baleine à bosse	<i>Megaptera novaeangliae</i>	certaine	Préoccupation mineure	I	II
Cachalot	<i>Physeter macrocephalus</i>	certaine	vulnérable	I	II
Baleine à bec de cuvier	<i>Ziphius cavirostris</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Baleine à bec de True	<i>Mesoplodon mirus</i>	incertaine	Manque de données	II	II
Orque	<i>Orcinus orca</i>	certaine	Manque de données	II	II
Globicéphale tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	certaine	Manque de données	II	II
Pseudorque, faux orque	<i>Pseudorca crassidens</i>	certaine	Manque de données	II	II
Orque pygmée	<i>Feresa attenuata</i>	incertaine	Manque de données	II	II
Péponocéphale	<i>Peponocephala electra</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin de Guyane	<i>Sotalia guianensis</i>	certaine	Manque de données	I	II
Sténo	<i>Steno bredanensis</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin de Fraser	<i>Lagenodelphis hosei</i>	probable	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin de risso	<i>Grampus griseus</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin à long bec	<i>Stenella longirostris</i>	certaine	Manque de données	II	II
Dauphin tacheté de l'Atlantique	<i>Stenella frontalis</i>	certaine	Manque de données	II	II
Dauphin tacheté pantropical	<i>Stenella attenuata</i>	certaine	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin de Clymene	<i>Stenella clymene</i>	probable	Manque de données	II	II
Dauphin bleu et blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	probable	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	incertaine	Préoccupation mineure	II	II
Dauphin commun à long bec	<i>Delphinus capensis</i>	certaine	Manque de données	II	II

## 2.3 Les aires marines protégées

Il n'existe aucune aire marine protégée à proprement parlé en Guyane. En revanche, la Réserve Naturelle du Grand Connétable dispose d'un périmètre marin représentant 7 852 ha centrés sur l'île du Grand Connétable, assurant une zone de tranquillité autour de ce site d'importance majeur pour la nidification des oiseaux de mer. Le site accueille en effet la nidification de six espèces d'oiseaux marins : la frégate superbe, la sterne de Cayenne, la sterne royale, la sterne fuligineuse, la mouette atricille et le nodd brun.

## 2.4 Les activités anthropiques

### 2.4.1 Les rejets d'origine terrestre

La très grande majorité de la population guyanaise (90%) se répartit sur le littoral. L'assainissement des eaux usées étant insuffisant, cette concentration de la population entraîne une pollution chimique et biologique des eaux côtières (AAMP, 2009). Par exemple, en 2009, 13 plages ont fait l'objet d'un contrôle sanitaire, à partir duquel quatre plages ont été interdites à la baignade.

La pollution provenant des bassins versants est peu connue. Les deux principales sources potentielles sont l'orpaillage et l'agriculture. La superficie agricole est encore faible et le programme de suivi de la qualité des eaux en milieu agricole n'a jamais mis en évidence de pollution significative par les phytosanitaires (AAMP, 2009). Une étude sur les taux de Mercure menée entre 2008 et 2011 sur cinq espèces de poissons marins carnivores côtiers (machoirans, *Hexamematichthys Proops*, loubine noire, *Centropomus Undecimalis*, acoupa rouge, *Cynoscion Acoupa*, croupia grand-mer, *Lobotes Surinamensis*, et mérour, *Epinephelus itajara*) et une espèce du large (le vivaneau rouge, *Lutjanus purpureus*) a montré que moins de 2% des poissons présentaient des concentrations en mercure supérieures aux recommandations de l'OMS (0,50 mg Hg/g de poids frais) et que 8% dépassaient la norme de qualité environnementale (NQE) européenne (0,2 mg Hg/g ; Noël et al., 2012).

### 2.4.2 La plaisance et le fret maritime

L'activité de plaisance en Guyane est relativement limitée et localisée. Environ 2 000 bateaux de plaisance sont immatriculés dont la moitié font moins de 5 m de long. Deux ports seulement sont adaptés pour recevoir les bateaux de plaisance : les marinas de Dégrad-des-cannes et de Kourou. La majorité des bateaux sont affectés à la plaisance en rivière et proche littoral, en particulier dans les secteurs des îles du Salut, des îlets Rémire et des battures du Grand Connétable (AAMP, 2009).

Le fret maritime est lui aussi relativement limité avec deux ports équipés pour recevoir des grandes embarcations : Dégrad-des-cannes à Rémire Montjoly et Kourou-Pariacabo. En 2004, le trafic portuaire était évalué à 128 mouvements de navires internationaux et 67 mouvements de pétroliers (Figure 2 ; AAMP, 2009).

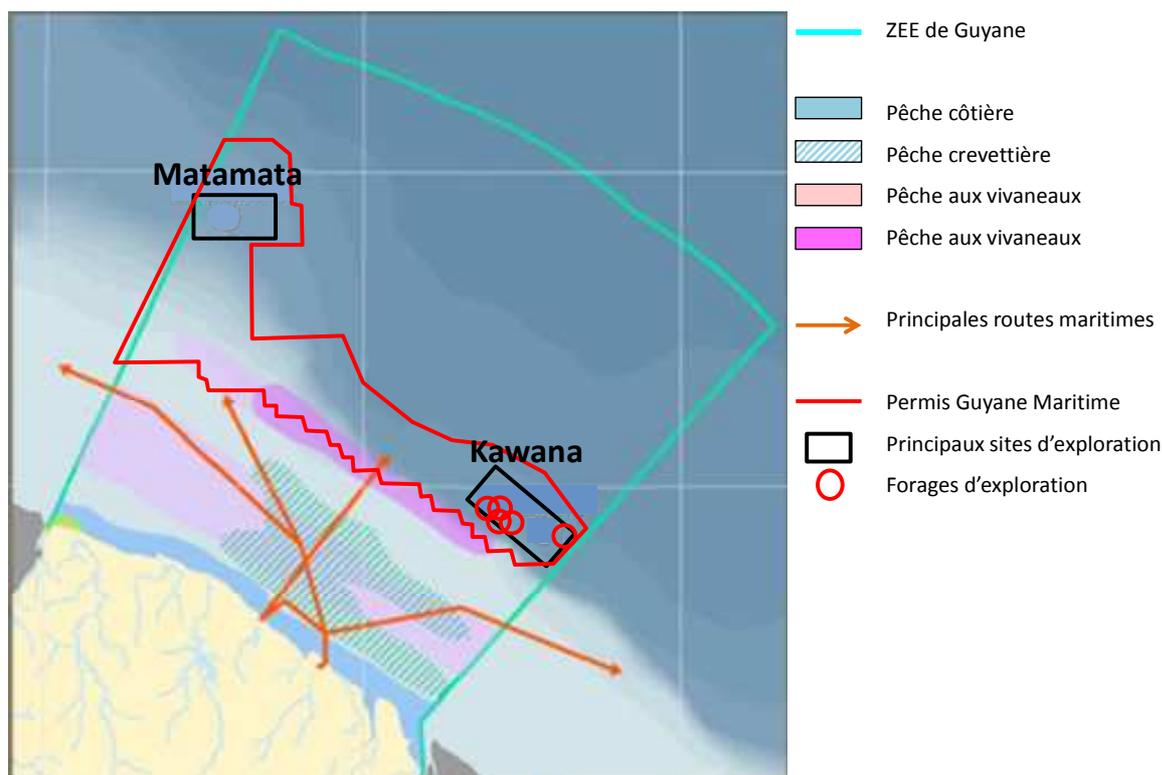
### 2.4.3 La pêche

Il existe trois pêcheries en Guyane : la pêche côtière artisanale, la pêche industrielle crevettière et la pêche industrielle au vivaneau (Figure 2 ; Bourguignon, 2012a). Une pêche illégale de grande envergure en provenance du Surinam et du Brésil est également une des caractéristiques de ce domaine d'activité en Guyane (Levrel, 2012).

La pêche côtière est pratiquée sur tout le littoral, sur des fonds allant jusqu'à 15 m environ, par une flotte d'une centaine d'embarcations de type canots créoles améliorés (une dizaine de mètres) et tapouilles (13-16 m, Bourguignon, 2012a). Les espèces phares de cette pêche sont les acoupas (sciaenidés) puis les machoirans (ariidés). La réglementation impose une longueur maximale pour les filets de 2 500 m et les mailles sont en général de 9 cm environ. Les techniques les plus fréquemment utilisées sont le filet maillant dérivant et le filet droit fixe (Nalovic, 2009). Cette pêche est responsable d'un nombre important de captures accidentelles de dauphins et de tortues marines : 10 captures de dauphins de Guyane et 24 captures de tortues marines ont été recensées en 2008 chez les fileyeurs côtiers utilisant des tapouilles (embarcation de 13-16 m), pour environ 20% de l'effort de pêche suivi (Nalovic, 2009). Une pêche illégale est pratiquée sur environ les  $\frac{3}{4}$  de la zone côtière guyanaise mais plus particulièrement au niveau des deux frontières, par des embarcations surinamaises et brésiliennes. Le nombre d'embarcations illégales représentait en 2010 environ 60% du nombre total d'embarcations présentes dans les eaux Guyanaises pour une production entre 2,5 et 3 fois supérieure à la production légale locale (Levrel, 2012).

La pêche crevettière est pratiquée sur le plateau par des chalutiers industriels guyanais. Deux zones de pêche existent : la première entre 20 m et 50 m de fond et la seconde, prépondérante, entre 60 m à 70 m de fond (Figure 2 ; AAMP, 2009). La flotte est constituée d'environ 20 à 30 chalutiers d'une vingtaine de mètres, équipés de deux chaluts de petites tailles trainés de part et d'autre du navire. Seuls deux types de crevettes sont exploités : les crevettes dites *brown* (*Farfantepenaeus subtilis*) et les crevettes *pink* (*Farfantepenaeus brasiliensis* ; Bourguignon, 2012a). Cette pêche est en difficulté car elle est difficilement rentable et la reproduction des crevettes a été faible ces dernières années (Bourguignon, 2012b).

La pêche industrielle aux vivaneaux est pratiquée au niveau du talus par une flottille de ligneurs vénézuéliens (10 à 30 bateaux) et quelques caseyeurs antillais (4 à 10, Bourguignon, 2012a). La pêche des ligneurs s'effectue à la dérive avec une ligne de 10 à 15 mètres et armée de 5 à 6 hameçons. Les deux principales espèces exploitées vivent sur des fonds de 50 à 120 mètres, principalement sur des récifs coralliens fossiles ou des zones rocheuses. Cette pêche montre des signes de surexploitation des stocks depuis plusieurs années (Bourguignon, 2012b).



**Figure 2** : Synthèse des principales activités anthropiques offshore (d'après AAMP, 2009)

#### 2.4.4 Les activités pétrolières

La prospection pétrolière en Guyane a débuté en 1964 avec l'attribution d'un permis d'exploration à la Société PETROMAR. Entre cette date et la fin des années 70, les permis et les opérations se succèdent avec : quatre campagnes sismiques en 1964, 1972, 1976 et 1977 et trois forages d'exploration : deux en 1975 par petit fond (48 m) et grand fond (2000 m) et un en 1978 par grand fond (3950 m ; AAMP, 2009). Ces recherches n'ayant pas donné de résultats satisfaisants, les opérations se sont ensuite arrêtées jusqu'au début des années 2000.

En 2001, le Permis d'Exploration Guyane Maritime est attribué pour 5 ans à la Société *Planet Oil Limited*. Il couvre 65 000 km<sup>2</sup>, entre la limite des eaux territoriales et 3 000 m de profondeur. En 2002, une campagne de prospection sismique en 2D a couvert 7 700 km linéaire sur la partie ouest de la zone du permis. Cette première phase a été complétée en 2005 par une nouvelle campagne de prospection en 3D, de quelques centaines de km<sup>2</sup>, sur la partie centrale et orientale de la zone du permis. Deux sites potentiels de forages ont alors fait l'objet d'études approfondies : l'un à l'est dit « Kawana », situé à 2400 m de profondeur, au pied du talus continental, et l'autre à l'ouest dit « Matamata » à 1200 m de profondeur, rattaché au domaine du talus continental (AAMP, 2009).

Le permis d'exploration a été renouvelé en 2007 jusqu'à 2011, mais limité cette fois à la zone du talus du plateau continental (d'environ 200 m à 3 000 m de profondeur, Figure 2), et muté au profit de la société *Hardman Petroleum France SAS*. De septembre 2009 à février 2010, une nouvelle campagne de prospection sismique 3D à l'ouest du site de Kawana a été menée, couvrant au total 2800 km<sup>2</sup> (CREOCEAN, 2012a). Au sein de ce périmètre, des zones potentielles d'accumulation d'hydrocarbures ont été identifiées. Un premier forage d'exploration (GMES1) a été réalisé sur le site Zaedyus en 2011 afin de confirmer les résultats de la sismique.

En 2011, le permis est à nouveau prolongé jusqu'en 2016, au profit du consortium *Hardman Petroleum France SAS, Shell Exploration and Production France SAS, Total E&P Guyane Française SAS*. Dans le cadre de ce permis, deux campagnes sismiques ont été réalisées en 2012, sur le site Kawana, de part et d'autre de la zone prospectée en 2009-2010. Les aires de prospection se trouvaient à 130 km de la côte, sur le talus, sur des fonds compris entre 250 m et 3 000 m (CREOCEAN, 2012a). Une zone Est, de 600 km<sup>2</sup>, a été prospectée en juillet 2012 et une zone Ouest, de 4700 km<sup>2</sup>, a été prospectée entre les mois d'août et décembre 2012, par le navire M/V *Oceanic Phoenix* opéré par *CGGVeritas* (Shell, 2012a et b). En outre, le consortium a procédé entre mi-2012 et jusqu'à fin 2013 à la réalisation de quatre forages d'exploration pétrolière afin de mieux connaître le gisement avant de décider d'une éventuelle mise en production. Les sites de forage sont tous situés sur le talus, sur des fonds de l'ordre de 2 000 m ; ils visaient des réservoirs géologiques mis en évidence par la campagne sismique de 2009-2010 (CREOCEAN, 2012b). Les forages GMES2 et GMES3 sont localisés au nord-ouest du premier forage d'exploration réalisé en 2011 (GMES1), et le forage GMES5 est situé au nord-est. Enfin, le forage GMES4 a été réalisé sur le site de Cebus, situé à 50 km au sud-est de GMES1. Ces quatre forages, comme celui réalisé en 2011, n'ont pas mis en évidence de réservoirs d'hydrocarbures exploitables.

De 2011 à 2013, huit demandes de permis d'exploration ont été déposées. Pour la zone du plateau continental, quatre permis ont été demandés, pour des secteurs similaires, qui s'étendent du talus à la limite des eaux territoriales, de part et d'autre des deux frontières, pour une surface d'environ 35 000 km<sup>2</sup>. Pour le milieu océanique, trois permis ont été déposés, pour des aires qui s'étendent du talus, en continuité de Guyane Maritime, jusqu'aux bordures de la ZEE, avec des surfaces allant de 35 000 km<sup>2</sup> à 50 000 km<sup>2</sup>. Enfin, un permis a été déposé, pour une surface de 11 000 km<sup>2</sup> environ, située dans le secteur du talus (MEDDE, 2014). Deux demandes ont été sélectionnées suite à la première instruction des dossiers par le ministère et ont été soumises à consultation du public en juin : la demande nommée « Guyane Maritime SHELF », dont l'emprise se situe sur le plateau continental et la demande « Guyane Maritime UDO », qui s'étend sur le domaine maritime profond (MEDDE, 2014). L'avis final du ministère doit être rendu dans les mois qui viennent.

### 3 LES PRINCIPALES ESPECES DE CETACES DE GUYANE

#### 3.1 Les rorquals



**Figure 3** : rorqual commun (*Balaenoptera physalus*)

Les rorquals (Figure 3) sont des mysticètes qui appartiennent à la famille des balaenopteridés. Deux espèces de ce groupe ont été observées avec certitude dans la ZEE de Guyane, le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus* ; Shell 2012b ; Van canneyt *et al.*, 2009); cependant, le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) est sans doute présent.

Les rorquals sont caractérisés par un corps élancé avec un dos aux tons gris clair à foncé, en fonction de l'espèce, et une face ventrale plus claire, voir blanche. De l'extrémité du museau au nombril, la face ventrale est parcourue de plis. L'aile dorsal, situé en position postérieure, est petit par rapport à la taille de l'animal, en particulier chez le rorqual bleu. Le petit rorqual ne dépasse pas 10 m, contre 27 m pour le rorqual commun et 33 m pour le rorqual bleu (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Les trois espèces peuvent être observées dans toutes les régions de tous les océans (jusqu'à la limite de la banquise) mais elles semblent moins fréquenter les régions équatoriales. Elles sont en général migratrices (bien qu'il existe quelques populations résidentes) : elles s'alimentent en été dans des eaux tempérées à polaires et se reproduisent en hiver dans les eaux tropicales. Elles fréquentent en général les tombants et les milieux océaniques mais le petit rorqual est aussi souvent observé sur les plateaux continentaux. Le rorqual bleu est en général observé seul ou en paire, le rorqual commun en groupe de 2 à 7 individus et le petit rorqual en petit groupe de 1 à 3 individus (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Cependant, des groupes plus importants peuvent être observés dans les zones de nourrissage.

Quelques éléments du cycle de vie sont connus chez le rorqual commun et le petit rorqual : la maturité sexuelle est atteinte entre 6 et 12 ans chez le rorqual commun et entre 3 et 8 ans chez le petit rorqual (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Il semble que le rorqual commun puisse atteindre 80-90 ans, contre une cinquantaine d'années pour le petit rorqual.

Les rorquals se nourrissent principalement de krill, ou d'autres espèces de crustacés aux caractéristiques similaires. Ils consomment aussi de petites espèces de poissons et de céphalopodes pélagiques, grégaires et à forte valeur énergétique.

En Guyane, durant la campagne de survols aériens de 2008, un rorqual non identifié a été observé dans le milieu océanique, ainsi que deux rorquals communs solitaires, au niveau du talus (Van Canneyt *et al.*, 2009). Durant les campagnes sismiques, au niveau du talus, une observation de deux baleines bleues a été collectée, ainsi que quatre observations de rorquals communs, dont deux étaient composées de 2 individus (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b).

### 3.2 La baleine à bosse



**Figure 4** : baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*)

La baleine à bosse (Figure 4) est un mysticète (baleines à fanons) qui appartient à la famille des balaenopteridés (Annexe 2).

Elle est caractérisée par un corps de grande taille et massif qui peut mesurer jusqu'à 17 m pour 40 tonnes, une bosse située juste avant le petit aileron dorsal, une tête allongée qui porte des protubérances, une coloration sombre sur tout le corps à l'exception de la face ventrale grisâtre, et de grandes nageoires pectorales en forme de battoirs (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

La baleine à bosse est présente dans tous les océans. Elle vit et se nourrit de krill dans les hautes latitudes en été puis migre vers les régions tropicales en hivers durant sa période de reproduction. On l'observe en milieu océanique durant ses migrations et sur les plateaux continentaux ou dans les lagons durant les périodes de nourrissage et de reproduction.

Mâles et femelles atteignent leur maturité sexuelle vers cinq ans et peuvent vivre plus de 50 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

En Guyane, neuf observations de baleines à bosse, dont quatre de couples mère-petit, ont été réalisées durant les campagnes sismiques, au niveau des hauts fonds du talus, entre août et décembre (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b).

### 3.3 Le Cachalot



**Figure 5** : cachalot (*Physeter macrocephalus*)

Le cachalot est la plus grande espèce d'odontocètes et l'unique représentant de la famille des physétéridés (Figure 5). Il se caractérise par un corps massif gris foncé à brun et une grosse tête carrée. Le dimorphisme sexuel est poussé avec des femelles mesurant au maximum 12 m contre 18 m pour les mâles.

Les cachalots se distribuent dans toutes les eaux de tous les océans, de l'équateur, aux abords de la banquise des deux hémisphères. Cependant, les femelles sont en général observées dans les zones tropicales et subtropicales à des latitudes inférieures à 40 ; tandis que les mâles adultes migrent jusqu'au niveau des cercles polaires et ne fréquentent les eaux chaudes que de manière ponctuelle pour se reproduire (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). On observe les cachalots le plus souvent dans le milieu océanique et sur la pente des talus continentaux ou les pentes péri-insulaires. Les femelles forment des groupes stables avec les autres individus du même sexe de leur famille. Les jeunes mâles quittent ces groupes à un âge encore mal défini, pour former des groupes de jeunes qui se séparent ensuite lorsque les individus sont en âge de se reproduire (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Les femelles atteignent leur maturité sexuelle vers 9 ans, contre 10-20 ans pour les mâles. Les individus semblent pouvoir vivre au moins 70 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Les cachalots sont des grands plongeurs. Ils chassent à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres, jusqu'à plus de 1 000 m et peuvent rester sous l'eau plus d'une heure. Leurs proies sont préférentiellement les calmars océaniques, mais ils peuvent consommer aussi des poissons et des élastomobranques (requins, raies, chimères) dans certaines régions (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

En Guyane, le cachalot a été observé à trois reprises lors de la campagne de survols aériens de 2008 (Van Canneyt *et al.*, 2009), sept fois durant la campagne en mer par bateau du GEPOG en 2011-2012 (Bordin *et al.*, 2012) et quatre fois durant les études sismiques (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b). Ces observations représentent respectivement 2%, 11% et 2% des groupes de cétacés observés lors des différentes campagnes. Toutes étaient localisées dans le milieu océanique, à la limite du tombant, au-dessus de fonds compris entre 2 000 m et 3 000 m. Ces groupes étaient composés de 1 à 7 individus et des couples mère-petit ont été identifiés à trois reprises.

### 3.4 Les baleines à bec



**Figure 6 :** baleine à bec de Blainville (*Mesoplodon densirostris*)

Les baleines à bec sont des odontocètes de la famille des ziphiidés. Une espèce a été identifiée en Guyane, la baleine à bec de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), ainsi qu'un genre, les *Mesoplodon*, qui pourrait être représenté en Guyane par la baleine à bec de Blainville (*Mesoplodon densirostris*, Figure 6), la baleine à bec de Gervais (*Mesoplodon europaeus*).

Les baleines à bec se caractérisent par un corps allongé (4 à 7m en fonction des espèces), de section ronde et de couleur gris-foncée à brune. Une petite dorsale est située très en arrière et le rostre est en général bien marqué. Les mâles portent une paire de dents sur la mâchoire inférieure, dont l'emplacement sur la mâchoire et la dimension varient selon les espèces.

Les baleines à bec de Cuvier et de Blainville sont réparties dans tous les océans, de l'équateur, aux latitudes 50° pour la première et 40° pour la seconde. La baleine à bec de Gervais n'est connue que dans l'Atlantique, de l'équateur à la latitude 40°. Ces espèces sont essentiellement océaniques (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Le cycle de vie n'est bien connu que chez la baleine à bec de Cuvier. L'espèce pourrait vivre jusqu'à 60 ans environ ; la maturité sexuelle serait atteinte vers 7-11 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Les baleines à bec sont en général observées seules ou en groupes de quelques individus.

Comme le cachalot, les baleines à bec sont des grands plongeurs capables de sonder plusieurs dizaines de minutes (jusqu'à 1h) vers des fonds de plusieurs centaines de mètres à plus de 1000 m pour capturer leur proies : principalement des céphalopodes mais aussi des poissons et des crustacés (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

En Guyane, 7 observations de baleines à bec ont été réalisées lors des survols aériens de 2008, ce qui représente 5% des groupes de cétacés observés (Van Canneyt *et al.*, 2009). Les groupes étaient composés de 1 à 3 individus et étaient situés dans le milieu océanique et la pente externe du talus continental. Durant les campagnes sismiques, une baleine à bec de Cuvier a été observée, ainsi qu'un mésoplodon (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b).

### 3.5 Les grands delphinidés océaniques



**Figure 7** : globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*)

Trois grands odontocètes de la famille des delphinidés ont été rassemblés dans ce groupe : les globicéphales tropicaux (*Globicephala macrorhynchus*), la plus abondante des trois espèces en Guyane, le pseudorque (*Pseudorca crassidens*) et le dauphin de Risso (*Grampus griseus*).

Les globicéphales se caractérisent par un grand corps (5-7 m) de couleur gris-foncé uniforme à l'exception de zones claires dans la région ventrale (Figure 7). Leur tête est massive, carrée et dépourvue de rostre, et leur aileron dorsal est massif et falciforme. Les pseudorques ont une coloration et une taille (4-5 m environ) similaires à celles du globicéphale mais ils s'en distinguent par leur tête arrondie et allongée et leur petit aileron falciforme. Le dauphin de Risso est caractérisé comme le globicéphale par une tête carrée dépourvue de rostre, mais sa taille est plus modeste (3-4 m), son corps est gris et couvert de stries et son aileron dorsal est long et pointu.

Les trois espèces se distribuent dans les eaux tropicales et tempérées jusqu'aux latitudes d'environ 40° pour le globicéphale, 50° pour les pseudorques et 60° pour le dauphin de Risso (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). On les observe en général au niveau des talus continentaux et des milieux océaniques. Les groupes sont en général de taille importante pour le globicéphale (quelques centaines d'individus), et plus modeste pour les deux autres espèces (plusieurs dizaines d'individus).

L'âge de maturité sexuelle serait de 10 ans environ pour le globicéphale et 12 ans pour le pseudorque. Le globicéphale et le pseudorque pourraient vivre plus de 60 ans et le dauphin de Risso plus de 35 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Les trois espèces se nourrissent essentiellement de proies océaniques. Le dauphin de Risso et le globicéphale semblent avoir une préférence pour les céphalopodes qu'ils chassent surtout la nuit.

Les globicéphales ont été observés à huit reprises lors des survols aériens de 2008, une fois lors des campagnes en mer du GEPOG et quinze fois lors des campagnes sismiques ; ce qui représente respectivement 6%, 2% et 9% des observations de cétacés réalisées lors de ces campagnes (Bordin *et al.*, 2012 ; Van Canneyt *et al.*, 2009). Il s'agissait de groupes constitués de 2 à 35 individus, observés principalement au niveau du talus et du milieu océanique. Un groupe d'une dizaine de dauphins de Risso a aussi été observé durant les survols et quatre groupes durant les campagnes sismiques. Enfin, neuf groupes de pseudorques ont été observés durant les campagnes sismiques (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b).

## 3.6 Les petits delphinidés océaniques

### 3.6.1 Le péponocéphale



**Figure 8** : péponocéphales (*Peponocephala electra*)

Les péponocéphales sont des delphinidés, proche des globicéphales mais de taille plus réduite (environ 2,5 mètres). La silhouette est relativement robuste et la coloration brune, à l'exception de la face ventrale qui est plus claire (Figure 8). La tête est dépourvue de rostre mais relativement allongée et les « lèvres » sont blanchâtres.

L'espèce est connue pour fréquenter les régions tropicales et subtropicales de tous les océans, entre les parallèles 40° Nord et 35° Sud (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Le péponocéphale est essentiellement océanique et on l'observe en particulier au niveau des talus continentaux et des pentes péri-insulaires en groupes de quelques centaines d'individus (100-500).

L'âge à maturité sexuelle du péponocéphale est d'environ 7 à 16 ans. L'espèce peut vivre plus de 40 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Il semble que son alimentation soit composée essentiellement de céphalopodes et de poissons de grands fonds chassés la nuit lorsque ces espèces remontent à quelques centaines de mètres de la surface.

Lors de la campagne en mer en bateau du GEPOG, 4 observations de péponocéphales ont été réalisées, ce qui représente 6% des groupes de cétacés observés (Bordin *et al.*, 2012). La taille moyenne des groupes était d'une centaine d'individus. L'espèce a aussi été observée à cinq reprises durant les campagnes sismiques (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b). Toutes ces observations ont été réalisées au niveau du talus.

### 3.6.2 Les autres espèces



**Figure 9** : dauphin à long-bec (*Stenella longirostris*)

En plus du péponocéphale, trois autres espèces de petits delphinidés ont été régulièrement observées au large de la Guyane : le dauphin à long bec (*Stenella longirostris* ; Figure 9), le dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*) et le dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata* ; Bordin *et al.*, 2012 ; Van Canneyt *et al.*, 2009). On notera aussi la présence du Sténo (*Steno Bredanensis*) qui n'a été observé qu'une seule fois (Bordin *et al.*, 2012) ainsi que la présence probable de quatre autres espèces, observées durant les campagnes sismiques, mais dont l'identification reste à confirmer : le dauphin de clymène (*Stenella clymene*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le dauphin commun (*Delphinus delphis*) et le dauphin de Fraser (*Lagenodelphis hosei* ; Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b).

Ces espèces sont caractérisées par un corps élancé et de petite taille (1,8 m à 2,7 m, en fonction des espèces), un rostre fin et relativement long, sauf pour le dauphin de Fraser dont le rostre est très court, une coloration gris foncé sur le dos, gris clair à blanc sur la face ventrale et variable sur les flancs en fonction des espèces.

Toutes ces espèces se répartissent dans les eaux tropicales et tempérées de tous les océans, sauf pour le dauphin tacheté de l'Atlantique et le dauphin de clymène, qui ne s'observent qu'en Atlantique (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Elles sont essentiellement océaniques, mais le dauphin à long bec, le dauphin tacheté pantropical et dauphin tacheté de l'Atlantique affectionnent aussi particulièrement les talus continentaux et les pentes péri-insulaires.

On observe en général des groupes de quelques centaines à un millier d'individus, sauf pour le sténo qui est rarement observé en groupe de plus d'une centaine d'individus (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

En fonction de l'espèce, les petits delphinidés semblent pouvoir vivre jusqu'à 25-40 ans. La maturité sexuelle est atteinte entre 4 et 15 ans et les femelles donnent naissance à un petit tous les 2 à 3 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Ces espèces se nourrissent principalement de petits poissons et de céphalopodes grégaires et pélagiques, entre la surface et 300 m de profondeur. Elles chassent préférentiellement la nuit, lorsque les petites proies océaniques remontent vers la surface de la colonne d'eau.

Durant la campagne du GEPOG, 23 observations de ces petits delphinidés ont été collectées ; ce qui représente 35% des observations de cétacés (Bordin *et al.*, 2012). Les fréquences de rencontres avec le dauphin à long bec, le dauphin tacheté de l'Atlantique et le dauphin tacheté pantropical sont relativement équilibrées et représentent respectivement 9%, 11% et 12% des observations. Ces espèces ont été observées le plus souvent au niveau du talus (77% à 87%), puis au niveau du milieu océanique (13% à 22%) et rarement sur le plateau (0% à 1%). Au cours des études sismiques réalisées au-dessus du talus, 79 groupes de petits delphinidés du large ont été observés, soit 49% des observations, dont la majorité, 52 groupes, étaient des dauphins à long-bec (Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b). Les données du GEPOG ne confirment pas cette dominance du dauphin à long bec en milieu océanique ; cette différence pourrait avoir été causée par des erreurs d'identifications plus fréquentes durant les campagnes sismiques car les observateurs sont plus éloignés des animaux. Au cours de la campagne de survols aériens de 2008, seulement 8 groupes de petits delphinidés ont été détectés (Van Canneyt *et al.*, 2009). Cette faible fréquence de rencontres est à rapprocher du grand nombre d'observations de grands dauphins collectée durant cette étude (§3.7.1) et laisse penser qu'il y aurait eu confusion entre ces deux groupes d'espèces.

### 3.7 Les delphinidés du plateau continental

#### 3.7.1 *Le grand dauphin*



**Figure 10** : grand dauphin (*Tursiops truncatus*)

Le grand dauphin est un delphinidé à la morphologie caractéristique : un corps de taille moyenne (maximum 3,8 m), relativement robuste et de couleur grise qui s'éclaircit du dos vers la face ventrale. Le rostre est court et large (Figure 10).

L'espèce se distribue dans les eaux tropicales et tempérées de tous les océans, jusqu'à 55°N dans l'Atlantique. Il fréquente surtout les plateaux continentaux jusqu'à la côte, mais il existe quelques populations océaniques. Les groupes sont en général de petite taille (2 à 15 individus) mais des agrégations de plusieurs centaines d'individus sont parfois observées au large (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Le grand dauphin peut vivre jusqu'à plus de 50 ans. La maturité sexuelle est atteinte vers l'âge de 5-13 ans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

L'alimentation de l'espèce est très variable en fonction du milieu. Il s'agit de poissons et de céphalopodes de tous types : pélagiques ou benthiques, solitaires ou grégaires, vivant en surface ou en profondeur.

Cinq observations de groupes de grands dauphins ont été réalisées lors des campagnes en mer par bateau du GEPOG et treize lors des campagnes sismiques; ce qui représente dans les deux cas 8% des groupes de cétacés observés (Bordin *et al.*, 2012 ; Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b). Les groupes étaient situés sur le plateau dans le cas de la campagne du GEPOG et sur le talus pour les opérations sismiques. Durant la campagne de survols aériens de 2008, 70 observations de grands dauphins ont été collectées, ce qui représente la moitié des observations de cétacés (Van Canneyt *et al.*, 2009). Ces observations sont réparties de la manière suivante : 29 en milieu côtier, 27 sur le plateau et en 17 en milieu océanique. Il est possible que des erreurs d'identification expliquent en partie cette forte dominance de l'espèce dans les observations.

### 3.7.2 *Le dauphin commun à long-bec*

Le dauphin commun à long-bec (*Delphinus capensis* ; à ne pas confondre avec le dauphin à long-bec, *Stenella longirostris*) est caractérisé par un corps élancé de petite taille (2 à 2,5m environ), un rostre long et fin, une coloration gris-foncée sur le dos, claire sur le ventre, et un motif de sablier caractéristique sur les flancs avec une coloration blanc-jaune à l'avant et grise à l'arrière. Il se répartit sur les plateaux continentaux dans les eaux tropicales et subtropicales de tous les océans (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

La taille des groupes est en général de quelques individus à quelques dizaines (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002). Peu de données existent sur le cycle de vie de cette espèce. Comme pour le grand dauphin, son alimentation est très variable : poissons ou céphalopodes de types pélagiques ou benthiques, solitaires ou grégaires (Jefferson *et al.*, 2008 ; Perrin *et al.*, 2002 ; Reeves *et al.*, 2002).

Durant la campagne du GEPOG, cinq observations de cette espèce ont été collectées ; ce qui représente 8% des observations de cétacés (Bordin *et al.*, 2012). Ces observations ont été uniquement réalisées sur le plateau continental. Cette espèce semble aussi avoir été vue une fois au cours des campagnes sismiques (Hardman, 2010).

### 3.8 Le dauphin de Guyane



**Figure 11** : le dauphin de Guyane (*Sotalia guianensis*)

Le dauphin de Guyane ou Sotalie est un petit delphinidé, dont la morphologie est caractéristique des dauphins de la sous-famille des delphininés, mais un peu plus robuste et de taille modeste (maximum 2,2 m, mais généralement inférieur à 2,0 m, Figure 11). Sa coloration est bleu-gris sur le dos et rose à gris clair sur la face ventrale. Il fréquente les eaux côtières et les embouchures des fleuves des côtes atlantiques d'Amérique du Sud, depuis le Nicaragua jusqu'au sud du Brésil. On l'observe en général en petits groupes de quelques individus à quelques dizaines.

Les dauphins de Guyane peuvent vivre plus de 40 ans. Ils atteignent leur maturité sexuelle vers 5-7 ans et la femelle donne naissance à un petit tous les 2 ans environ (Rosas *et al.*, 2010).

Ils se nourrissent de tous types de poissons et de céphalopodes côtiers, de tailles comprises en général entre quelques cm et une quinzaine de cm, qu'ils chassent dans toute la colonne d'eau (Rosas *et al.*, 2010).

Le nombre d'observations de groupes de dauphins de Guyane réalisés lors des campagnes était de 22 pour les survols aériens et 11 pour les campagnes bateau, soit respectivement 16% et 17% des groupes de cétacés observés (Bordin *et al.*, 2012 ; Van Canneyt *et al.*, 2009). La taille moyenne de ces groupes était de 3 individus. Tous étaient distribués dans la bande côtière. Les densités estimées de l'espèce sur le plateau sont de 0,0439 individus par km<sup>2</sup> dans le cas des survols et 0,0061 individus par km<sup>2</sup> dans le cas des campagnes bateau. L'abondance de l'espèce estimée par survols aériens est de 1 942 individus (CV=37%, IC 95 % 928 – 4 063).

## 4 PRESENTATION DETAILLEE DES ACTIVITES PETROLIERES

### 4.1 Les études sismiques

#### 4.1.1 Principes

Les hydrocarbures s'accumulent par migration ascendante dans les zones perméables de certaines formations géologiques, formant ainsi des réservoirs. Les études sismiques ont pour but de détecter la présence de formations rocheuses abritant de tels réservoirs. Pour cela, on utilise une source sismique, composée en général de plusieurs canons à air qui émettent des ondes de fortes intensités et de basses fréquences dirigées vers le fond de la mer. Ces ondes sont en partie réfléchies par la surface des sédiments, ainsi qu'à chaque changement de structure du sous-sol, comme les poches d'hydrocarbures. Les ondes réfléchies sont enregistrées par des hydrophones (flûtes ou « *streamers* ») tirés derrière le navire à la surface de la mer. Les signaux reçus sont ensuite transmis à un équipement de traitement présent à bord et sont analysés afin de révéler les structures géologiques sous-marines.

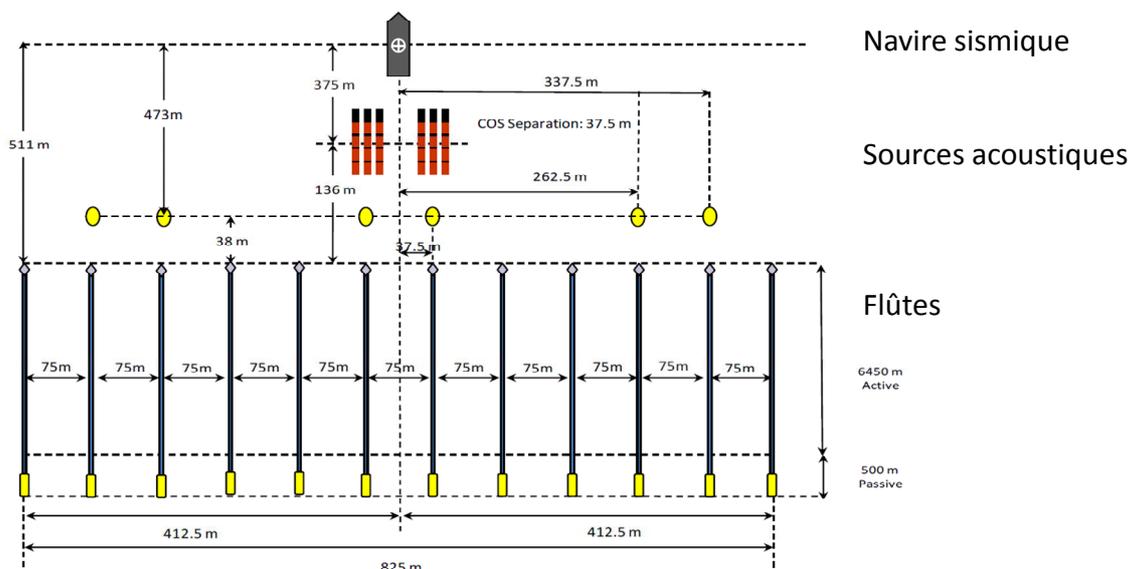
Il existe deux grandes catégories d'opérations sismiques : les opérations 2D et les opérations 3D (pour deux et trois dimensions respectivement). Dans le cas des études 2D, les données sont acquises selon des lignes, tandis qu'en 3D, les données sont acquises sur des surfaces. On réalise en général dans un premier temps des études en deux dimensions, qui fournissent des données moins détaillées mais collectées plus rapidement et donc sur de plus grandes surfaces. Si des zones d'intérêt particulier sont détectées, on lance alors des études en trois dimensions sur ces secteurs.

#### 4.1.2 Le matériel et le mode opératoire

Un navire sismique mesure en général 100 à 120 m de long. Dans le cas de la sismique 2D, le navire traîne à environ 200 m derrière lui et à quelques mètres sous la surface, une source acoustique (*air-gun arrays*) composée de plusieurs canons à air. Après cette source acoustique, et à environ 500 m du navire, est remorqué un câble appelé flûtes (*streamers*) et constitué en général d'une douzaine d'hydrophones, sur une longueur de plus de 12 km (Frisk *et al.*, 2003; NOAA, 2013). Dans le cas de la sismique 3D, le navire traîne plusieurs sources acoustiques (en général deux ou trois) et une dizaine de flûtes (Figure 12). La largeur totale de l'équipement est d'environ 800 m.

Durant les campagnes sismiques réalisées par *Shell* en 2012, le navire sismique était l'*Oceanic Phoenix*. Long de 114 m, il remorquait deux sources acoustiques, à 6 m de profondeur, et 14 flûtes, immergés à une profondeur de 8 m. L'ensemble mesurait environ 7,5 km de long sur 800 m de large. Les sources acoustiques étaient chacune composées de 16 canons à air de type SODERA G-Gun et fonctionnaient en alternance (Shell, 2012a). L'intérêt de la présence de deux sources acoustiques est de couvrir à chaque trait environ deux fois plus de surface qu'avec un système mono-source et donc de limiter le nombre de passages. Durant les campagnes sismiques réalisées par Harman en 2010, le navire sismique était le M/V *Geo Caribbean* qui mesure 101 m de long. Il remorquait deux sources acoustiques et 12 flûtes. L'ensemble de l'appareillage mesurait environ 7 km de long sur 1 km de large (Harman, 2010).

Le navire effectue successivement des traits de navigation parallèles, à une vitesse comprise entre 3 et 5 nœuds. Dans le cas de la sismique 2D, ces traits sont espacés en général de plusieurs kilomètres ; tandis qu'en 3D, les traits sont proches les uns des autres. En fin de trait, le navire effectue un virage à 180°. Compte-tenu de la longueur du dispositif formé par le navire et les flûtes, un rayon de giration et un temps de manœuvre relativement longs (environ 2h) sont nécessaires pour effectuer ce virage, durant lequel les canons à air sont en général éteints. Le navire opère la plupart du temps jour et nuit et la campagne peut durer des jours à des mois, en fonction de la surface à explorer et de la météo (CREOCEAN, 2012a).

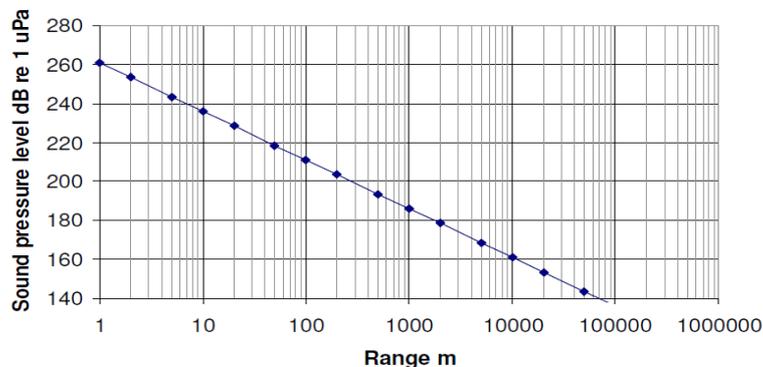


**Figure 12** : Configuration du navire sismique durant les campagnes de Shell de 2012 (Shell, 2012a)

### 4.1.3 Les émissions acoustiques

Quelques notions de base d'acoustique sont données en Annexe 1.

Une source acoustique (composée d'un ensemble de canons à air) aux normes de l'industrie produit une pression acoustique d'environ 240 à 265 dB re 1 $\mu$ Pa à 1 mètre crête à crête<sup>2</sup> et est tiré en général toute les 10-20 secondes (Caldwell et Dragoset, 2000 ; Richardson *et al.*, 1995). Par exemple, les sources acoustiques utilisées durant la campagne de Hardman (2010) étaient d'environ 263 dB re 1 $\mu$ Pa à 1 mètre crête à crête. Dans le cadre des campagnes sismiques réalisées en 2012 en Guyane, les sources acoustiques utilisées généraient une pression acoustique d'environ 261 dB re 1 $\mu$ Pa à 1 mètre crête à crête (URS 2012). Lorsque plusieurs sources acoustiques sont utilisées, elles sont en général tirées en alternance, ce qui n'augmente donc pas la puissance des émissions acoustiques. Le document d'URS (2012) présente une modélisation de la propagation acoustique sous-marine d'un signal sismique à l'aide d'une loi simple de propagation géométrique (Annexe 3). Cette relation générique permet d'établir le niveau sonore en fonction de la distance à la source. D'après ce travail, la pression acoustique générée par une source sismique de 261 dB re 1 $\mu$ Pa @1m pic à pic est encore de 215 dB re 1 $\mu$ Pa à une centaine de mètres des sources, et 185 dB re 1 $\mu$ Pa à 1000 m (Figure 13), sur le plan horizontal comme vertical.



**Figure 13** : modélisation de la pression acoustique en fonction de la distance à la source, générée par la source sismique utilisée en Guyane en 2012 (URS, 2012).

L'essentiel de l'énergie produite par une source acoustique se situe dans une bande de fréquences comprise entre 10 Hz et 200 Hz, avec un large pic autour de 20-120 Hz (Breitzke *et al.*, 2008). Cependant, de l'énergie est également générée dans une gamme de fréquences plus élevées, jusqu'à environ 20 KHz (Breitzke *et al.* 2008 ; Goold et Fish, 1998, Madsen *et al.* 2006).

---

<sup>2</sup> Les différentes unités de niveau sonore sont décrites en Annexe 1

Le signal sismique est dominé par une impulsion forte, qui atteint un niveau maximal pendant une durée d'environ 20 ms, puis qui se dégrade pendant une période qui peut se prolonger jusqu'à 0,1 sec (URS, 2012). Les sources sonores sont tractées à une vitesse de 5 nœuds et des impulsions sont émises toutes les 10-20 secondes (Frisk *et al.*, 2003).

## 4.2 Les forages d'exploration

Les forages d'exploration ont pour objectif de valider les informations collectées sur les réservoirs potentiels lors des campagnes sismiques (présence d'hydrocarbures, propriétés du réservoir ...). La durée de ces forages est variable en fonction de la profondeur, de la nature du sédiment et de la méthode de forage utilisée, mais elle est en général de 1 à 3 mois. Après réalisation du forage, les puits sont rebouchés définitivement ou abandonnés temporairement.

La phase de forage implique l'utilisation de boues de forages. Elles sont utilisées pour assurer la remontée des déblais de forage, refroidir et lubrifier l'outil de forage et maintenir les parois du puits par la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement. Il existe deux grandes catégories de boues de forage, en fonction de la composition de leur base fluide : les boues aqueuses, qui ont une base fluide composée d'eau et les boues synthétiques, plus performantes mais plus polluantes, dont la base fluide est une huile synthétique. Ces boues comportent aussi un produit alourdissant (barite et/ou bentonite) et des additifs chimiques, variables en fonction du contexte et utilisés pour donner des propriétés particulières à la boue (en matières de poids, de viscosité, de stabilité, de résistance à la chaleur, de capacité de refroidissement et de lubrification de l'équipement, ou encore pour lui donner un caractère biocide ou limitant le risque de corrosion des outils ; Lee *et al.*, 2011). Il existe deux modes opératoires principaux : soit l'utilisation exclusive de boue aqueuse, soit l'utilisation de boue aqueuse en début de forage puis de boues synthétiques pour la phase de forage plus profond. Par exemple, en Guyane lors du premier forage réalisé en 2011, seules des boues aqueuses ont été utilisées ; tandis que les deux types de boues ont été utilisés pour les forages suivants. Il est donné ci-dessous l'exemple de ce second mode opératoire, décrit par CREOCEAN (2012b), qui permet d'avoir un aperçu assez complet des méthodes qui peuvent être utilisées.

Lors de la première phase des derniers forages réalisés en Guyane, le creusement était assuré par une boue aqueuse, dont la base fluide était de l'eau de mer alourdie par de la bentonite (argile naturelle) et rendue plus visqueuse par de la gomme xanthane (épaississant utilisé dans l'industrie alimentaire). Le pH était contrôlé par ajout de soude et de carbonate de sodium. Au cours de cette première phase, des produits ont été petit à petit additionnés à l'eau de mer tels que du polyglycol, de la lignite, du lignosulfonate de chrome et de la chaux. La boue de forage était rejetée dans le milieu et s'épandait sur le fond marin,

mélangée aux déblais. Le volume déblais et de boue déversé directement sur le fond avait été estimé à environ 1000 m<sup>3</sup> pour ce cas précis (CREOCEAN, 2012b), sachant qu'un forage réalisé avec des boues à base d'eau génère en général un volume compris entre 1100 et 2000 m<sup>3</sup> (Lee et *al.*, 2011).

Lors de la seconde phase de creusement du puits, un tubage complet était installé, permettant ainsi une circulation fermée des boues de forage. La boue de forage de synthèse utilisée alors était constituée d'environ 63 % d'oléfines (un hydrocarbure), 21% d'eau, et 9% de baryte (un minéral comportant du sulfate de baryum) et d'autres composés en moindre proportion (ex : polyamide, sel, bentonite, acide oléique, chaux, argile, acides gras, glycol, polyacrylate ; CREOCEAN, 2012b). Ces composés comportent un certain nombre de métaux lourds comme le chrome, le cuivre, le mercure, ou encore l'arsenic (Neff, 2002). Le fluide de forage une fois de retour en surface, était séparé des déblais de forage puis réinjecté dans la circulation. Les déblais de forage, qui restaient imprégnés en moyenne de 5% de boue de forage, étaient rejetés dans le milieu marin, juste en-dessous de la surface de la mer. Les modèles de CREOCEAN (2012b), estimaient que dans le cas précis de ce forage, en fonction de leur taille, les particules demeureraient de 25 min à 12 jours dans la colonne d'eau et se dispersaient à une distance maximale de 229 km du puits (CREOCEAN, 2012b). Les déblais de la seconde phase du forage représentaient un volume de 491 m<sup>3</sup> dans le cas du premier des 4 puits réalisés. Un forage réalisé avec des boues synthétiques génère en général entre 300 et 1300 m<sup>3</sup> de déblais (Lee et *al.*, 2011). En fin de forage, le fluide de forage synthétique était stocké pour être reconditionné et réutilisé ultérieurement.

A la suite du forage d'exploration, des essais de pompage peuvent être réalisés. Ces essais ont pour objectif d'évaluer entre autre la productivité du puits et d'échantillonner du pétrole. Une fois que le forage d'exploration a atteint le réservoir et permis d'améliorer sa connaissance, il est rebouché par des obturateurs mécaniques puis des mortiers de ciment, afin d'éviter les fuites d'hydrocarbures.

### **4.3 L'exploitation**

L'exploitation du réservoir d'hydrocarbures peut durer plusieurs dizaines d'années et est assurée par une plateforme pétrolière. Il en existe deux grands types : la plateforme fixe, qui s'appuie sur le fond et ne peut être utilisée que dans des milieux de quelques centaines de mètres de profondeur et la plateforme flottante, utilisée en haute mer, qui est soit ancrée, soit maintenue par des câbles fixés au fond de la mer.

La phase d'exploitation est donc précédée d'une phase de construction ou de mise en place de la plateforme, qui peut durer jusqu'à 2 ou 3 ans dans le cas d'une plateforme fixe (Frisk *et al.*, 2003). Ces travaux peuvent nécessiter des dynamitages pour aplanir le sol et du battage de pieux. Les explosions dégagent une pression acoustique d'environ 272 à 287 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m (niveau sonore de crête), avec une gamme de fréquences allant de 2Hz à 1kHz et un pic à 6-21 Hz, durant 1 à 10 ms (Richardson *et al.*, 1995; OSPAR, 2009). La pression acoustique produite par le battage de pieux varie entre moins de 170 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m à plus de 250 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m, en niveau sonore moyen. Le spectre de fréquences est compris entre environ 20 Hz et 20 kHz, avec un pic entre 100 et 200 Hz (OSPAR, 2009). La phase de travaux peut aussi être à l'origine d'une augmentation temporaire de la turbidité du milieu, en particulier dans les milieux peu profonds (NOAA, 2013).

Une fois mises en place, les plateformes continuent à générer du bruit. Erbe *et al.* (2013), par exemple, ont étudié la production sonore de six plateformes flottantes (FPSO, *Floating Production Storage and Offloading*), ancrées à l'ouest de l'Australie. Leur production sonore était en moyenne de 173 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m, avec des fréquences allant de 20 Hz à 2,5 kHz, pour un pic à 20-80 Hz.

Lors du pompage des hydrocarbures, de l'eau contaminée est produite, qui provient de l'eau naturellement piégée dans le réservoir et de l'eau injectée dans ce dernier lorsqu'il est pratiquement vide pour faciliter le pompage. Cette eau de production constitue le rejet le plus important de la phase d'exploitation : elle représente en moyenne 2 à 3 fois le volume d'hydrocarbures pompé et un puits en produit en général plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètre-cubes par jour. Elle est rejetée en général entre 10 et 100 m de la surface. Sa composition précise est très variable d'un réservoir à l'autre mais elle contient en général (Lee *et al.*, 2011) : des composés organiques, en particulier des hydrocarbures, du carbone organique et des acides, des ions, en particulier des ions ammonium et des métaux (comme le baryum, le fer, le manganèse, le mercure et le zinc), qui peuvent atteindre des concentrations élevées par rapport à leur concentration naturelle dans l'eau de mer, des éléments radioactifs naturels (le radium-226 et le radium-228 sont les plus fréquents). Afin de satisfaire les réglementations imposées dans certains pays, les eaux de production sont traitées afin d'en retirer la plupart des polluants et en particulier les hydrocarbures. Cependant, en fonction des traitements et des caractéristiques de l'eau de production, certains polluants peuvent encore être présents lors de son rejet dans le milieu et en particulier des gaz, des métaux-lourds et de la matière organique dissoute.

## 4.4 Le trafic maritime

Le trafic maritime engendré par les activités pétrolières est lié : aux déplacements des unités principales (navire sismique, navire de forage) vers leur lieu d'activité, aux déplacements des navires sismiques durant l'acquisition de données, aux déplacements des navires auxiliaires, et aux éventuels transports de matériaux pour la mise en place des plateformes. En outre, durant les forages d'exploration, un navire à positionnement dynamique peut être utilisé, il ne s'agit pas de trafic maritime mais le bruit produit est de même type. Par exemple, dans le cas des campagnes sismiques réalisées en Guyane en 2012, la flotte auxiliaire était composée de deux navires d'escorte, servant à encadrer les opérations et à préserver un périmètre de sécurité de 15 km autour du navire principal et de son dispositif tracté, ainsi que d'un navire d'approvisionnement, faisant quotidiennement la liaison entre les autres unités et *Port of Spain* ou Cayenne (CREOCEAN, 2012a). Dans le cadre des forages d'exploration réalisés en 2012 et 2013, le navire d'exploration était un navire à positionnement dynamique ; la flotte auxiliaire était composée d'un navire de soutien (« chien de garde »), lui aussi en positionnement dynamique sur le site, chargé des interventions d'urgence et d'assurer une zone d'exclusion de 500 m autour du bateau de forage et de trois unités de ravitaillement dont une rapide, effectuant leur approvisionnement à Trinidad-et-Tobago ou Dégrad des Cannes (CREOCEAN, 2012b). Lors des phases d'exploitation, la plateforme est aussi accompagnée de navires d'approvisionnement mais aussi de tankers, chargés de transporter les produits de forage.

L'ensemble des embarcations à moteur produit des sons dominés par les basses fréquences (inférieurs à 10 kHz) qui sont produits principalement par la cavitation des hélices, mais aussi par la machinerie du bord et l'écoulement de l'eau autour de la coque (Ross, 1987 ; 1993). Le niveau sonore et les fréquences émis varient entre autre en fonction de la taille du bateau, de sa vitesse, de son chargement et du type de moteur. Les grands navires, comme les navires sismiques, les navires de forages, et les tankers, produisent en général une pression acoustique allant de 180 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m à 195 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m en niveau sonore moyen (Annexe 1), dans des gammes de fréquences basses concentrées en particulier entre 5 et 500 Hz. Les navires auxiliaires, de taille plus modeste, produisent des sons plus faibles, en général compris entre 165 et 180 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m en niveau sonore moyen, dans une gamme de fréquences un peu plus élevées que les grands navires, concentrée autour des fréquences 1 kHz-10 KHz. (Heitmeyer *et al.*, 2004 ; Hildebrand, 2005 ; Richardson *et al.*, 1995).

Le développement du trafic maritime augmente en outre la probabilité de fuites d'hydrocarbures provenant des réservoirs des embarcations.

## 5 LES IMPACTS POTENTIELS DES ACTIVITES PETROLIERES SUR LES CETACES

### 5.1 La pollution acoustique

#### 5.1.1 L'importance du son chez les cétacés

La lumière étant rapidement absorbée dans la colonne d'eau (150 m maximum dans les eaux claires océaniques, Barnes et Hughes 1999), la vision se trouve rapidement limitée en mer, voir inutile. A l'inverse, l'environnement marin est dominé par les sons car les ondes sonores s'y propagent plus rapidement et sur de plus longues distances que dans l'air et sont réfléchies sur le fond ainsi qu'à l'interface eau-air (Annexe 1). Voilà pourquoi le système auditif des mammifères marins est particulièrement développé, et leur permet à la fois d'assurer la communication intra et inter spécifique mais aussi d'analyser l'environnement et enfin de se localiser, par acoustique passive et active (écholocation, chez les odontocètes uniquement).

Les signaux de communication peuvent être des clics, des sifflements, des vocalisations ou des chants. De tels signaux sont émis par les cétacés pour communiquer avec des individus du même groupe mais aussi d'autres groupes et éventuellement d'autres espèces. La communication joue un rôle particulièrement important dans la reproduction, comme chez les baleines à bosse mâles qui chantent pour attirer les femelles ou pour établir leur dominance par rapport à d'autres individus (Darling *et al.*, 2006). Cependant, la quantité et le type d'information que ces signaux transmettent sont encore méconnus (Zimmer, 2011).

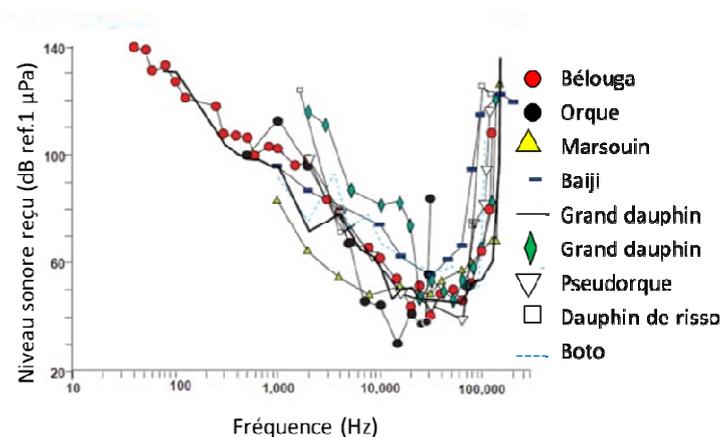
La perception passive des sons permet aux mammifères marins d'identifier et de localiser leurs prédateurs et leurs proies, comme cela a été montré chez les orques et les grands dauphins (ex : Gannon *et al.*, 2005 ; Heithaus et Dill, 2008).

Par ailleurs, les odontocètes sont aussi capables d'utiliser l'écholocation pour mieux appréhender leur environnement. Ils émettent ainsi des sons sous forme de clics de hautes fréquences pour ensuite analyser les échos qui leur reviennent afin de s'orienter et se situer dans l'espace mais aussi d'identifier les objets et les êtres vivants qu'ils rencontrent (Thomson et Richardson, 1995). L'utilisation de l'écholocation est restreinte aux odontocètes mais il semble que certains mysticètes utilisent les échos de leurs émissions sonores à basses fréquences pour se repérer dans l'espace, comme les baleines boréales (*Balaena mysticetus*) qui s'orientent ainsi pour se déplacer sous les glaces (George *et al.*, 1989).

Il existe naturellement dans le milieu marin un bruit ambiant relativement important produit à la fois par les animaux et les éléments physiques (comme les précipitations, le vent, les courants et les vagues ; Southall *et al.*, 2007). A ces sons d'origine naturelle, viennent s'ajouter des sons d'origine anthropique, généralement caractérisés par des gammes de fréquences basses, et qui sont de plus en plus nombreux : Hildebrand (2009) rapporte qu'entre 1950 et 2000, le niveau sonore dans les basses fréquences a augmenté de 16 dB en moyenne dans le milieu marin. Etant donné l'importance des signaux sonores pour les cétacés, cette pollution acoustique croissante laisse présager des conséquences majeures sur ces animaux (Southall *et al.*, 2007).

### 5.1.2 Les capacités auditives des cétacés

On décrit en général les capacités auditives des espèces à partir de leur audiogramme (Figure 14). Un audiogramme présente le seuil d'audition de l'espèce (niveau sonore minimum de l'onde pour être entendue) en fonction de la fréquence des ondes sonores. Il a en général une forme de U dont les valeurs les plus basses indiquent la gamme de fréquences à laquelle l'espèce est particulièrement sensible. Ces audiogrammes n'ont pu être caractérisés que pour moins de 20 espèces de mammifères marins et seulement pour quelques individus généralement en captivité. Pour les autres espèces, ils ont été estimés en extrapolant à partir des audiogrammes connus, en comparant les anatomies des différentes espèces, en réalisant des mesures sur les appareils auditifs d'animaux morts ou encore en mesurant les émissions sonores émises par les espèces (Southall *et al.*, 2007).



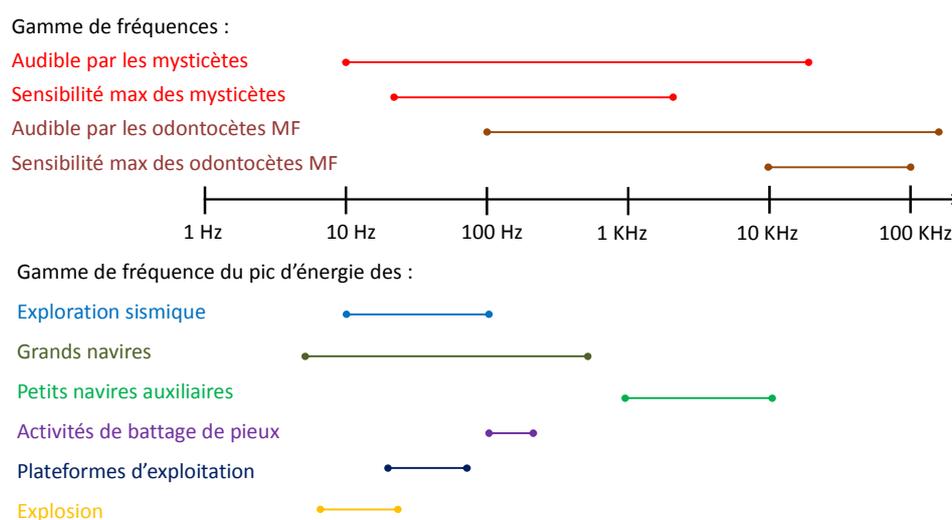
**Figure 14** : Exemples d'audiogrammes de différentes espèces de cétacés (Reynolds et Rommel, 1999)

Les différents audiogrammes, connus et estimés, ont permis de classer les cétacés en trois grands groupes aux capacités auditives très différentes (Finneran et Jenkins, 2012 ; Ketten, 1998 ; Nedwell *et al.*, 2004 ; Nedwell et Howell, 2004 ; Richardson *et al.*, 1995).

- Les cétacés à basses-fréquences : Ce groupe comprend l'ensemble des mysticètes (Annexe 2), pour lesquels il n'existe que des audiogrammes estimés. On estime, parce qu'elles émettent des sons dans ces fréquences, que ces espèces sont capables d'entendre des sons compris entre 10 Hz et 20 kHz, avec une sensibilité maximale pour des sons de 20 Hz à 2 kHz.

- Les cétacés moyennes-fréquences : Ce groupe est composé de l'ensemble des baleines à bec, du cachalot et des delphinidés, exception faite des espèces du genre *Cephalorynchus*. Il s'agit du groupe le mieux connu car les audiogrammes ont pu être mesurés pour une quinzaine de ces espèces, notamment en captivité. Ces espèces sont capables d'entendre des sons compris entre 150 Hz et 160 kHz. Leur sensibilité est maximale pour des sons de 16 kHz à 120 kHz environ, pour lesquels leur seuil d'audition est de 40 à 60 dB.

- Les cétacés hautes-fréquences : ce groupe inclut les delphinidés du genre *Cephalorynchus*, les kogidés, les marsouins (phocoenidés) et les dauphins de rivière (platanistidés, iniidés, lipotidés, pontoporiidés). Les audiogrammes ont pu être mesurés chez quelques espèces. On estime ainsi que les individus de ce groupe peuvent entendre des sons allant d'environ 0,2 kHz à 200 kHz. Ils présentent une sensibilité maximale pour des sons d'une centaine de kHz, pour lesquels leur seuil d'audition semble être compris entre 30 et 60 dB. Aucune espèce de cétacés appartenant à ce groupe n'a été signalée à ce jour en Guyane, mais il n'est pas exclu que l'une des deux espèces de *Kogia*, espèces fréquentes dans les Caraïbes, soit présente.



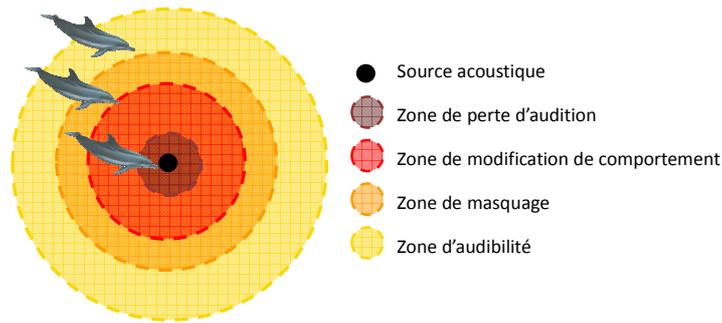
**Figure 15 :** Comparaison des gammes de fréquences des pics d'énergie des principales sources sonores des activités pétrolières et des gammes audibles par les cétacés

Les activités pétrolières émettent en général des sons caractérisés par un pic d'énergie dans des gammes de fréquences basses, vers 10-500 Hz (Breitzke *et al.*, 2008). Le groupe d'espèces le plus sensible à ces activités est donc celui des mysticètes (Figure 15). Cependant, chez les odontocètes, il faut souligner la sensibilité accrue des grands plongeurs, comme les cachalots et les baleines à bec, qui peuvent se trouver en chasse à de grandes profondeurs au moment où une activité commence, et être ainsi soumis à un niveau sonore dommageable lors de leur remontée vers la surface.

### 5.1.3 Les effets de la pollution acoustique sur les cétacés

Les réactions des mammifères marins face aux émissions sonores sont de différents types et dépendent de l'espèce concernée, de l'intensité du bruit et de la durée d'émission. On distingue plusieurs niveaux de dérangements et de réactions que l'on peut schématiquement classer de la manière suivante, en fonction de la distance à la source (Richardson *et al.*, 1995 ; Madsen *et al.*, 2006 ; Figure 16) :

- tolérance et habituation : pas ou plus de réaction lors de l'émission sonore ;
- masquage : les émissions nécessaires aux mammifères marins pour leur communication ou leur perception de l'environnement sont masquées par les bruits anthropiques ;
- stress : modifications physiologiques, comme un changement du rythme cardiaque ou respiratoire ;
- changements de comportement : comme des modifications des vocalisations, ou profil de plongée ou des temps de respiration ;
- réaction d'évitement : les animaux s'éloignent de la source sonore ; cela peut aller jusqu'à la perte d'habitat et au déplacement temporaire de populations ;
- perte de l'audition : la sensibilité auditive des animaux diminue. Cette perte peut être temporaire (TTS : *Temporary Threshold Shift*) ou permanente (PTS : *Permanent Threshold Shift*) ;
- lésions : la puissance du bruit émis provoque des lésions souvent irréversibles et parfois létales aux animaux. Elles ciblent surtout les organes de l'audition mais il semble que les émissions sonores puissent entraîner des lésions sur d'autres organes.



**Figure 16** : Zones d'influence des émissions sonores sur les mammifères marins (d'après Richardson *et al.*, 1995).

### 5.1.3.1 Tolérance et habituation

Dans certains cas, les individus ne répondent pas à une émission sonore (tolérance) ou cessent progressivement d'y répondre lorsqu'elle est répétée (habituation). Ces cas de figure se présentent lorsque le son est de faible amplitude, ou ne rentre pas dans la bande passante audible de l'espèce, ou encore lorsque les coûts d'un déplacement de la population ou d'une modification de comportement sont trop élevés (Frisk *et al.*, 2003). Un exemple classique d'habituation est l'absence progressive de réponse des marsouins communs (*Phocoena phocoena*) aux répulsifs acoustiques (pingers) qui avaient pour vocation de les éloigner des filets de pêche afin de limiter les captures accidentelles (Cox *et al.*, 2001). Les termes de tolérance et d'habituation doivent être employés avec précaution car ils peuvent masquer des impacts négatifs difficilement détectables. Par exemple, à Terre Neuve, durant des travaux qui ont nécessité l'utilisation d'explosifs, les baleines à bosse ne montraient pas de réaction particulière ; cependant, l'examen de deux individus morts capturés accidentellement dans des filets de pêche a mis en évidence une détérioration de leur appareil auditif (Ketten *et al.*, 1993).

### 5.1.3.2 Masquage

On utilise ce terme lorsqu'un bruit ambiant réduit l'aptitude d'un animal à percevoir les autres sons d'intérêt pour l'espèce. Pour que ce phénomène ait lieu, il faut que le son masquant soit suffisamment fort et de fréquence similaire au son masqué (Richardson *et al.*, 1995). Soto *et al.* (2006), par exemple, ont montré une diminution de l'activité de chasse chez la baleine à bec de Cuvier lorsque des embarcations à moteur sont présentes. Les sons d'origine anthropique étant dominés par les basses fréquences, qui sont aussi celles qui se propagent le plus loin dans le milieu marin, l'impact du masquage est vraisemblablement plus important chez les mysticètes qui utilisent surtout ces fréquences et communiquent sur de grandes distances (NOAA, 2013). A court terme, le masquage réduit l'espace acoustiquement utilisable par un animal, l'oblige à modifier les fréquences des sons émis

(ex : Lesage *et al.*, 1999 ; Romanenko et Kitain, 1992 ; Thomas et Turl, 1990), ou à augmenter l'amplitude des émissions sonores (Di Iorio and Clark, 2009 ; Holt *et al.*, 2009 ; Parks *et al.*, 2009). Ces réponses sont accompagnées d'un surcoût énergétique qui pourrait avoir à long terme un impact important sur certaines populations (Tyack 2008).

### 5.1.3.3 Stress

La pollution acoustique peut entraîner chez certains individus des modifications physiologiques, comme un changement du rythme cardiaque ou respiratoire, une modification du taux de certaines hormones ou encore la détérioration de certains tissus (ex : Kight et Swaddle, 2011 ; Slabbekoorn *et al.*, 2010;). Récemment, Rolland *et al.* (2012) ont par exemple étudié l'impact du trafic maritime sur les baleines franches de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) qui se rassemblent l'été dans la Baie de Fundy au Canada pour se nourrir et élever leurs petits. Suite à l'évènement du 11 septembre 2001, le niveau sonore dans la baie a diminué de 6 dB, en particulier dans les basses fréquences, vers 150 Hz. Les auteurs ont montré qu'à cette même période, le taux de production d'hormones de stress avait diminué chez les animaux et suggèrent que le bruit créé par le trafic maritime est à l'origine d'un stress chronique chez ces individus. Cela n'a pas encore été démontré dans le cas de la pollution acoustique, mais on sait que sur le long-terme le stress peut résulter en une dégradation du système immunitaire, une baisse de la reproduction, une accélération du vieillissement ou encore un ralentissement de la croissance (Kight et Swaddle, 2011).

### 5.1.3.4 Changement de comportements

Une réponse courante des cétacés à la pollution acoustique est la modification de leurs vocalisations. Ce phénomène peut prendre des formes très variables : modification des fréquences, augmentation de l'amplitude du signal, de sa complexité, de sa durée ou au contraire réduction des vocalisations lorsque le niveau sonore ambiant est trop fort (Revu dans Frisk *et al.*, 2003 et Koper et Plon, 2012). Cette réponse a un coût pour l'animal : une étude récente conduite sur un grand dauphin en captivité a montré que la modification de ses vocalisations en réponse à des émissions sonores augmentait son métabolisme de 25 à 30% (Holt *et al.* 2011). En réponse aux bruits d'origine anthropique, on observe d'autres changements comportementaux tels que la modification de la durée des plongées, l'abandon de l'activité en cours, en particulier lorsqu'il s'agit de l'alimentation ou du repos, ou encore des comportements de fuite comme une augmentation de la vitesse de nage ou des déplacements erratiques (Bowles *et al.*, 1994 ; Hastie *et al.*, 2003 ; Lesage *et al.*, 1999 ; Williams *et al.*, 2002 ; Ng et Leung, 2003 ; Soto *et al.*, 2006). Ces modifications de comportements entraînent un surcoût énergétique pour les animaux. En outre, à l'extrême les comportements de fuite peuvent amener les animaux à s'échouer, comme ça a été le cas

lors de l'échouage massif de péponocéphales qui a eu lieu à Madagascar en 2008. Ce phénomène semble en effet avoir été causé par l'utilisation d'un sonar multifaisceaux qui aurait repoussé les animaux vers la côte et provoqué leur entrée dans une baie dont ils n'ont pu ressortir, entraînant l'échouage d'une centaine d'individus et la mort de plus de 75 d'entre eux (Southall *et al.*, 2013).

#### 5.1.3.5 Réaction d'évitement

Plusieurs exemples existent de déplacements temporaires de populations de cétacés durant la réalisation d'une activité bruyante (revu dans Frisk *et al.*, 2003). Comme les modifications comportementales, ces déplacements vers des habitats souvent moins favorables a souvent un coût pour les animaux (Koper et Plön, 2012). Thompson *et al.* (2013) ont étudié la densité de marsouins communs en mer du Nord pendant et après des opérations sismiques. Les opérations avaient duré 10 jours et les niveaux sonores produits étaient de 242–253 dB re1 $\mu$ Pa à 1m. La fréquence de détection visuelle et acoustique de marsouins était plus faible dans un rayon de 5-10 km autour des activités sismiques, correspondant à des niveaux sonores de crête compris entre 165 et 172 dB re1 $\mu$ Pa. Quelques heures après l'arrêt des activités, les densités de marsouins retournaient à leur niveau initial. Stone et Tasker (2006), ont analysé les fréquences d'observations de cétacés collectées par des observateurs embarqués durant 201 campagnes d'exploration sismique conduites dans les eaux du Royaume-Uni. Durant 110 campagnes, les pressions acoustiques émises étaient de 250 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m et durant 91 campagnes, elles étaient d'environ 235 dB re 1 $\mu$ Pa à 1m. La fréquence d'observation de l'ensemble des cétacés était moindre durant les campagnes utilisant les sources sonores les plus puissantes. Parente *et al.* (2007) a montré que la diversité de cétacés dans les eaux côtières du Brésil avait diminué durant les années pendant lesquelles les campagnes sismiques avaient été les plus nombreuses.

#### 5.1.3.6 Perte partielle d'audition

Une pression acoustique importante peut provoquer une perte partielle d'audition en endommageant les cellules ciliées de la cochlée (qui transforment l'énergie acoustique en influx nerveux). Plus la pression acoustique d'un son est élevée, plus la durée d'exposition capable d'induire une perte d'audition est courte. Plus l'exposition à un son est prolongée, plus il y a de risques que les cellules ciliées soient définitivement endommagées car elles n'ont pas de plages de repos pour se régénérer. En outre, sur une même plage de temps et à intensité égale, une série de sons impulsifs sera plus délétère qu'un son continu car les muscles du tympan n'ont pas le temps de s'adapter pour protéger le reste du système auditif. Lorsque les cellules ciliées sont endommagées, si la durée du son et son amplitude sont en dessous de seuils limites, elles seront restaurées. On observe dans ce cas une perte

d'audition temporaire (*temporary threshold shift* ou TTS en anglais), qui correspond à une augmentation du seuil de sensibilité à certaines fréquences, sur une période de temps allant de quelques minutes à quelques semaines. En dessus de ces seuils limites de temps et d'amplitude, les cellules ciliées sont définitivement détruites et on aura une perte d'audition permanente (*permanent threshold shift* ou PTS en anglais). Dans le cas des cétacés, il existe aujourd'hui quelques données sur le type de sons capable d'induire une perte d'audition temporaire mais aucune donnée n'est disponible pour les pertes d'audition permanentes (Southall et al., 2007). Finneran *et al.* (2002, 2007) ont réalisé différentes expériences d'expositions sonores sur les belugas et des grands dauphins en aquarium. Ils ont mis en évidence des pertes d'auditions temporaires chez un beluga de 7 et 6 dB après des expositions à des sons de 226 dB re: 1  $\mu$ Pa (niveau sonore crête à crête) de 0,4 et 30 kHz. Chez des grands dauphins, leurs expériences ont montré des pertes d'auditions de 40 à 45 dB, pour des expositions à des sons de 20 kHz, répétées trois fois toutes les 11 min et d'intensité 193 dB re 1  $\mu$ Pa (niveau sonore de crête). Cinq jours ont été nécessaires aux animaux pour retrouver leurs capacités auditives originales.

#### 5.1.3.7 Lésions

Dans les cas extrêmes, les sons de très fortes amplitudes, tels que les sonars militaires, sont capables de causer la mort, en endommageant de manière sévère et irréversible certains tissus, ou en induisant des embolies (Dolman et Simmonds, 2005). Plusieurs échouage massifs de baleines à bec ont par exemple eu lieu en parallèle à des exercices militaires employant des sonars produisant des pressions acoustiques très fortes (jusqu'à 240 dB re 1  $\mu$ Pa) et de fréquences moyennes (1-10 kHz). Les lésions observées chez certains individus échoués laissent penser que les échouages ont été causés par des accidents de décompression (ex : Balcomb et Claridge, 2001 ; Fernández *et al.*, 2004 ; 2005 ; Jepson *et al.*, 2003). Ce phénomène n'a jamais été mis en évidence dans le cas d'études sismiques.

#### 5.1.3.8 Remarque

La pollution acoustique a des conséquences négatives avérées sur les cétacés. Cependant, ces conséquences varient en fonction des caractéristiques : du son (gamme de fréquences et amplitude du son, et le fait qu'il soit habituel ou non), du milieu (bruit ambiant initial, topographie et propagation du son dans la zone, valeur fonctionnelle de l'habitat pour les cétacés...) et de l'espèce et de l'individu récepteur (audiogramme de l'espèce, âge, sexe, état comportemental, activité en cours, état de santé... ; Frisk *et al.*, 2003 ; Hawkins *et al.*, 2012). De ce fait, la correspondance entre les caractéristiques des sons et l'intensité de

leur impact à court terme sur les individus est encore difficile à établir (Hawkins *et al.*, 2012 ; Frisk *et al.*, 2003).

En outre, un bruit peut ne pas avoir d'effet à court-terme sur une population de cétacés mais avoir un impact à long-terme s'il est fréquemment répété ou continu (baisse de la croissance, de la résilience et de la survie ; Hawkins *et al.*, 2012). Ce phénomène n'a encore jamais été démontré chez les cétacés dans le cas de la pollution acoustique mais il l'a été pour d'autres activités anthropiques jugées initialement comme inoffensives. Par exemple, plusieurs études menées ces dernières années sur l'impact du tourisme baleinier montrent que l'activité peut sur le long terme avoir des impacts négatifs sur l'état des populations tels qu'une diminution de la reproduction ou un déplacement permanent d'une partie de la population (ex : Bejder *et al.*, 2006 ; Higham et Bejder, 2008 ; Lusseau *et al.*, 2006).

#### **5.1.4 Les seuils de tolérance au bruit les plus couramment utilisés**

Afin d'estimer et de limiter de manière objective l'impact des bruits d'origine anthropique sur les mammifères marins, des seuils limites de tolérance au bruit ont été définis par différents organismes depuis une vingtaine d'années. L'application de ces seuils est plus ou moins complexe en fonction des critères qui sont retenus pour chacun des paramètres suivants: nombre de groupes auditifs de cétacés, nombre de catégories de sons, types d'impacts, unité de mesure du niveau sonore choisie.

- Concernant le nombre de groupes auditifs de cétacés, les méthodes les plus simples ne considèrent qu'un seul groupe, tandis que dans les approches plus complexes, un seuil est proposé pour chacun des trois groupes auditifs de cétacés (§5.1.2) : les cétacés basses-fréquences (mysticètes), les cétacés moyennes-fréquences (majorité des odontocètes) et les cétacés hautes-fréquences (autres odontocètes), qui, sous réserve de l'absence véritable des *Kogia*, ne concerne pas la Guyane.

- Concernant le nombre de catégories de sons considérées, là encore, les méthodes les plus simples ne prennent en compte qu'une catégorie de sons et les plus complexes séparent les sons en trois catégories : les impulsions uniques (explosions, collisions...), les impulsions multiples (canons à air, battage de pieux...) et les sons continus (transport maritime par exemple).

- Concernant les types d'impacts considérés, certaines méthodes ne considèrent que les dommages auditifs temporaires ; tandis que d'autres considèrent trois types d'impacts : les modifications comportementales sévères, les dommages auditifs temporaires, et les dommages auditifs permanents. Dans les exemples présentés, les seuils de modifications comportementales ne sont pas pris en compte car l'outil semble encore trop approximatif. Cependant, on notera que cet impact est loin d'être négligeable. Par exemple, Thompson *et al.* (2013) ont montré un comportement d'évitement de marsouins communs jusqu'à 10 km

de sources sismique. Madsen *et al.* (2006) notent la possibilité de perturbations comportementales chez les marsouins dans un rayon de 10 à 15 km d'activité de battage de pieux et Bailey *et al.* (2010) jusqu'à 70 km. Enfin, Pirotta *et al.* (2012) a observé des modifications comportementales de baleines à bec jusqu'à plus de 5 km d'embarcations à moteur.

- On trouve aussi différentes unités de mesures du niveau sonore (définies en Annexe 1). Pour les sons de type impulsion, les auteurs utilisent le plus souvent le niveau sonore crête à crête (*peak to peak sound pressure level*) ou le niveau sonore de crête (pression acoustique maximale ou *peak sound pressure level*). Pour les sons continus, le niveau sonore moyen (*root-mean-square sound pressure level, RMS SEL*) ou le niveau d'exposition sonore (intégration temporelle de la puissance sonore perçue et ramenée à la durée de référence d'une seconde, *sound exposure level, SEL*) sont privilégiés. On notera qu'il est admis que l'on peut en général passer du niveau sonore de crête au niveau sonore moyen en soustrayant 10 DB et du niveau sonore de crête au niveau sonore crête à crête en additionnant 6 DB. Une autre mesure utilisée est le niveau d'exposition sonore pondéré par la capacité auditive du groupe d'espèces considéré pour chaque gamme de fréquences (*weighted SEL*).

Etant donné qu'il s'agit d'un domaine d'étude en développement, il n'existe pas de seuils reconnus par tous ; ainsi, seuls sont présentés ici les seuils les plus couramment utilisés. Les trois catégories de seuils que l'on rencontre le plus fréquemment dans les études d'impacts des activités sismiques sur les mammifères marins sont ceux du service des pêches des Etats-Unis (NMFS, Tableau 2), ceux de la NOAA et ceux développés par Southall *et al.* (2007). La méthode de Southall *et al.* (2007) est aussi celle sur laquelle l'IFREMER s'est basée pour déterminer les zones d'exclusions dans le cadre de ses missions d'exploration sismiques (Lurton, 2013).

Le NMFS considère deux types d'impacts (les dommages auditifs temporaires et les modifications des comportements qui ne sont pas présentées ici). Tous les types de sons sont regroupés dans une seule catégorie et il en est de même pour les groupes de cétacés. On a ainsi un unique seuil donné en niveau sonore moyen émis par la source acoustique considérée (Tableau 2). La NOAA, considère deux types d'impacts, les dommages auditifs temporaires (TTS) et les dommages auditifs permanents (PTS). Comme pour le NMFS, tous les types de sons et tous les groupes de cétacés sont regroupés dans une seule catégorie. Deux seuils sont ainsi proposés dans l'unité acoustique de niveau sonore d'exposition. Southall *et al.* (2007) considère trois types de cétacés (basse-fréquences, moyennes fréquences et hautes fréquences) mais donne des valeurs de seuils identiques pour les trois groupes, par manque de données disponibles. Il considère ensuite trois types de sons (impulsions unique, impulsion multiple et sons continus) et trois types d'impacts (les dommages auditifs temporaires, les dommages auditifs permanents et les modifications

comportementales qui ne sont pas présentées ici). Chaque seuil est donné dans deux unités : le niveau sonore de crête et le niveau d'exposition sonore pondéré.

On obtient ainsi des méthodes et des seuils relativement variables d'un organisme à l'autre. Les méthodes les plus basiques sont critiquées car trop simplistes : elles ne tiennent compte ni de la fréquence, de la durée et de l'occurrence des signaux, ni de l'espèce de cétacés considérée. A l'inverse, les méthodes les plus complexes sont critiquées car elles sont difficiles à appliquer ou parce qu'elles sont basées sur des phénomènes encore mal connus (Lurton et Antoine, 2007). En outre, les seuils proposés ont fait l'objet de peu de validation dans des conditions naturelles (URS, 2012). Enfin, il est nécessaire de souligner ici que ces seuils ne sont valables que pour évaluer un impact à court-terme. En effet, comme cela a déjà été mentionné, un son de faible amplitude, inoffensif à court-terme, peut avoir sur le long-terme un impact significatif chez un animal qui y serait exposé de manière répétée ou continue. Cependant, ces méthodes constituent les outils les plus aboutis à l'heure actuelle pour estimer et limiter l'impact à court-terme de la pollution acoustique sur les cétacés.

**Tableau 2** : synthèse des seuils d'impact des bruits d'origine anthropique sur les cétacés les plus utilisés

Espèces considérées	Type de son	Seuil	Valeur	Unité de mesures du niveau sonore	Indice développé par
Tous cétacés	Tous types de sons	TTS	180 dB re1μPa	Niveau sonore moyen	NMFS
Tous cétacés	Tous types de sons	TTS	195 dB re1μPa <sup>2</sup> .s	Niveau d'exposition sonore	NOAA
		PTS	215 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
Cétacés à basses-fréquences et à moyenne fréquence	Impulsions uniques	TTS	224 dB re1μPa 183 dB re1μPa <sup>2</sup>	Niveau sonore de crête  Et Niveau d'exposition sonore pondéré	Southall et al., 2007
		PTS	230 dB re1μPa 198 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
	Impulsions multiples	TTS	224 dB re1μPa 183 dB re1μPa <sup>2</sup>		
		PTS	230 dB re1μPa 198 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
	Sons continus	TTS	224 dB re1μPa 195 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
		PTS	230 dB re1μPa 215 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
	Impulsions multiples	TTS	224 dB re1μPa 183 dB re1μPa <sup>2</sup>		
		PTS	230 dB re1μPa 198 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
	Sons continus	TTS	224 dB re1μPa 195 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		
		PTS	230 dB re1μPa 215 dB re1μPa <sup>2</sup> .s		

### 5.1.5 Exemple d'application des seuils à différentes sources sonores

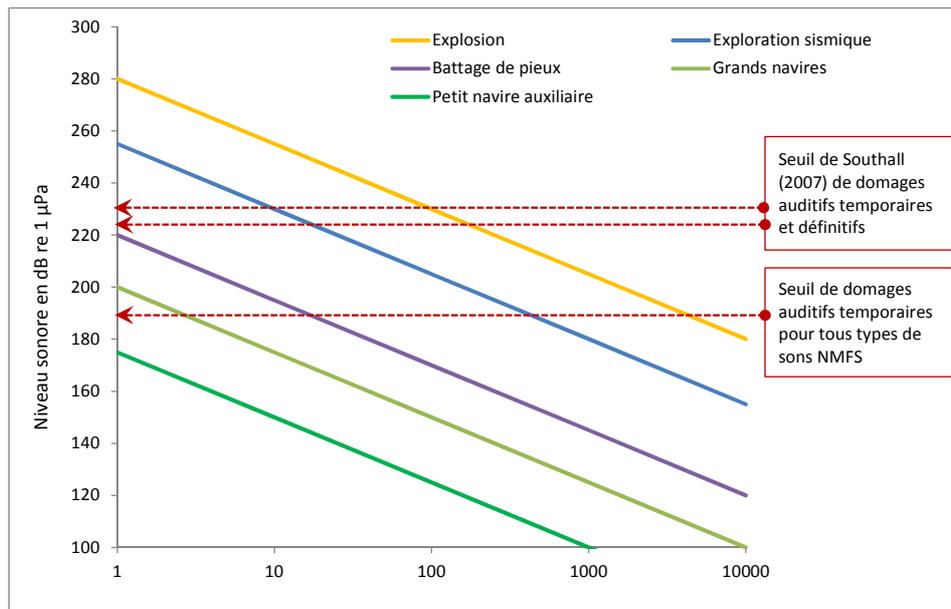
La plupart des niveaux sonores des principales activités pétrolières disponibles dans la littérature sont exprimés en niveau sonore moyen à 1 m ou en niveau sonore de crête à 1 m (Annexe 1). Les seuils limites de tolérance au bruit retenus sont donc ceux exprimés dans ces unités et les plus fréquemment utilisés : les seuils du NMFS, qui sont aussi les plus conservateurs, et les seuils de Southall *et al.* (2007), qui sont aussi ceux retenus par l'IFREMER. La modélisation proposée par URS (2012 ; Annexe 3) est applicable pour des sources sonores ayant un pic d'énergie dans des fréquences d'environ 100 Hz, ce qui est le cas de la plupart des activités pétrolières (Figure 15). Cette méthode a été utilisée pour estimer les distances à partir desquelles les bruits produits par les différentes activités pétrolières atteignent en théorie les différents seuils limites de tolérance au bruit retenus (Figure 17). Lorsque nécessaire les mesures ont été converties en niveau sonore de crêtes (§5.1.4). On notera qu'il ne s'agit là que de premières estimations qui demandent absolument à être précisées avec des informations plus spécifiques sur la propagation du son dans le milieu considéré et les caractéristiques des ondes sonores produites par chacune des activités. En outre, on ne considère ici que les effets à court-terme, qui seront plus importants sur le long-terme lorsque l'activité considérée est fréquemment répétée voir continue.

D'après le modèle de propagation du son d'URS et les seuils de la NMFS (190 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête), qui sont les plus conservateurs, les activités sismiques (255 dB re1 $\mu$ Pa à 1m en niveau sonore de crête) pourraient causer une perte d'audition temporaire dans un rayon 400 m de la source. Les seuils de Southall *et al.* (2007) suggèrent eux une perte d'audition temporaire à 17 m de la source (224 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête) et une perte d'audition permanente à 10 m (230 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête).

Une explosion (280 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête) causerait des dommages auditifs temporaires jusqu'à 4 km de la source selon la NMFS. Selon Southall *et al.* (2007), une explosion pourrait causer des dommages auditifs temporaires dans un rayon de 155 m et des dommages auditifs permanents jusqu'à 100 m de la source.

Les travaux de type battage de pieux (220 dB re1 $\mu$ Pa à 1m en niveau sonore de crête), selon la NMFS, pourraient causer des dommages auditifs temporaires dans un rayon d'une quinzaine de mètres.

D'après les seuils du NMFS, les grands navires (200 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête) pourraient causer des dommages acoustiques uniquement à proximité de la coque. Les plus petits navires auxiliaires (175 dB re1 $\mu$ Pa en niveau sonore de crête) ne pourraient pas causer de dommages auditifs. D'après Southall *et al.* (2007), aucun type de navire ne pourrait être à l'origine de dommages auditifs.



**Figure 17** : Impact des principales sources sonores des activités pétrolières sur les cétacés à partir des principaux seuils utilisés dans les études d’impacts

### 5.1.6 Impact de la pollution acoustique sur les ressources alimentaires des cétacés

De nombreux travaux ont été réalisés sur l’impact de la pollution sonore sur les poissons. La plupart de ces animaux sont capables d’entendre des sons compris dans une gamme de 50 Hz à 1500 Hz (Popper et Hastings, 2009) et utilisent leur ligne latérale pour détecter les changements de pression. Ainsi, les poissons utilisent des sons pour se nourrir, de se déplacer, se situer dans l’espace, s’orienter, éviter leurs prédateurs, ou encore pour reconnaître leur partenaire (Koper et Plön, 2012). Des études ont mis en évidence une baisse des rendements dans certaines pêcheries durant la réalisation de campagnes d’explorations sismiques (ex : Engås *et al.*, 1996 ; Skalski *et al.*, 1992 ; Slotte *et al.*, 2004), baisse qui perdure en général quelques jours après la fin des opérations. D’autres travaux ont montré que des sons de 180 dB re 1 µPa pouvaient endommager de manière permanente l’appareil auditif ou la vessie natatoire de certaines espèces (McCauley *et al.*, 2003). La NOAA (2013) propose les seuils de 160 dB re1µPa comme niveau sonore à partir duquel un impact sur le comportement des poissons est attendu, 180 dB re1µPa comme seuil pour des dommages de l’appareil auditifs et 230-240 dB re1µPa comme seuil pour la mortalité. Les invertébrés semblent aussi être sensibles à la pollution acoustique : par exemple, chez les crevettes, Regnault et Lagardère (1983) ont montré que la pollution sonore pouvait augmenter le métabolisme de certaines espèces et diminuer leur alimentation.

## 5.2 Les collisions

Dans le monde, des cas de collisions avec des engins à moteur ont été rapportés pour au moins sept espèces de mysticètes et plus de dix-huit espèces d'odontocètes, dont le cachalot (Van Waerebeek *et al.*, 2007). On considère qu'il s'agit aujourd'hui d'une source majeure de mortalité pour les mysticètes (Conn et Siber, 2013). Les espèces les plus touchées sont le rorqual commun, le rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*), la baleine à bosse, et les baleines franches (*Eubalaena* spp.; Van der Hoop *et al.*, 2012 ; Van Waerebeek *et al.*, 2007). Chez les odontocètes, les collisions semblent constituer une source majeure de mortalité chez certaines petites populations de dauphins à bosse (*Sousa chinensis*), de dauphins de l'Irrawaddy (*Orcaella brevirostris*), et de marsouin aptère (*Neophocaena phocaenoides*), et une source de mortalité significative chez certaines populations de grands dauphins, d'orques, de péponocéphales ou encore de cachalots pygmées (*Cogia breviceps* ; revue dans Van Waerebeek *et al.*, 2007). Plus que l'espèce, le paramètre principal qui détermine la fréquence des collisions est simplement la densité du trafic maritime et la densité des populations de cétacés; ainsi les populations les plus à risques sont celles qui se trouvent dans des régions où le trafic maritime est particulièrement dense (Van der Hoop *et al.*, 2012 ; Van Waerebeek *et al.*, 2007).

Il semble que tous les types d'embarcations puissent être à l'origine de collisions avec des cétacés mais le phénomène est plus fréquent avec les plus petits navires (de moins de 15 m) pour les petits odontocètes et avec les navires de fort tonnage pour les mysticètes et le cachalot. La vitesse semble être le facteur déterminant dans la gravité de la collision : entre les vitesses de 8,6 et 15 nœuds, la probabilité qu'une collision induise une blessure létale augmente de 0,21 à 0,79 (Vanderlaan et Taggart, 2007).

## 5.3 La pollution chimique diffuse des eaux : boues de forages et eaux de production

Les principales sources de pollutions diffuses provenant des activités pétrolières sont les boues de forage et les eaux de production.

CREOCEAN (2012b) a évalué le risque écotoxicologique lié aux boues de forage utilisées en 2012 et 2013 en Guyane. Leur analyse conclut que les concentrations des polluants rejetés dans le milieu étaient largement inférieures aux seuils d'écotoxicité à tous les niveaux du réseau trophique. Cependant, il existe quelques exemples d'impacts négatifs des boues de forage sur le milieu marin, qui ont été attribués à la toxicité de certains de leurs composants. Par exemple, une baisse de l'abondance et de la diversité des organismes benthiques a été observée dans un rayon d'environ 1 km autour de forages d'exploration, qui a persisté environ un an après la fin des activités (Lee *et al.* 2011).

La toxicité des eaux de production déversées dans le milieu marin après traitement est la plupart du temps faible à modérée, étant donné la dilution et la dispersion des composants dans le milieu marin (Lee *et al.*, 2011). Cependant, certaines eaux de production contiennent des polluants particulièrement toxiques, en particulier des métaux et des hydrocarbures, en concentration suffisamment importante pour avoir un impact négatif sur le milieu (Neff, 2012). Par exemple, des marqueurs de polluants (molécules produites par l'organisme en réponse à la présence de polluants dans le milieu) ont été identifiés chez un certain nombre d'espèces de poissons distribués autour de plateformes d'exploitation dans la mer du Nord et à Terre Neuve. De la même manière, des anomalies histologiques observées dans les tissus de certaines espèces de poissons et de coquillages ont été corrélés avec le développement des activités pétrolières dans le Golfe du Mexique (revue dans Lee *et al.*, 2011).

A notre connaissance aucune étude n'a mis en évidence un quelconque impact négatif des boues de forage et des eaux de production sur les cétacés. Cependant, certains des polluants contenus dans ces rejets ont la propriété de se bioamplifier tout au long de la chaîne trophique et de se bioaccumuler dans certains tissus. En outre, le lien est aujourd'hui bien établi chez certains cétacés entre des phénomènes d'immunodépression ou de baisse de la reproduction et la présence de fortes concentration de polluants dans certains organes (revu dans Evans, 2013 et van Bresse *et al.*, 2008, par exemple). Les composants les plus souvent mis en cause sont les composés organiques persistants, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), et les métaux lourds, qui sont des composants des rejets des activités pétrolières. En conséquence, dans des régions où les activités pétrolières sont nombreuses et présentes depuis longtemps, il est possible que ces polluants parviennent à long terme à des niveaux de concentration toxiques chez certaines espèces et en particulier chez les grands prédateurs longévifs, comme les cétacés, mais les données disponibles à l'heure actuelle ne permettent pas encore de prédire à partir de quelle concentration en polluants dans le milieu l'impact sera significatif sur les animaux.

#### **5.4 La pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures**

Des fuites d'hydrocarbures peuvent avoir lieu durant les phases de forage, d'exploitation mais aussi durant le transfert et le transport des hydrocarbures. Ces fuites sont le plus souvent mineures mais des accidents importants ont parfois lieu qui ont alors un impact majeur sur le milieu, comme la marée noire de la plateforme pétrolière *Deepwater Horizon* en 2010 dans le Golfe du Mexique, celle du pétrolier *Exxon Valdez* en 1989 en Alaska ou encore celle du pétrolier *Erika* au large de la Bretagne en 1999. Cet impact est variable en fonction des quantités déversées mais aussi de la nature de l'hydrocarbure et du temps écoulé avant l'intervention (NOAA, 2013). En outre, les mesures de lutte qui sont mises en

œuvre pour traiter la nappe de pétrole (utilisation de dispersants, brûlage du pétrole en surface) sont également à l'origine d'effets négatifs qui s'ajoutent aux effets directs du pétrole. On peut diviser l'impact d'un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures sur le milieu, en deux phases : une phase d'impacts directs et aigus et une phase d'effets indirects, détectables uniquement sur le long-terme (Peterson *et al.*, 2003).

Durant la première phase, il est fréquent qu'une forte mortalité de cétacés soit constatée. Elle est causée en général par l'inhalation ou l'ingestion d'hydrocarbures qui sont fréquentes chez les mammifères marins qui doivent nécessairement aller respirer à la surface, où ils rentrent en contact direct avec la nappe de pétrole (NOAA, 2013). En outre, les animaux peuvent aussi souffrir de la dégradation de leur habitat, à cause par exemple du bruit occasionné par les activités de nettoyage ou de la diminution des proies (NOAA, 2013). Il a été estimé que 302 phoques veaux marins (*Phoca vitulina*) sont morts suite à la marée noire de l'*Exxon Valdez* en 1989 et 101 carcasses de cétacés ont été retrouvées dans le Golfe du Mexique durant la marée noire de la plateforme *Deepwater Horizon* en 2010, bien que certains estiment que cet événement aurait causé la mort de 50 fois plus d'individus (Williams *et al.*, 2011).

La phase d'effets indirects de long-terme est elle aussi importante chez les mammifères marins qui sont des grands prédateurs longévifs et à faible taux de reproduction. Des analyses réalisées un an après la marée noire du *Deepwater Horizon* sur la population de grands dauphins côtiers de la baie de Barataria, qui a été fortement touchée, ont montré que l'état de santé de la population était fortement dégradé (Schwacke *et al.*, 2013). La marée noire de l'*Exxon Valdez* a causé une forte mortalité chez deux groupes d'orques bien étudiés de la région (33% et 41% de mortalité la première année respectivement). Seize ans après la catastrophe, aucun des deux groupes n'a retrouvé ni son abondance ni son taux de croissance initial et l'un d'entre eux est en train de s'éteindre (Matkin *et al.*, 2008). Un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures aura aussi bien entendu un impact majeur sur les ressources alimentaires des cétacés : par exemple, la marée noire de l'*Exxon Valdez* a provoqué une diminution du taux de croissance et une augmentation de la mortalité larvaire chez plusieurs espèces de poissons pendant au moins quatre ans après l'évènement (Peterson *et al.*, 2003).

## **6 REGLEMENTATIONS RELATIVES AUX ACTIVITES PETROLIERES EN GUYANE**

### **6.1 Prise en compte des impacts environnementaux dans le cadre des demandes de permis**

#### ***6.1.1 Le permis de recherche***

La première étape pour réaliser des travaux d'exploration, campagne sismique ou forage, est d'obtenir un permis de recherche (PERH) qui donne à son détenteur un droit exclusif d'explorer la présence d'hydrocarbures à l'intérieur du périmètre de son permis. Le dossier de demande de permis de recherche précise la zone géographique concernée, le programme des travaux, les capacités techniques de l'opérateur, et comporte une notice d'impact sur le milieu. Cette notice d'impact doit indiquer les incidences éventuelles des travaux projetés sur l'environnement et les conditions dans lesquelles l'opération projetée prend en compte les préoccupations d'environnement.

La demande de permis exclusif de recherches est adressée au ministre chargé des mines. Le dossier est étudié par la DREAL de la région concernée et la Préfecture. Il est ensuite soumis au Conseil Général de l'Industrie de l'Energie et des Technologies (CGIET) pour avis, puis est soumis à consultation du public pendant une durée de 30 jours et enfin est accordé ou non par arrêté ministériel.

#### ***6.1.2 La demande d'ouverture de travaux***

Le permis d'exploration ne donne pas par lui-même le droit de conduire des travaux. Pour cela, la société doit faire une demande d'ouverture de travaux auprès de la Préfecture (Décret n°2006-649). Cette demande est étudiée par la DREAL de la région concernée mais aussi, lorsqu'elle porte sur le fond de la mer, par le Préfet maritime et l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER).

Dans le cas des campagnes sismiques, cette demande de travaux doit être assortie d'une notice d'impact ; tandis que dans le cas des forages d'exploration, la demande est assortie d'une étude d'impact et d'une enquête publique.

L'étude d'impact est plus développée que la notice d'impact (décret n°2011-2019). Elle comporte en particulier :

- Une description du projet avec, entre autre : une description des caractéristiques physiques de l'ensemble du projet et des exigences techniques, ainsi qu'une estimation des types et des quantités des résidus et des émissions attendus.
- Une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet, portant notamment sur la faune et la flore, les habitats naturels, les continuités écologiques, les équilibres biologiques, les facteurs climatiques, les espaces naturels, maritimes ou de loisirs, ainsi que les interrelations entre ces éléments.
- Une analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires et permanents, à court, moyen et long terme, du projet sur l'environnement, ainsi que l'addition et l'interaction de ces effets entre eux.
- Une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus qui ont fait l'objet d'une étude d'impact.
- Les mesures prévues pour éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités, et enfin compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits.
- Une présentation des méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les effets du projet sur l'environnement.

L'enquête publique présente deux principaux objectifs :

- informer les personnes concernées : habitants, associations, acteurs économiques ou simple citoyen ;
- recueillir les observations et avis des personnes concernées sur un registre spécifiquement mis à leur disposition dans les Mairies.

L'avis d'enquête publique est publié par voie d'affiches sur les lieux du projet, dans les communes intéressées, dans au moins deux journaux régionaux ou locaux diffusés dans le ou les départements concernés et sur les sites Internet du Ministère de l'Environnement. Le pétitionnaire dresse le bilan de l'enquête qui est adressé à l'autorité compétente et mis à disposition du public. Ces avis peuvent mener à des modifications, voire à l'annulation du projet.

Le 16 avril 2014, le Parlement européen a adopté une révision de la directive relative aux études d'impact environnemental, qui reconnaît l'impact que la prospection sismique peut avoir sur l'environnement marin (DIRECTIVE 2014/52/UE), et à laquelle les états membres doivent se conformer au plus tard en 2017. Dans les années à venir, il est donc probable que les campagnes sismiques rentrent dans la liste des activités soumises à étude d'impact et enquête publique.

En cas d'autorisation, le Préfet fait connaître au demandeur les prescriptions dont il entend assortir son arrêté. Ces prescriptions portent notamment sur les mesures de contrôle des ouvrages et des installations, sur la surveillance de leurs effets sur l'environnement, sur les conditions dans lesquelles doivent être portés à la connaissance du public les analyses, les mesures et les résultats des contrôles éventuellement exigés, ainsi que sur les moyens d'intervention dont doit disposer le bénéficiaire en cas d'incident ou d'accident.

### **6.1.3 La demande d'exploitation**

Lorsque le détenteur d'un permis de recherche souhaite exploiter des ressources identifiées dans le territoire de son permis, il fait une demande d'exploitation.

La concession est attribuée par décret, après enquête publique, consultation des services administratifs locaux et avis du CGIET puis du Conseil d'Etat. Une telle concession est habituellement accordée pour une période de 25 ou 50 ans et peut être renouvelée plusieurs fois pour 25 ans au plus chaque fois.

Une fois ce permis obtenu, pour réaliser son forage d'exploitation, l'opérateur doit à encore faire une demande d'ouverture de travaux. Comme pour le forage d'exploration, cette demande est assortie d'une étude d'impact soumise à enquête publique.

## **6.2 Réglementation visant à limiter la pollution sonore causée par les campagnes sismiques en Guyane : cas des dernières campagnes réalisées en 2012**

### **6.2.1 Présentation générale de la réglementation**

Il n'existe pas de réglementation nationale visant à limiter la pollution sonore générée dans le milieu marin par les campagnes sismiques. Cependant, à l'échelle de la Guyane, une réglementation a été mise en place par la préfecture dans le cadre de l'autorisation d'ouverture des travaux sismiques (§6.1.2). Nous présentons ici uniquement la réglementation relative aux dernières campagnes réalisées en 2012.

Deux arrêtés préfectoraux encadraient les mesures à mettre en place afin de suivre et de limiter l'impact des campagnes sismiques sur la faune et en particulier sur les cétacés : l'arrêté n°723/SG/2D3B du 11 mai 2012 « donnant acte à la société *Shell exploration and production* France de sa déclaration d'ouverture de travaux de recherches par méthode sismique et édictant des prescriptions générales. » et l'arrêté préfectoral n°943/SG/2D3B du 20 juin 2012 complétant et modifiant l'arrêté préfectoral n°723/SG/2D3B du 11 mai 2012 et édictant des prescriptions techniques relatives aux travaux.

L'arrêté n°723 était composé de 12 articles. Les articles 1 et 2 étaient d'ordre général (contexte, définitions...). Les articles 3 à 7 présentaient les modalités de suivi du navire et des opérations et la documentation technique à fournir par l'explorateur. L'article 8 était relatif à l'archéologie préventive. L'article 9 était relatif aux interactions avec les activités et usages (dont la pêche). Enfin, les articles 10 à 12 précisaient diverses règles administratives (publicité, voie de recours, exécution).

L'arrêté préfectoral n°943 était composé de 11 articles. L'article 1 donnait les généralités. Les articles 2 à 7 présentaient les modalités de suivi du navire, des opérations, et des éventuels accidents, et précisait la liste de la documentation technique à fournir. L'article 8 était relatif à la lutte contre les pollutions accidentelles par les hydrocarbures. L'article 9 présentait les mesures de protection de l'environnement (éviter, réduire, suivre et contrôler). Enfin, les articles 10 et 11 présentaient diverses règles administratives.

### *6.2.2 Détails des éléments relatifs au suivi de l'impact sur les ressources halieutiques*

L'article 9 de l'arrêté préfectoral n°723 visait à assurer entre autres le suivi de l'impact des campagnes sismiques sur la pêche. Il concernait indirectement les cétacés qui exploitent les mêmes ressources que la pêche ou des espèces proches, qui réagissent très probablement de manière similaire aux campagnes sismiques. Cet article imposait à l'explorateur de réaliser à ses frais un suivi de la ressource sur les secteurs de pêche les plus proches des zones d'acquisitions sismiques. Il prévoyait qu'un échantillonnage soit réalisé avant le début des opérations, pendant la campagne d'acquisition sismique et après la campagne. Les résultats des campagnes d'échantillonnage sont en cours d'analyse.

### *6.2.3 Détails des éléments relatifs aux mesures d'évitement et de réduction*

L'article 9.1 de l'arrêté préfectoral n°943 imposait la mise en place de mesures visant à limiter les impacts directs des tirs sismiques sur la faune et en particulier sur les cétacés. Il imposait que les moyens de détection de jour comme de nuit permettent de détecter la présence d'animaux suffisamment tôt pour mettre en œuvre des mesures d'évitement de l'impact. Il réglementait aussi le démarrage des lignes d'acquisition sismique, imposant qu'une phase d'augmentation progressive du niveau d'émission sonore soit mise en place. Enfin, il imposait l'utilisation d'une source sismique de faible intensité ayant un effet répulsif lorsque la source sismique d'acquisition était en arrêt.

En application de cet article, durant les campagnes sismiques de 2012, l'opérateur a mis en place un protocole de limitation des impacts qui est décrit dans la suite du rapport (cf. §8.1) et présenté en détail dans l'Annexe 4.

#### ***6.2.4 Détails des éléments relatifs aux mesures de suivi et de contrôle***

L'article 9.2 de l'arrêté préfectoral n°943 présentait les mesures de suivi et de contrôle des règles imposées par l'article 9.1 :

- Les mesures de réduction des impacts des activités sismiques sur la faune devaient faire l'objet d'un avis d'un organisme tiers indépendant. Ce travail a été réalisé par le bureau d'étude URS (2012).
- L'intensité du signal sismique en fonction de la distance à la source devait être réévaluée périodiquement. Cette mesure n'a pas été suivie.
- Les observateurs devaient être en nombre suffisant pour assurer une surveillance de jour comme de nuit et devaient être qualifiés et expérimentés (standards de la certification MMO du JNCC ou équivalent). La mise en œuvre de cette mesure est détaillée dans le paragraphe 8.1.
- un rapport de synthèse des effets sur l'environnement des campagnes sismiques, analysant l'efficacité des mesures, devait être fourni après la fin de chaque tranche de travaux. Ce rapport a été fourni par les observateurs embarqués à bord des navires sismiques à la fin de chaque campagne.

### **6.3 Réglementation visant à limiter la pollution chimique générées par les forages en Guyane : cas des derniers forages d'exploration réalisés en 2012 et 2013**

#### ***6.3.1 Présentation générale de la réglementation***

A l'échelle nationale, l'article L218-32 du code de l'environnement stipule que dans le cadre des activités d'exploration et d'exploitation des ressources naturelles du plateau continental, est interdit tout rejet à la mer d'hydrocarbures susceptibles de porter atteinte à la faune et à la flore marines.

A l'échelle de la Guyane, une réglementation plus restrictive a été mise en place par la préfecture dans le cadre de l'autorisation d'ouverture des travaux pour la réalisation des forages d'exploration. Nous présentons ici uniquement la réglementation relative aux derniers forages réalisés en 2012 et 2013.

Deux arrêtés préfectoraux encadraient les mesures que l'opérateur devait mettre en place afin de limiter la pollution des eaux causées par les boues de forage et d'empêcher les

fuites d'hydrocarbures : l'arrêté préfectoral n°722/SG/2D3B du 11 mai 2012 « donnant acte à la société *Shell Exploration et Production* France de sa déclaration d'ouverture de travaux de recherches d'hydrocarbures liquides ou gazeux par la réalisation des forages dénommés GM-ES 2, 3, 4 et 5 et édictant des prescriptions générales. » et l'arrêté préfectoral n°944/SG/2D3B du 20 juin 2012, complétant et modifiant le premier.

L'arrêté préfectoral n°722 était composé de 19 articles. Les articles 1-2 présentaient les généralités (contexte, définitions...). Les articles 3 à 9 étaient relatifs aux modalités de suivi du navire, des opérations, et des éventuels accidents, et listaient la documentation technique à fournir. Les articles 10 et 11 étaient relatifs aux rejets et aux traitements des eaux usées et des gaz. L'article 12 encadrait l'utilisation, le rejet et le suivi de l'impact des boues et déblais de forage. L'article 13 était relatif à l'archéologie préventive. Enfin, les articles 14 à 19 décrivaient des procédures administratives diverses.

L'arrêté préfectoral n°944 était composé de 6 titres et 34 articles. Le titre 1 présentait les dispositions modificatives de l'article n°722. Le titre 2 était relatif aux modalités d'identification et de signalisation du navire et des éventuels accidents et présentait les modalités de lutte contre les déversements accidentels d'hydrocarbures (articles 8). Le titre 3 présentait les dispositions préalables aux travaux relatives aux risques de pollutions marines ainsi que les mesures préventives. Le titre 4 était relatif aux modalités de suivi du navire et des opérations (articles 10 à 14), à la solidité et de l'étanchéité des équipements de forage et d'obturation du puits (articles 15 à 18), ainsi qu'à la sécurité (articles 19 à 23). Le titre 5 présentait les dispositions pour la protection du milieu marin relatives en particulier aux boues et déblais de forage (article 24) et au déversement accidentel d'hydrocarbures (articles 26 à 28). Enfin, le titre 6 était relatif aux dispositions de fin de travaux (procédure de fermeture du puits, informations à transmettre et procédures administratives diverses).

### ***6.3.2 Détails des arrêtés préfectoraux relatifs aux boues de forage***

L'article 12 de l'arrêté préfectoral n°722, relatif aux boues de forage et aux déblais, interdisait tout rejet à la mer d'hydrocarbures. Il imposait de faire usage exclusivement de boues dont les compositions étaient mentionnées dans le dossier de déclaration d'ouverture des travaux. Les produits entrant dans la composition des boues à base d'eau devaient être mentionnés dans les listes annexées à la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR) et être utilisés selon les conditions les plus restrictives. L'usage des boues à base synthétique n'était autorisé qu'après établissement d'un circuit fermé. Le suivi des rejets devait être réalisé par l'explorateur par des prélèvements de sédiments et d'eau ainsi que des relevés photographiques et/ou vidéo du fond marin pendant et après la campagne de forage et devait faire l'objet d'un rapport. Les déblais de forage ont été traités avec les meilleures techniques disponibles (MTD) avant rejet en mer. Les résultats des campagnes d'échantillonnage sont en cours d'analyse.

L'article 24 de l'arrêté préfectoral n°944 imposait des seuils visant à limiter la toxicité des boues de forage. Il donnait par exemple des concentrations maximales pour les polluants les plus toxiques comme les métaux lourds et les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Il imposait de respecter et de contrôler la limite de 5% de fluide de forage en volume de déblais mais aussi la réalisation d'une étude technico-économique sur la réduction de l'impact du rejet en mer de déblais pour les forages ultérieurs ; étude qui devait être soumise à l'avis d'un organisme tiers indépendant. L'étude a été menée par Shell en 2013 puis soumise pour avis au bureau d'étude DNV en 2013.

### ***6.3.3 Détails des arrêtés préfectoraux relatifs aux déversements accidentels d'hydrocarbures***

L'article 9 de l'arrêté préfectoral n°722 imposait que l'explorateur transmette aux services de l'Etat le programme de forage ainsi qu'un document d'appréciation des impacts et un plan d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures. Ce travail a été réalisé par le bureau d'étude Oil Spill Intervention Limited en 2012-2013.

L'article 25 de l'arrêté préfectoral n°944 imposait que l'explorateur réalise les prélèvements nécessaires à une bonne connaissance des hydrocarbures mis en évidence, et ainsi optimise l'efficacité de ses moyens de lutte contre les pollutions accidentelles provenant du puits.

L'article 7 de l'arrêté préfectoral n°944 imposait à l'explorateur d'informer immédiatement de tout incident ou accident susceptible de porter atteinte à la qualité du milieu. En cas de déversement accidentel d'hydrocarbures, l'article imposait à l'explorateur de transmettre en temps réel les informations relatives à la dérive de nappes (surveillance aérienne et satellite), et d'explicitier sans délai la stratégie de lutte.

L'article 8 de l'arrêté préfectoral n°944 stipulait que le personnel devait avoir reçu une formation à la lutte antipollution et à son matériel d'intervention, tel que définis dans le plan d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures, dans sa version validée.

Les articles 15 à 18 de l'arrêté préfectoral n°944 visaient à s'assurer de la solidité et de l'étanchéité des équipements de forage et d'obturation du puits.

L'article 26 de l'arrêté préfectoral n°944 précisait qu'en cas de déversement accidentel d'hydrocarbures, l'utilisation de dispersants était soumise à autorisation et que seuls pouvaient être utilisés les dispersants décrits dans le dossier de déclaration d'ouverture des travaux et présents dans la liste des produits agréés par le Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE).

## 7 EVALUATION DES IMPACTS DES ACTIVITES PETROLIERES SUR LES CETACES EN GUYANE

### 7.1 Méthode

Afin d'évaluer l'amplitude des effets des activités pétrolières sur les cétacés de Guyane, une matrice a été constituée, comprenant huit groupes d'espèces, six catégories d'impacts, et trois scénarios plausibles de ce que pourrait être le développement des activités pétrolières en Guyane.

L'amplitude potentielle des effets de chaque catégorie d'impacts a été évaluée pour chaque groupe d'espèces et en fonction des différents scénarios, à partir des informations présentées dans les paragraphes précédents et synthétisées ci-dessous. Les effets ont été classés selon trois niveaux d'amplitude : effet négligeable, effet modéré, effet majeur.

- Effet négligeable : la catégorie d'impacts considérée n'a pas d'effet négatif quantifiable sur l'espèce considérée en Guyane.

- Effet modéré : la catégorie d'impacts considérée peut avoir des effets négatifs quantifiables (modification notable mais de court terme des comportements ou de la distribution par exemple) mais qui ne sont pas susceptibles d'affecter le rôle de l'espèce dans le système.

- Effet majeur : la catégorie d'impacts considérée peut avoir des effets négatifs quantifiables et qui sont susceptibles d'affecter le rôle de l'espèce dans le système (diminution importante de l'abondance, changement notable de distribution sur de longues périodes, baisse de l'état de santé d'une part importante de certaines populations...). Ou l'impact est globalement modéré mais l'espèce est menacée à l'échelle internationale ou locale (groupes des rorquals, des cachalots et des dauphins de Guyane).

Lorsque des mesures de réduction des impacts ont été mises en œuvre, nous les avons prises en compte en proposant une évaluation de l'impact sans puis avec mesures de réduction.

### 7.2 Les groupes d'espèces

Huit groupes d'espèces ont été déterminés à partir des données disponibles à l'heure actuelle (Bordin et al., 2012 ; Hardman, 2010 ; Shell, 2012a et b ; Van Canneyt et al., 2009) sur : la présence des espèces dans le milieu, leur classification, leur habitat et leur comportement alimentaire. Ces groupes sont détaillés dans le chapitre 3 du présent document.

- Les rorquals : il s'agit d'espèces rarement observées en Guyane, non résidentes, et distribuées essentiellement dans le secteur océanique. Deux espèces appartenant à ce groupe ont été identifiées en Guyane : le rorqual commun et le rorqual bleu; toutes deux sont menacées à l'échelle mondiale (classées dans la catégorie en danger de l'UICN).

- La baleine à bosse : il s'agit d'une espèce rarement observée en Guyane, non résidente, et distribuée essentiellement dans le secteur océanique. Des couples mère-petits ont été observés dans la ZEE.

- Le cachalot : cette espèce est occasionnellement observée en Guyane, essentiellement dans le secteur océanique, à proximité de la pente externe du tombant. Des couples mère-petits ont été observés et il est possible que certains groupes soient résidents. Le cachalot est capable de plonger à plus de 1 000 m de profondeur et peut rester sous l'eau plus d'une heure ; il est donc particulièrement sensible aux activités sismiques. L'espèce est menacée à l'échelle internationale (catégorie vulnérable de l'UICN).

- Les baleines à bec : ces espèces sont occasionnellement observées en Guyane, essentiellement dans le secteur océanique. Il est possible que certains groupes soient résidents. Comme le cachalot, les baleines à bec sont des grands plongeurs, particulièrement sensibles aux activités sismiques.

- Les grands delphinidés océaniques : ce groupe comprend le globicéphale, le pseudorque et le dauphin de risso. Ces espèces sont occasionnellement observées en Guyane, essentiellement dans le secteur océanique et au niveau du talus. Il est probable que certains groupes soient résidents.

- Les petits delphinidés océaniques : ce groupe comprend les petits delphinidés qui sont fréquemment observés en milieu océanique ou au niveau du tombant (le péponocéphale, les *Stenella spp.*, le dauphin commun, le sténo et le dauphin de Fraser). Il est probable que certains groupes de ces espèces soient résidents.

- Les delphinidés du plateau : ce groupe comprend le grand dauphin et le dauphin commun à long-bec, qui sont fréquemment observés sur le plateau continental, au-delà du secteur côtier. Il est très probable que certains groupes soient résidents.

- Le dauphin de Guyane : cette espèce est fréquemment observée dans la bande côtière et est très probablement résidente pour au moins une partie de sa population. Les opérations sismiques et les forages ne sont pas autorisés dans les eaux territoriales (<20 miles nautiques), mais pourraient se développer à la limite de l'aire de distribution de l'espèce. Le dauphin de Guyane est menacé à l'échelle régionale.

### 7.3 Les catégories d'impacts

Les catégories d'impact ont été déterminées à partir de la nature des impacts (acoustique, chimique ou collision) et de leur origine (activité sismique, travaux en mer, forage, transport....). Elles découlent du chapitre 5 du présent document et y sont décrites en détail.

- La pollution acoustique causée par les activités sismiques : à court-terme et en fonction des caractéristiques de la source sonore, des espèces, des individus et de la distance à la source, cette pollution peut avoir divers effets allant du simple changement de comportement au déplacement temporaire de populations ou encore à la diminution de l'abondance de certaines proies. A long-terme, si les campagnes d'acquisition sismique sont fréquentes dans une région, il est possible que cette pollution ait des effets négatifs sur l'état de conservation de certaines populations. La pollution acoustique a des effets plus importants sur les grands plongeurs (cachalots et baleines à bec).

- La pollution acoustique causée par les travaux en mer : cette pollution peut avoir à court et long terme les mêmes effets que la pollution acoustique causée par la sismique.

- La pollution acoustique causée par les embarcations à moteur : la pression acoustique produite par les embarcations à moteur est plus faible que celle émise lors des campagnes d'acquisition sismique. Cependant, dans des régions à forte densité de trafic maritime, cette pollution pourrait avoir à court et long terme des effets similaires.

- Les collisions : elles peuvent augmenter de manière significative la mortalité de certaines populations de cétacés dans des régions à forte densité de trafic maritime, quel que soit l'espèce. Pour simplifier l'évaluation, cet impact a été considéré en même temps que l'autre impact causé par les embarcations à moteur, la pollution acoustique.

- La pollution chimique diffuse causée par les boues de forage : cette pollution généralement ponctuelle et localisée, semble avoir un effet relativement négligeable sur les cétacés. Cependant, dans un cas hypothétique extrême où des forages seraient réalisés fréquemment dans un milieu côtier, où la dilution des polluants est limitée, il est envisageable que les polluants contenus dans les boues de forage parviennent à long terme à des concentrations toxiques chez certains cétacés et chez certaines de leurs proies, et participent ainsi à la dégradation de l'état de conservation de ces populations.

- La pollution chimique diffuse causée par les eaux de production : la toxicité des eaux de production déversées dans le milieu marin après traitement est la plupart du temps faible à modérée, étant donné la dilution et la dispersion des composants dans le milieu marin. Cependant, comme dans le cas des boues de production, sur le long-terme, et en particulier en milieu côtier, les polluants contenus dans les eaux de production pourraient parvenir à des concentrations toxiques chez certains cétacés et chez certaines de leurs proies.

- La pollution chimique des eaux causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures : ce type d'événement est en général à court terme à l'origine d'une forte mortalité de cétacés par effets directs. Sur le long terme les marées noires sont en général la cause de la dégradation de l'état de conservation des populations de cétacés qui résident de manière permanente dans les régions impactées.

## 7.4 Les scénarios

Comme il a été exposé dans les paragraphes précédents, il est important pour évaluer l'impact des activités pétrolières sur les cétacés, de prendre en compte le cumul des effets sur le long-terme. Trois scénarios plausibles de ce que pourrait être le développement des activités pétrolières en Guyane ont donc été établis. L'effet cumulé potentiel de chaque catégorie d'impact en fonction du niveau de développement des activités a ensuite été évalué.

- Scénario 1 : ce scénario est similaire à ce qui s'est déroulé en Guyane entre 2002 et 2013. Durant une dizaine d'années, des campagnes sismiques sont réalisées durant environ un à quatre mois tous les trois ans et un à deux forages d'exploration sont effectués par an les trois dernières années, dans le milieu océanique, au niveau de la pente externe du talus. Aucun réservoir exploitable n'est mis en évidence et les activités pétrolières prennent fin après les dix années d'exploration.

- Scénario 2 : 10 années de phase d'exploration se déroulent comme décrit dans le scénario 1. Ensuite, les activités s'intensifient durant cinq ans : des campagnes sismiques sont réalisées durant environ un à quatre mois la première et la troisième année et deux forages sont effectués la cinquième année, cela à la fois dans le milieu océanique et sur le plateau. Aucun réservoir exploitable n'est mis en évidence et les activités pétrolières prennent fin après les quinze années d'exploration.

- Scénario 3 : quinze années de phase d'exploration se déroulent comme décrit dans le scénario 2. Deux réservoirs exploitables sont identifiés et exploités, durant une trentaine d'années, un sur le plateau et un dans le milieu océanique ou au niveau du talus.

## 7.5 Evaluation

L'amplitude potentielle (négligeable, modéré ou majeur ; Tableau 3) des effets de chaque catégorie d'impacts a été évaluée pour chaque groupe d'espèces et en fonction des différents scénarios, à partir des informations présentées dans les différents chapitres du rapport et synthétisé dans les paragraphes ci-dessus (§ 7.1 à 7.4).

- La pollution acoustique causée par les activités sismiques : dans le cas où aucune mesure de limitation des impacts ne serait prise, cette pollution peut être considérée comme ayant un effet majeur sur toutes les espèces potentiellement résidentes (toutes à l'exception des rorquals et des baleines à bosse) ou non résidentes mais menacées (rorqual). Dans le cas où des mesures de réduction telles que celles mises en œuvre en 2012 sont prises, les effets de cette pollution sur les cétacés peuvent être considérés comme modérés en général (Tableau 3). Cependant, chez les grands plongeurs (cachalot et baleines à bec), l'effet est considéré comme majeur dans le cas où les activités s'intensifient (scénarios 2 et 3). Chez les espèces menacées (rorquals, cachalot et dauphin de Guyane), l'effet modéré devient un effet majeur. Enfin, chez les espèces distribuées essentiellement sur le plateau (delphinidés du plateau et dauphin de Guyane), l'effet est considéré comme négligeable dans le cas du scénario 1, dans lequel les activités se concentrent dans le milieu océanique.

- La pollution acoustique causée par les embarcations à moteur et les collisions : cet impact a été considéré comme négligeable sur la plupart des cétacés dans le cas où les activités pétrolières ne passent pas en phase d'exploitation (scénarios 1 et 2) et modéré dans le cas du scénario 3. Cependant, dans le cas du dauphin de Guyane, cet impact a été considéré comme modéré dès le scénario 2, car l'espèce se distribue essentiellement en milieu côtier où se concentre le trafic maritime. En outre, l'effet modéré a été augmenté d'un échelon pour devenir un effet majeur chez les espèces menacées (rorquals, cachalot et dauphin de Guyane).

- La pollution acoustique causée par les travaux en mer : cette pollution ne serait générée que dans le cas où les activités pétrolières passeraient en phase d'exploitation (scénario 3). Ses effets ont été considérés comme modérés, sauf dans le cas des grands plongeurs (cachalot et baleines à bec) pour lesquels cet effet a été estimé comme majeur. En outre, l'effet modéré a été augmenté d'un échelon pour devenir un effet majeur chez les espèces menacées (rorquals, cachalot et dauphin de Guyane).

- La pollution chimique causée par les boues de forage : dans le cas où aucune mesure de réduction des impacts ne serait prise, et où les boues de forage seraient déversées directement dans le milieu, l'impact de cette pollution peut être considéré comme majeure pour les espèces du plateau et du milieu côtier et modéré pour les espèces océaniques, sauf dans les cas des espèces menacées comme les rorquals et le cachalot. Dans le cas où des mesures de réduction telles que celles mises en œuvre en Guyane sont prises, les effets de cette pollution sur les cétacés peuvent être considérés comme négligeables dans la mesure où ces forages, quel que soit le scénario, restent peu fréquents et n'auront lieu que dans des milieux totalement ouverts.

- La pollution chimique causée par les eaux de production : cette pollution ne serait générée que dans le cas où les activités pétrolières passeraient en phase d'exploitation (scénario 3). Cette pollution a été considérée comme négligeable, sauf pour le dauphin de Guyane, pour lequel les effets ont été notés comme modérés, et par conséquent majeur en raison du statut de l'espèce. En effet, dans le cas où un réservoir serait exploité dans un site proche des eaux territoriales, étant donné la mobilité réduite de certains groupes de dauphins de Guyane et la dilution des polluants plus limitée dans le milieu côtier, le forage pourrait avoir un impact majeur sur l'espèce. Cette attention particulière devra être précisée et justifiée par des études complémentaires.

- La pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures : cette pollution est peu probable mais dans le cas où elle aurait lieu son impact serait majeur sur l'ensemble des espèces présentes dans les eaux de la ZEE. En outre, si les activités pétrolières pouvant être à l'origine d'une telle pollution sont peu développées en Guyane, elles le sont fortement au Brésil. Or, étant donné la courantologie, un accident survenant dans la ZEE de ce pays voisin impacterait très probablement le milieu marin de Guyane. La mise en œuvre de mesures de réduction des impacts aura de toute évidence des effets bénéfiques, mais comme les dernier cas de marée noire l'ont montré, l'impact restera potentiellement majeur sur toutes les espèces de cétacés.

**Tableau 3** : Evaluation des impacts des activités pétrolières sur les cétacés en Guyane,

Groupe d'espèces	Scénario	Pollution acoustique causée par les activités sismiques		Pollution acoustique causée par les embarcations à moteur et collisions	Pollution acoustique causée par les travaux en mer	Pollution chimique causée par les boues de forage		Pollution chimique causée par les eaux de production	Pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures
		Sans mesures de limitation des impacts	Avec mesures de limitation des impacts			Sans mesures de limitation des impacts	Avec mesures de limitation des impacts		
Les rorquals	Scénario 1	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Baleine à bosse	Scénario 1	Modéré	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Modéré	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	Scénario 3	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Le cachalot	Scénario 1	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Majeur	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Les baleines à bec	Scénario 1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Majeur	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Majeur	Modéré	Majeur	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Grands delphinidés océaniques	Scénario 1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Petits delphinidés océaniques	Scénario 1	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Modéré	Négligeable		Modéré	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré	Négligeable	Négligeable	
Delphinidés du plateau continental	Scénario 1	Négligeable	Négligeable	Négligeable		Négligeable	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Modéré	Négligeable		Majeur	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Modéré	Modéré	Modéré	Majeur	Négligeable	Négligeable	
Dauphin de Guyane	Scénario 1	Négligeable	Négligeable	Négligeable		Négligeable	Négligeable		Majeur
	Scénario 2	Majeur	Majeur	Majeur		Majeur	Négligeable		
	Scénario 3	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Majeur	Négligeable	Majeur	

## **8 RECOMMANDATIONS POUR LA CONSERVATION DES CETACES EN GUYANE DANS LE CADRE DU DEVELOPPEMENT DES ACTIVITES PETROLIERES**

La matrice d'impacts ci-dessus (Tableau 3) montre que les catégories d'impacts les plus susceptibles d'avoir un effet majeur sur les cétacés en Guyane sont la pollution acoustique causée par les activités sismiques et la pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures.

Le présent chapitre propose des pistes pour améliorer la conservation des cétacés en Guyane dans le cadre du développement des activités pétrolières. Il se concentre sur la pollution acoustique causée par les activités sismiques. La pollution chimique causée par un déversement accidentel majeur d'hydrocarbures aurait un effet potentiellement majeur sur l'ensemble de l'écosystème, pas seulement les cétacés, et mériterait un travail spécifique, trop important pour rentrer dans le cadre du présent document.

### **8.1 Comparaison des mesures mises en place en Guyane pour limiter l'impact de la sismique sur les cétacés durant les dernières campagnes de 2012, avec les préconisations les plus courantes à l'échelle internationale**

#### ***8.1.1 Présentation synthétique des préconisations les plus courantes à l'échelle internationale***

Les principales lignes directrices visant à limiter l'impact de la pollution acoustique causée par les campagnes sismiques qui font référence dans le monde sont celles du *Joint Nature Conservation Committee* (JNCC, 2010). Le JNCC est un organisme indépendant qui conseille le Gouvernement Britannique sur les questions relatives à la conservation de la nature. D'autres lignes directrices sont fréquemment citées qui sont aussi présentées ici : celle de l'Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord (ASCOBANS, 2010) et celle de l'Association des Observateurs de Mammifères Marins du Royaume Unis (MMOA, 2012). Enfin, le protocole Ifremer pour les émissions sismiques a été ajouté (Lurton, 2013), car il constitue à notre connaissance le seul cas de lignes directrices rédigées et utilisées par un établissement public français.

Dans les paragraphes suivants, les mesures mises en place en Guyane durant les dernières campagnes d'exploration sismiques réalisées en 2012 ont été comparées avec les lignes directrices citées ci-dessus. D'autres préconisations ont été utilisées ponctuellement et sont citées dans le texte.

**Tableau 4** : comparaison des principales lignes directrices établies à l'international pour limiter l'impact des campagnes sismiques sur les mammifères marins avec les mesures mises en place en Guyane en 2012.

ASCOBANS est l'Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord ; le JNCC est le comité de conservation de la nature de la Grande Bretagne ; la MMOA est l'association internationale des observateurs embarqués de mammifères marins. Le signe \* indique que la mesure a été appliquée mais de manière incomplète en Guyane par rapport à ce qui est généralement préconisé ; des détails sont donnés à ce sujet dans les paragraphes suivants.

MESURE DE LIMITATION DES IMPACTS	ASCOBANS	JNCC	MMOA	IFREMER	GUYANE
<b>Rédaction d'une étude d'impact comportant les éléments suivants :</b>					
Caractéristiques des espèces présentes, de leur distribution, de leur saisonnalité...	X	X	X	X	X*
Caractéristiques de la propagation du son en fonction des caractéristiques océanographiques	X		X		
Evaluation de l'impact de la source acoustique sur les espèces présentes (dommages acoustiques, perturbation des comportements...)	X	X	X		X*
Evaluation de l'impact cumulé des campagnes sismiques et de l'ensemble des menaces d'origine anthropique, à l'échelle des individus et des populations	X		X		
Une organisation spatiale et temporelle des activités, de manière à limiter l'impact sur les habitats sensibles et/ou durant les périodes les plus sensibles pour les animaux	X	X	X	X	
Une liste de mesures de mitigation à mettre en place durant la campagne sismique	X	X	X		X*
<b>Mesures de mitigation à mettre en œuvre durant la campagne sismique</b>					
Utiliser la source d'énergie la plus faible possible et éliminer les fréquences inutiles	X	X	X		
Instaurer une ou des zone(s) d'exclusion des cétacés, soit : spécifique à la campagne (fonction de la source sonore, des espèces, des seuils limites de dommages auditifs choisis et de la modélisation de la propagation du son) choisie à partir d'une grille de valeurs préétablie et fonction de la source sonore et des espèces de rayon fixe quel que soit le contexte (en général 500 m)	X		X		
				X	
		X			X
Mettre en place une surveillance par observations visuelles (au moins 2 personnes qui se relaient) <i>a minima</i> avant et durant les phases d'activité sismiques	X	X	X	X	X
Mettre en place une surveillance par acoustique passive ( <i>a minima</i> la nuit et quand la visibilité est mauvaise)	X	X	X		X*
Commencer les opérations le jour		X			X
Restreindre (dans l'idéal arrêter) l'activité durant la nuit ou lorsque la visibilité est mauvaise	X				
Mettre en place une recherche pré-tir dans la zone d'exclusion d'une durée de : 30 minutes 60 minutes (dans les habitats de grands plongeurs) 120 minutes (dans les habitats de grands plongeurs)	X	X	X	X	
		X			X
	X				
Mettre en place un démarrage progressif, de 20-30 min en général, sauf lorsque la source sonore a été arrêtée pour une courte durée (variable selon les lignes directrices)	X	X	X	X	X
Utiliser une source sonore de faible intensité lorsque la source sismique d'acquisition est en arrêt.					X
Arrêter la source acoustique lorsque des animaux sont détectés dans la zone d'exclusion	X	X	X	X	X
Arrêter la source sismique durant les changements de lignes d'acquisition lorsque la manœuvre dure plus d'une certaine durée prédéfinie.		X	X		X
<b>Outils de contrôle et de suivi des mesures de mitigation à mettre en œuvre durant la campagne sismique</b>					
Mettre en place un suivi des caractéristiques de la source acoustique pendant la campagne	X				X*
Exiger des observateurs et acousticiens formés et expérimentés	X	X	X	X	X
Imposer aux observateurs de remplir des formulaires quotidiens, définis avant le début des opérations, et rapportant : leur activité, les opérations sismiques et les observations d'animaux.		X	X	X	X*
Imposer aux observateurs de rendre un rapport sur les mesures mises en place, leur efficacité et les observations de faune marine, dont le contenu a été défini avant la campagne	X	X	X	X	X*
<b>Mise en place d'un suivi des populations impactées</b>					
Collecter et centraliser après la campagne les données collectées par les observateurs ainsi que les photos et les enregistrements acoustiques pour les vérifier quand cela est possible et les utiliser pour des études scientifiques			X		X*
Mettre en place un suivi des populations indépendant	X	X			

### 8.1.2 Les études d'impact

Les lignes directrices présentées (Tableau 4) préconisent de réaliser avant les campagnes sismiques une étude d'impact visant à identifier, prédire, évaluer et limiter l'impact des campagnes sismiques sur les espèces présentes.

Cette étude d'impact doit tout d'abord décrire de manière détaillée les espèces présentes (ASCOBANS, 2010 ; JNCC, 2010 ; MMOA, 2012 ; Ifremer, 2013 ; Tableau 4) : leur distribution, leur densité, leur saisonnalité éventuelle, leur cycle biologique, leur régime alimentaire, leurs habitats préférentiels, leur statut de conservation et de protection. Si nécessaire, des études approfondies sur le milieu doivent être réalisées. Toutes les directives insistent sur le fait que les caractéristiques de la source sonore (fréquence, puissance et durée/fréquence des impulsions) doivent être bien connues et certaines suggèrent de réaliser une modélisation de la propagation du son dans le milieu touché (ASCOBANS, 2010 ; MMOA, 2012 ; Tableau 4). La plupart recommandent aussi d'étudier l'impact de la source sonore en fonction des différentes espèces présentes (ASCOBANS, 2010 ; JNCC, 2010 ; MMOA, 2012 ; Tableau 4). Enfin, certaines lignes directrices suggèrent de prendre en compte les impacts cumulés de l'ensemble des activités anthropiques menées dans la zone, sur le court terme et le long terme, à l'échelle individuelle et des populations (ASCOBANS, 2010 ; MMOA, 2012 ; Tableau 4).

L'étude d'impact doit ensuite proposer un plan de limitation des effets de la campagne sismique sur les animaux. Ce plan doit être spécifique à la campagne et prendre en compte l'ensemble des informations collectées sur les espèces, la source sismique et le milieu. Il doit comprendre à la fois une série de mesures à mettre en œuvre durant le déroulement de la campagne sismique (ASCOBANS, 2010 ; JNCC, 2010 ; MMOA, 2012 ; Tableau 4), que nous détaillons dans le paragraphe suivant (§ 8.1.3), mais aussi une organisation spatiale et temporelle des activités, de manière à limiter l'impact sur les habitats sensibles ou durant les périodes les plus sensibles pour les animaux (ASCOBANS, 2010 ; JNCC, 2010 ; MMOA, 2012 ; Ifremer, 2013 ; Tableau 4).

Pour plusieurs auteurs, l'organisation spatiale et temporelle des activités constitue la mesure la plus simple à mettre en place et la plus efficace pour limiter leur impact sur le milieu (Compton et al, 2008 ; MMOA, 2012 ; Nowacek et al, 2013 ; Weir et Dolman, 2007). Koper et Plön (2012) recommandent que de telles mesures soient prises en particulier dans les régions suivantes :

- les habitats essentiels aux espèces menacées,
- les régions caractérisées par de fortes densités d'espèces menacées,
- les régions caractérisées par une forte diversité d'espèces,
- les régions couvrant une proportion importante des habitats de nourrissage ou de reproduction d'une espèce,
- les routes migratoires et les régions fermées.

De telles mesures ont été prises par exemple dans les zones de nourrissage de la baleine boréale en arctique et de la baleine grise en Russie (NOAA, 2013 ; Nowacek *et al.*, 2013).

Il est préconisé de réaliser ces plans de réduction des impacts dans le cadre d'une collaboration étroite entre les scientifiques, les associations environnementales, les services de l'Etat et les compagnies pétrolières. Enfin, il est aussi recommandé que l'étude d'impact soit évaluée par un organisme indépendant et soit soumise au public pour consultation (NOAA, 2013).

La notice d'impact réalisée en Guyane dans le cadre des dernières campagnes sismiques était peu développée par rapport à ce qui est habituellement préconisé. Tout d'abord, la description des espèces de mammifères marins présentes et de l'impact de la sismique sur ces animaux est relativement peu fournie. En outre, la notice ne présentait pas de modélisation de la propagation du son en fonction des caractéristiques environnementales. Ce manque a été partiellement comblé par URS (2012) qui propose une modélisation basique de la propagation du signal sismique, mais sans prendre en compte les caractéristiques propres au milieu. L'impact cumulé des campagnes sismiques avec les autres activités humaines n'a pas été décrit. La réglementation imposait quelques mesures mais pas de plan détaillé de limitation des impacts (arrêté n°723/SG/2D3B du 11 mai 2012 et arrêté préfectoral n°943/SG/2D3B du 20 juin 2012, présentés dans le § 6.2). Cependant, un tel plan a été proposé par l'opérateur lui-même et ces mesures ont fait l'objet de l'avis d'un organisme tiers indépendant (URS, 2012). Ces mesures ne comprenaient pas d'organisation spatiale et temporelle des activités afin de limiter leur impact sur les habitats et périodes sensibles et elles n'étaient pas soumises au public.

A l'image de la réglementation française, la prise en compte de l'impact de la pollution sonore générée par les activités sismiques sur le milieu marin est encore rare dans les réglementations nationales. Cependant, quelques pays ont déjà franchi le pas, comme les Etats-Unis, le Canada, ou encore la Grande Bretagne, qui imposent la réalisation d'une étude d'impact soumise au public dans le cas des demandes de travaux sismiques. En outre, de nombreux pays proposent aux opérateurs une liste de mesures pour limiter l'impact des activités sismiques sur les mammifères marins, mesures qu'ils doivent ou sont fortement encouragés à prendre de manière à obtenir une autorisation. C'est par exemple le cas en Grande Bretagne, au Canada, en Australie, aux Etats-Unis, ou encore en Nouvelle Zélande.

### **8.1.3 Les mesures de mitigation à mettre en œuvre durant le déroulement des campagnes sismiques**

#### **8.1.3.1 Utilisation de la source de la plus faible puissance possible**

Plusieurs lignes directrices préconisent d'utiliser la source sonore de la plus faible puissance possible par rapport aux besoins de la campagne (MMOA, 2012 ; ASCOBANS, 2010) et le JNCC (2010) recommande aussi de limiter au mieux la production des hautes fréquences inutiles.

Cette recommandation édictée par deux organismes sur quatre ne se retrouve pas dans la réglementation imposée en Guyane en 2012. L'opérateur ne les propose pas non plus dans son plan de limitation des impacts.

#### **8.1.3.2 Zone d'exclusion**

La zone d'exclusion est une surface circulaire, centrée sur la source sonore et en dehors de laquelle on considère que la probabilité que l'espèce considérée soit exposée à des dommages auditifs temporaires ou permanents est négligeable. L'objectif est que l'espèce que l'on souhaite protéger ne pénètre pas dans ce cercle lorsque la source sonore est active. Il s'agit donc de limiter seulement les dommages auditifs, et non la perturbation des comportements, bien que la mesure soit aussi bénéfique dans ce sens mais dans une certaine mesure seulement.

L'ensemble des préconisations présentées ici (Tableau 4) considèrent, par principe de précaution, la mise en place en permanence d'une zone d'exclusion comme l'une des mesures minimales à mettre en place pour limiter l'impact des activités sismiques sur les mammifères marins. On retrouve cette mesure dans les listes de recommandations que les pétroliers sont fortement encouragés à suivre pour obtenir une autorisation en Grande Bretagne, au Canada, en Australie, aux Etats-Unis, ou encore en Nouvelle Zélande. On ne trouve pas dans la littérature de cas où des campagnes sismiques ont été réalisées dans des milieux où la présence de mammifères marins aurait été identifiée comme trop faible pour nécessiter la mise en place d'une zone d'exclusion *a priori*.

Les zones d'exclusion sont en général définies selon une des méthodes suivantes :

- La méthode la plus simple est de fixer une distance relativement conservatrice, quelles que soient les caractéristiques de la campagne, du milieu et des espèces. C'est le choix du JNCC qui a fixé un rayon de 500 m pour la zone d'exclusion.

- La méthode la plus complète, préconisées par la MMOA (2012) et ASCOBANS (2010), consiste à déterminer une ou des zone(s) d'exclusion spécifique(s) au contexte de la campagne sismique, et fonction : de la sensibilité et du statut de conservation des espèces, des caractéristiques de la source sonore (puissance, gamme de fréquences émises, fréquence de tir) et des résultats de la modélisation de la propagation du son dans le milieu.

- L'Ifremer a fait le choix d'une méthode de complexité intermédiaire : le rayon de la zone d'exclusion est déterminé à partir d'une grille de valeurs préétablie par l'organisme en fonction du niveau sonore de la source, de la fréquence de tir et du groupe d'espèces présent (cétacés ou pinnipèdes ; Lurton, 2013, Annexe 5).

En Guyane, pour les dernières campagnes sismiques, la méthode la plus simple a été utilisée, soit l'établissement d'une zone d'exclusion d'un rayon fixe de 500 m. Toutefois, en raison du manque d'informations disponibles, ce rayon fixe ne prend pas en compte les spécificités des outils sismiques utilisés ou les caractéristiques des populations de cétacés présentes dans la zone impactée.

### 8.1.3.3 Surveillance visuelle

Toutes les lignes directrices préconisent que la zone d'exclusion soit surveillée par des observateurs embarqués (Tableau 4). La plupart recommandent de s'assurer que les observateurs soient positionnés sur le navire le plus haut possible et de manière à pouvoir observer à 360°, mais aussi qu'ils possèdent bien le matériel adéquat pour assurer leur rôle de manière optimale : jumelles, matériel pour mesurer la distance, appareil photo et un lien radio avec le commandement du navire. Il est recommandé en général la présence *a minima* d'un observateur sur le pont avant et durant les activités sismiques et une équipe d'au moins deux observateurs afin qu'ils puissent se relayer toutes les deux heures environ. Cependant, certaines directives, comme celle de l'Ifremer, préconisent la présence de deux observateurs sur le pont durant les phases d'activité sismique. La plupart des lignes directrices préconisent que ces observateurs exercent une surveillance de la zone d'exclusion uniquement de jour, mais certaines proposent une surveillance la nuit avec des systèmes de vision nocturne (ex : NOAA, 2013).

La présence d'observateurs embarqués a des limites : la distance à laquelle les animaux peuvent être détectés est limitée, l'observation visuelle est tributaire des conditions météorologiques, les systèmes de vision nocturne sont peu efficaces, et la présence de grands plongeurs (baleines à bec et cachalots) ou d'espèces cryptiques (comme les kogiidés) est particulièrement difficile à détecter. En revanche, cette méthode permet d'être très réactif à la présence d'animaux et d'agir avec le maximum de pertinence et en temps réel en fonction des observations. En outre, en plus de leur rôle de surveillance, la plupart des directives préconisent que les observateurs collectent des données sur les

animaux observés (espèce, nombre, localisation, comportement...), ce qui présente une opportunité pour développer les connaissances sur les espèces et leur comportement en présence de perturbations sonores ou encore sur l'efficacité des mesures de protection mises en œuvre (Lurton et Antoine, 2007 ; Weir et Dolman, 2007).

En Guyane, deux observateurs assuraient la surveillance à tour de rôle en se relayant toutes les deux heures. Une personne était donc de surveillance en permanence, entre le lever et le coucher du soleil, avant et pendant les lignes d'acquisition.

#### *8.1.3.4 Surveillance par acoustique passive*

L'ensemble des lignes directrices présentées préconise la mise en place d'une surveillance par acoustique passive en plus de l'observation visuelle (Tableau 4). L'acoustique passive consiste à utiliser un ou plusieurs hydrophones pour détecter la présence de cétacés par leurs vocalisations et leurs clics. Cette technique permet aussi d'estimer l'espèce ou le groupe d'espèces en présence, leur position et d'évaluer leur distance de manière instantanée, avec l'aide de logiciels.

Les avantages de cette méthode sont les suivants (Shell, 2012b) : la détection est peu affectée par les conditions météorologiques ; la portée est supérieure aux observations visuelles ; il est possible de détecter la présence d'animaux en plongée ; la surveillance est permanente à 360° et elle est possible la nuit.

Les inconvénients de la méthode sont les suivants (MMOA, 2012) : seuls les animaux qui vocalisent peuvent être détectés, l'efficacité est limitée pour détecter les vocalises de basses fréquences des mysticètes car elles sont masquées par les moteurs et les canons à air lorsqu'ils sont actifs ; l'estimation des distances reste approximative avec l'équipement disponible aujourd'hui ; les espèces qui produisent des sons hautes fréquences ne sont détectables que sur de courtes distances ; l'identification des espèces est souvent difficile, voire impossible ; les sons unidirectionnels, comme les clics d'écholocation des odontocètes, sont difficilement détectés. Pour toutes ces raisons, il est reconnu que la surveillance par acoustique passive doit être utilisée en complément des observations visuelles (MMOA, 2012). Pour optimiser son efficacité, Zimmer (2011) préconise de mettre à l'eau l'hydrophone le plus loin possible des moteurs et de la source acoustique et d'utiliser le logiciel le plus performant possible.

En Guyane, durant les dernières campagnes sismiques réalisées en 2012, l'acoustique passive a été utilisée la nuit seulement durant la première campagne et de jour comme de nuit durant la seconde. Une seule personne était en charge de ce travail.

### 8.1.3.5 Limitation de l'activité la nuit

Etant donné les limites des opérations de surveillance la nuit, certaines directives préconisent de commencer les opérations sismiques le jour (JNCC, 2010). Certaines recommandent de limiter les activités la nuit, voire dans l'idéal de les stopper (ASCOBANS, 2010) ; cependant, ces mesures sont sujettes à controverse car elles augmentent la durée des campagnes et potentiellement l'impact sur les animaux (Nowacek *et al.*, 2013).

La réglementation en Guyane n'imposait pas de limiter les activités la nuit mais la DEAL avait demandé à l'opérateur de ne commencer les opérations que le jour.

### 8.1.3.6 Recherche pré-tir

Toutes les lignes directrices présentées recommandent de mettre en place une surveillance (visuelle et/ou acoustique) de la zone d'exclusion un certain temps avant le début des opérations d'acquisition sismique (Tableau 4). Cette durée est en général au minimum de 30 minutes mais certains recommandent un temps plus long (60 à 120 minutes selon les exemples), en particulier dans les milieux où les grands plongeurs (cachalots et baleines à bec) sont susceptibles d'être présents. Lorsque des animaux sont présents dans la zone d'exclusion avant le début des opérations, il est préconisé de ne pas démarrer avant que les animaux ne soient sortis de la zone. Il est aussi recommandé de maintenir une surveillance durant les tirs et d'arrêter toute activité si des animaux sont détectés dans la zone d'exclusion, et ce jusqu'à ce qu'ils soient sortis de la zone.

En Guyane, durant les dernières campagnes, une recherche pré-tir était effectuée durant 60 minutes avant le début de toute utilisation des canons à air, par observation visuelle et acoustique passive. Si aucun cétacé n'était aperçu pendant ces 60 minutes dans un rayon de 500 m de la source sonore (zone d'exclusion), le démarrage progressif de la source acoustique pouvait commencer. Une surveillance visuelle était maintenue durant tout le temps des opérations sismiques et la source sonore devait être arrêtée si un cétacé était détecté dans la zone d'exclusion, mais cela ne s'est jamais produit.

### 8.1.3.7 Régimes de démarrages

Avant chaque démarrage des sources sonores, une mise en route progressive (*ramp-up* ou *soft-start*) est généralement préconisée (Tableau 4). Il s'agit d'augmenter progressivement la puissance de tir, durant 20 à 30 minutes en général, de manière à alerter les animaux présents à proximité de la source et de leur permettre de s'éloigner suffisamment pour être hors de danger lorsque les émissions atteignent leur niveau maximal (Lurton et Antoine, 2007). Cependant, l'utilité de cette mesure est sujette à controverse car elle suppose que : les cétacés soient capables de déterminer dans quelle direction s'éloigner,

donc que le niveau sonore initial ne soit pas déjà capable de les désorienter ; que la durée de la manœuvre leur laisse le temps de s'éloigner suffisamment; qu'ils ne soient pas en plongée profonde au début de l'opération, car leur réaction pourrait alors être de remonter vers la surface et d'aggraver ainsi leur exposition ; et enfin, que les animaux comprennent la manœuvre et s'éloignent effectivement de la source (Lurton et Antoine, 2007). En effet, Shapiro *et al.* (2006) ont exposé des cachalots à une source sonore de 160 dB et les animaux se sont approchés de la source au lieu de s'en éloigner. Ainsi, l'efficacité de cette mesure n'est pas clairement prouvée et les conditions dans lesquelles elle pourrait l'être (durée, puissance initiale, niveau d'augmentation de la puissance entre deux tirs...) encore moins (Compton et al, 2008 ; Weir et Dolman, 2007).

En Guyane, à chaque démarrage de la source acoustique, l'énergie était augmentée progressivement pendant au moins 20 minutes. Lorsque des cétacés étaient repérés, le démarrage progressif était retardé jusqu'à ce qu'ils quittent la zone et ne soient plus visibles pendant les 20 minutes suivantes. En cas d'arrêt de la source acoustique pendant plus de 10 minutes, un démarrage progressif de 20 minutes avait lieu avant de reprendre un nouveau profil d'acquisition sismique. Lorsque la source acoustique était arrêtée pendant une durée inférieure à 10 minutes, l'acquisition ne pouvait reprendre que si les veilles visuelle et acoustique n'avaient pas détecté d'animaux dans la zone d'exclusion (500 m). Lors des changements de ligne d'acquisition, dans le cas de l'utilisation de canons à air d'un volume total de 450 cm<sup>3</sup> (environ 225 dB re1μPa) ou plus, pour une manœuvre de plus de 20 minutes, les canons à air devaient être arrêtés à la fin de la ligne et un démarrage progressif de 20 minutes devait être effectué avant de débiter la ligne suivante, à moins qu'un animal ne soit présent dans la zone d'exclusion. Dans le cas de l'utilisation de canons à air d'un volume inférieur à 450 cm<sup>3</sup>, pour une manœuvre de plus de 40 minutes, les canons à air devaient être arrêtés à la fin de la ligne et un démarrage progressif de 20 minutes devait être effectué avant de débiter la ligne suivante. Lorsque la durée de la manœuvre était de moins de 40 minutes, les canons à air pouvaient être utilisés en continu pendant le changement de ligne mais avec un intervalle de tir de moins de 5 minutes.

Bien que cette mesure soit controversée, étant donné que les principales lignes directrices utilisées dans le monde préconisent sa mise en œuvre, il semble pertinent de continuer à l'appliquer en Guyane, tout en surveillant les avancées scientifiques dans ce domaine.

#### *8.1.3.8 Source de faible puissance*

Il était imposé en Guyane d'utiliser une source sonore de faible puissance entre deux opérations d'acquisition sismique, par exemple lors de changements de ligne (Tableau 4). Cependant, l'utilité de cette mesure n'est absolument pas prouvée et elle est rarement préconisée. En effet, comme décrit dans le paragraphe précédent, il a été montré que certaines espèces ont tendance à s'approcher des sources sonores de faible puissance, ce qui a pour conséquence un effet inverse à celui recherché. En outre, l'utilisation d'une source sonore en permanence a pour effet d'augmenter la pollution sonore dans le milieu (MMOA, 2012 ; Weir et Dolman, 2007).

#### *8.1.4 Le contrôle et le suivi des mesures de mitigation à mettre en œuvre durant le déroulement des campagnes sismiques*

La mesure la plus couramment recommandée pour s'assurer de la bonne mise en œuvre des mesures de réduction des impacts est d'imposer la sélection d'observateurs formés et expérimentés (Tableau 4). Il existe plusieurs organismes qui dispensent des formations d'observateurs reconnues internationalement, le plus connu d'entre eux étant le JNCC. Malheureusement, il n'existe pas de telle formation en France à l'heure actuelle. Plusieurs directives recommandent aussi que les observateurs soient indépendants de la compagnie pétrolière, c'est-à-dire employés par les services de l'état concerné (MMOA, 2012, Nowacek *et al.*, 2013). En Guyane, la réglementation imposait la sélection d'observateurs qualifiés selon le standard de la certification MMO du JNCC et expérimentés, à la fois pour les observations visuelles et pour l'acoustique. La DEAL a contrôlé les CV des personnes sélectionnées.

Une autre mesure de contrôle classique est d'exiger que les observateurs embarqués remplissent des formulaires quotidiens sur leur activité et un rapport d'activité final, qui fait le bilan de leur effort d'observation, des animaux rencontrés, de l'efficacité des mesures mises en place et de leur application par le commandement du navire (Tableau 4). La plupart des directives insistent sur le fait que le contenu et la forme de ces documents doivent être définis en détail avant le début de la campagne. En Guyane, ces documents étaient définis dans les grandes lignes dans la réglementation pour les dernières campagnes et les observateurs utilisaient les formulaires quotidiens du JNCC. Nowacek *et al.* (2013) conseillent là encore de mettre ces rapports à la disposition du grand public, ce qui a été fait en Guyane via le site internet de la DEAL.

ASCOBANS préconise de mettre en place le suivi des caractéristiques de la source acoustique. Dans ce même ordre d'idée, la réglementation en Guyane imposait une réévaluation périodique de l'intensité du signal. Cependant, aucun détail n'est donné sur la manière dont ces recommandations peuvent être appliquées.

### 8.1.5 Le suivi des populations de cétacés

ASCOBANS (2010) préconise, si nécessaire, de réaliser un suivi des populations de cétacés après la campagne afin d'évaluer son impact. OSPAR (2009) recommande la mise en place d'un suivi des habitats critiques avant, pendant et après les campagnes sismiques et le développement du suivi des échouages.

Certaines des recommandations les plus récentes (ex : MMOA, 2012 ; Nowacek *et al.*, 2013) préconisent d'utiliser les données collectées durant les campagnes sismiques pour améliorer les connaissances sur les populations de cétacés et participer à leur suivi. Cela est d'autant plus pertinent que les campagnes ont souvent lieu dans des régions peu étudiées. Ces données peuvent aussi servir à améliorer l'efficacité des mesures de réduction des impacts ou encore la connaissance des effets des activités sismiques sur les mammifères marins (Nowacek *et al.*, 2013). Nowacek *et al.* (2013) insiste sur le fait que cette démarche est dans l'intérêt des compagnies pétrolières, qui peuvent ainsi communiquer sur leur prise en compte de ces problématiques.

Cette préconisation a cependant des limites. D'une part, en termes d'amélioration des connaissances, les données collectées doivent être interprétées avec précaution, en prenant en compte les biais liés aux impacts des activités sismiques (Nowacek *et al.*, 2013). D'autre part, lorsque les données collectées ont vocation à être utilisées dans le cadre d'études scientifiques, les protocoles de collecte et la qualité des données sont très supérieurs à ceux exigés dans le cadre d'une simple surveillance de la zone d'exclusion. Par exemple, les données collectées lors des campagnes sismiques qui ont eu lieu dans les eaux brésiliennes en 2002 et 2003 n'ont pu être utilisées avec succès dans le cadre d'études scientifiques à cause de leur faible fiabilité et du manque d'homogénéité et de précision des protocoles (Parente et Araújo, 2011). En Guyane, les données collectées durant les campagnes sismiques ne sont pas toujours en adéquation avec celles collectées par ailleurs, ce qui laisse supposer quelques erreurs, en particulier pour l'identification des espèces.

Pour Nowacek *et al.* (2013), l'élément déterminant pour que cette mesure soit un succès est d'imposer des protocoles de collecte de données précis et standardisés pour toutes les campagnes et d'identifier en amont une structure qui collecte, archive et analyse ces données. La MMOA préconise aussi : de collecter des informations en parallèle, par des moyens traditionnels, non biaisés par les activités sismiques ; que des photographies soient prises et que les enregistrements acoustiques soient archivés, de manière à ce qu'il soit possible de vérifier la fiabilité des données.

Enfin, Compton *et al.* (2008) recommandent le développement de collaborations entre le milieu scientifique, les gestionnaires, les observateurs, et les compagnies pétrolières, pour que ces mesures soient mises en place de manière optimale.

En Guyane, un suivi des populations par survol aérien a été réalisé dans le cadre des activités pétrolières réalisées entre 2009 et 2011 mais sans suivre des protocoles standards pour ce type de campagnes. En outre, la DEAL est en train de centraliser les données brutes d'observations collectées durant les campagnes sismiques, ainsi que les photographies.

## **8.2 Besoins, objectifs et actions à maintenir, à renforcer et à mettre en œuvre pour limiter les impacts en Guyane**

La plupart des mesures de mitigation à mettre en œuvre durant les campagnes sismiques qui sont préconisées dans les principales lignes directrices utilisées comme référence à l'échelle internationale ont été appliquées en Guyane (Tableau 4) dans le cadre des arrêtés préfectoraux n°723/SG/2D3B et n°943/SG/2D3B. Il en est de même pour les outils de suivi de ces mesures. Cependant, certains de ces éléments demanderaient à être renforcés, comme le contrôle des informations collectées par les observateurs embarqués (§8.1.4).

L'encadrement amont (étude d'impact, Tableau 4) et aval (suivi des populations, tableau 4) des campagnes reste, lui, à améliorer. Par exemple, la notice d'impact a été peu développée par rapport à ce qui est habituellement préconisé. En particulier, aucune mesure n'a été prise pour organiser au mieux les activités dans le temps et l'espace afin de minimiser leur impact, en partie en raison d'un manque de connaissances des espèces (§8.1.2). En outre, le suivi des populations de cétacés n'a pas été prévu (§8.1.5).

Les préconisations faites dans les paragraphes suivants découlent de ce constat.

### ***8.2.1 Maintenir et renforcer à la fois les mesures de mitigation à mettre en œuvre durant les campagnes sismiques ainsi que les outils de contrôle et de suivi de ces mesures***

Afin de s'assurer du maintien des mesures de mitigation pertinentes mises en place en 2012 durant le déroulement des campagnes sismiques et de renforcer certaines mesures, il serait intéressant de rédiger un guide à l'attention des opérateurs. Ce guide n'a pas vocation à se substituer à la réglementation ; il définirait en détail les meilleures pratiques à avoir dans le contexte local, ainsi que les meilleures méthodes et normes à appliquer, et serait rédigé en concertation avec l'ensemble des acteurs. Un guide similaire a notamment été élaboré en 2012 sur commande DEAL pour la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impacts en Guyane au niveau terrestre (Biotope, 2012).

Il est aussi important de continuer à s'assurer au mieux de la qualité du travail des observateurs chargés des surveillances acoustique et visuelle de la zone d'exclusion, comme cela a été fait en 2012. Pour cela, il est recommandé de poursuivre la sélection d'observateurs qualifiés et expérimentés (selon les standards de la certification MMO du JNCC ou équivalent) et cela doit être vérifié avec le CV des personnes sélectionnées.

Pour améliorer le suivi et le contrôle de ces mesures, il serait en particulier intéressant de définir en amont et en détail les formulaires quotidiens remplis par les observateurs ainsi que leur rapport final. Des fiches descriptives de ces éléments pourraient être incluses dans le guide à l'attention des opérateurs.

Enfin, il serait intéressant de renforcer l'évaluation de ces mesures. Les modifications réglementaires prévues au niveau européen dans les années à venir (§6.1.2) devraient faire évoluer les demandes d'autorisations de travaux sismiques, qui pourraient désormais être soumises à enquête publique, ce qui irait dans le sens de cette préconisation.

### ***8.2.2 Organiser au mieux les activités dans le temps et l'espace afin de limiter leur impact***

Les habitats sensibles de chacune des espèces présentes dans les eaux guyanaises et les schémas saisonniers de fréquentation de ces habitats doivent être étudiés. La définition de ces périmètres pourra permettre de maintenir l'activité pétrolière tout en limitant son impact dans ces milieux sensibles. Des limitations saisonnières de ces activités pourront être envisagées, tout ou partie de l'année. Les zones à forts enjeux patrimoniaux, telles que les aires protégées (comme la Réserve naturelle nationale du Grand Connétable) ou les ZNIEFF mer de type 1 (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique ou Floristique), devront aussi être prises en compte dans ces schémas d'aménagement. A titre d'exemple, une zone tampon pourrait être définie pour les aires protégées. Une zone tampon pourra permettre une meilleure prise en compte des zones à fort enjeux patrimoniaux lorsque les activités doivent se dérouler à proximité de celles-ci. De plus, en cas d'opérations de nettoyage, lors d'un déversement, les zones tampons pourraient être des secteurs prioritaires d'intervention, afin de mieux protéger les zones à enjeux.

### ***8.2.3 Renforcer les connaissances pour mieux adapter les mesures aux spécificités régionales***

Les notices d'impacts rédigées avant la réalisation des dernières opérations pétrolières en Guyane étaient peu détaillées pour ce qui concerne les cétacés, en comparaison de ce qui peut se faire aujourd'hui dans d'autres régions du monde. La principale raison à cela est que les données disponibles sur les cétacés de Guyane, et sur le milieu marin en général, sont encore très limitées.

Pour pallier à ce problème, il serait intéressant de mieux valoriser la collecte de données d'observations qui est faite à bord des navires sismiques. La DEAL de Guyane est en train de centraliser l'ensemble des données collectées durant les campagnes menées depuis 2009, à l'exception des bandes sons. Il faut poursuivre ce travail en y incluant les données acoustiques et en le préparant en amont en définissant un protocole standard de collecte et de centralisation des données (quelles données, quel organisme, quelles bases de données...). Ces protocoles pourraient aussi être inclus dans le guide à l'attention des opérateurs. En outre, pour s'assurer que les données collectées dans le futur soient de la qualité nécessaire aux besoins des analyses scientifiques, il serait pertinent de maintenir la présence d'observateurs embarqués qualifiés et expérimentés.

Pour mieux adapter les mesures d'accompagnement prescriptives pour les mammifères marins lors des exploitations pétrolières il est nécessaire de réaliser des études indépendantes plus précises sur les populations de cétacés de Guyane, ceci afin de mieux définir la distribution des espèces, leur abondance, leurs habitats critiques, leur saisonnalité et leur fidélité au site. Ces études devraient être conduites selon des protocoles standards validés par la communauté scientifique, afin d'obtenir des données de qualité. Une étude plus complète sur la propagation du son et en particulier dans les milieux de faible profondeur où le phénomène est très complexe serait nécessaire pour affiner les impacts potentiels de l'exploitation pétrolière.

### ***8.2.4 Assurer le suivi des populations de cétacés de Guyane***

Les activités pétrolières ont débuté dans les années soixante en Guyane. Elles ont pris de l'ampleur à partir des années 2000 et il est très probable qu'elles s'intensifient encore dans les années à venir et ce sur une dizaine d'années au moins, qu'elles débouchent ou non sur la découverte de gisements exploitables. Il est avéré que les activités pétrolières ont des impacts négatifs à court terme sur les cétacés mais les impacts à long terme sont moins connus (voir § 5). Il semble donc nécessaire de mettre en place un suivi sur le long terme des populations de cétacés en Guyane et cela à diverses échelles : à l'échelle de la ZEE, par survols aériens et en exploitant au mieux les données collectées à bord des navires

sismiques, et à une échelle plus fine pour les espèces et habitats sensibles ou à forts enjeux patrimoniaux, par campagnes en mer en bateau et/ou par suivi acoustique et en développant le suivi des échouages.

Pour optimiser le montage et la mise en œuvre de tels projets, il paraît intéressant de poursuivre le travail fédérateur initié par la DEAL en 2012, en organisant par exemple des ateliers de travail avec l'ensemble des acteurs, permettant de définir les priorités ainsi que les moyens humains, techniques, et financiers à mobiliser. Il apparaît aussi important de développer l'expertise locale. Pour cela, il faudrait encourager la participation des acteurs locaux à des formations sur l'impact des activités sismiques sur les cétacés, ou aux événements régionaux ou internationaux traitant de ce sujet.

**Tableau 5** : Propositions des besoins, objectifs et actions à maintenir ou à renforcer ou à mettre en œuvre pour limiter l'impact des activités sismiques sur les cétacés en Guyane.

La colonne « état » précise si l'action a déjà été mise en œuvre en Guyane lors des campagnes de 2012 et est à maintenir (M), si elle a été mise en œuvre partiellement et qu'il serait pertinent qu'elle soit renforcée (R), si l'action n'a jamais été mise en œuvre en Guyane et qu'il paraît intéressant qu'elle le soit (O), ou enfin, si l'action est en cours de réalisation (en cours).

Besoins	Objectifs	Actions à mettre en œuvre	Etat	Priorité
1. Maintenir et renforcer les mesures de mitigation à mettre en œuvre durant les campagnes sismiques	1.1. Maintenir et renforcer les mesures de mitigation mises en place durant les opérations sismiques	Rédiger un guide de mesures de limitation des impacts acoustique à l'attention des opérateurs, comprenant une série de mesures visant à limiter les impacts durant la campagne sismique ainsi que les normes pour ces mesures.	O	1
	1.2. S'assurer au mieux de la qualité du travail des observateurs embarqués	Imposer la sélection d'observateurs formés, expérimentés et qualifiés.	M	1
		Vérifier la qualification et l'expérience des observateurs	M	1
	1.3. Développer les outils de suivi et de contrôle de ces mesures	Définir des formulaires quotidiens et un rapport final standards pour les observateurs embarqués.	R	1
2. Organiser au mieux les activités dans le temps et l'espace afin de limiter leur impact	2.1. Protéger les habitats sensibles	Définir les habitats sensibles et la saisonnalité des espèces.	O	1
		Prendre en compte les zones à forts enjeux patrimoniaux (aires protégées et futur ZNIEFF de type 1 mer)	O	1
		Limiter, voir interdire, les activités pétrolières (sismique, forage, exploitation, trafic maritime) dans les habitats sensibles et à forts enjeux patrimoniaux.	O	1
3. Renforcer les connaissances pour mieux adapter les mesures aux spécificités régionales	3.1. Améliorer les connaissances en utilisant les données collectées durant les campagnes sismiques	Centraliser l'ensemble des données collectées durant les campagnes menées depuis 2009 (fiches d'observation, bases de données, photographies, bandes sons), les vérifier et les analyser.	R	3
		Employer des observateurs qualifiés et expérimentés pour collecter des données à but scientifique.	R	2
		Définir en amont des standards pour les protocoles de collecte de données à vocation scientifiques.	O	2
		Définir en amont un protocole de centralisation des données collectées : quelles données (fiches, photos, bandes sons...), quel organisme, quelles bases de données...	O	2
	3.2. Améliorer les connaissances par des études indépendantes	Réaliser des études indépendantes sur les espèces présentes : distribution, abondance, densités, habitats critiques, saisonnalité, fidélité au site, écotoxicologie...	O	2
		Etudier et modéliser la propagation du son dans les différents milieux (océanique, talus, plateau)	O	2
4. Assurer le suivi des populations de cétacés de Guyane	4.1. Mettre en place le suivi des populations de cétacés de Guyane	Mettre en place un suivi des populations de cétacés sur l'ensemble de la ZEE par survols aériens.	R	2
		Mettre en place un suivi plus précis des espèces et habitats sensibles par bateau et ou par acoustique passive.	O	3
		Mettre en place un suivi écotoxicologique des populations de cétacés (par campagne et mer et/ou suivi des échouages et des captures accidentelles).	R	2
		Organiser un réseau échouage réactif et qualifié pour surveiller l'impact éventuel des activités anthropiques et formé aux mesures à mettre en place en cas de déversement accidentel d'hydrocarbures.	En cours	2
		Mettre en place un suivi de la présence des animaux et de leur comportement en présence des activités pétrolières en utilisant les données collectées à bord des navires sismiques.	O	3
	4.2. Développer l'expertise locale	Créer un groupe de travail à l'échelle du département pour définir et mener à bien un programme de suivi des populations de cétacés.	R	2
Former les experts locaux aux impacts des activités sismiques		R	2	

## BIBLIOGRAPHIE

- AAMP. (2009). *Analyse Stratégique Régionale - Guyane*. Agence des Aires Marines Protégées, Brest. 154p. <http://www.aires-marines.fr/Documentation/ASR-Guyane>
- Aguilar A., Borrell A., Reijnders P.J.H. (2002) Geographical and temporal variation in levels of organochlorine contaminants in marine mammals. *Marine Environmental Research* 53: 425-452. [http://www.whoi.edu/science/B/people/mhahn/Aguilar\\_425.pdf](http://www.whoi.edu/science/B/people/mhahn/Aguilar_425.pdf)
- Alonso M.B., Marigo J., Bertozzi C.P., Santos M.C.O., Taniguchi S., Montone R.C. (2010). Occurrence of chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs) in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Ubatuba and Baixada Santista, São Paulo, Brazil. *LAJAM* 8(1-2): 123–130. <http://lajamjournal.org/index.php/lajam/article/view/338>
- ASCOBANS. (2010). *Guidelines to address the impact of anthropogenic noise on cetaceans in the ACCOBAMS area*. 9p. [http://www.accobams.org/images/stories/Guidelines/English/guidelines\\_impact%20of%20anthropogenic%20noise.pdf](http://www.accobams.org/images/stories/Guidelines/English/guidelines_impact%20of%20anthropogenic%20noise.pdf)
- Bailey H., Senior B., Simmons D., Rusin J., Picken G., Thompson P.M. (2010). Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore windfarm and its potential effects on marine mammals. *Marine Pollution Bulletin* 60: 888-897. [http://abdn.ac.uk/lighthouse/documents/Bailey\\_Assessing\\_underwater\\_2010\\_MPB.pdf](http://abdn.ac.uk/lighthouse/documents/Bailey_Assessing_underwater_2010_MPB.pdf)
- Baklouti M. (2012). Physique et chimie du milieu marin : Circulation des masses d'eau. p 22-27. In Guiral D., le Guen R., Guyane Océane. Roger Le Guen, IRD.
- Balcomb III, K.C., Claridge D.E. (2001). A mass stranding of cetaceans caused by naval sonar in the Bahamas. *Bahamas Journal of Science* 8(2):2-12. [http://www.bahamaswhales.org/resources/Stranding\\_Article.pdf](http://www.bahamaswhales.org/resources/Stranding_Article.pdf)
- Barnes R.S.K., Hughes R.N. (2009). *An introduction to Marine Ecology*. Wiley-Blackwell. 296 p.
- Bearzi G. 2002. Interactions between cetacean and fisheries in the Mediterranean Sea. In: G. Notarbartolo di Sciara (Ed.), *Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies*. A report to the ACCOBAMS Secretariat, Monaco, February 2002. Section 9, 20 p. [http://theblackfish.org/files/driftnets\\_cetaceans\\_report.pdf](http://theblackfish.org/files/driftnets_cetaceans_report.pdf)
- Bearzi G., Politi E., Agazzi S., Azzellin A. (2006). Prey depletion caused by overfishing and the decline of marine megafauna in eastern Ionian Sea coastal waters (central Mediterranean). *Biological Conservation* 127: 373-382. [http://cetaceanalliance.org/download/literature/Bearzi\\_etal\\_2006.pdf](http://cetaceanalliance.org/download/literature/Bearzi_etal_2006.pdf)
- Bearzi, G., Holcer, D., Di Sciara, G.N. (2004) The role of historical dolphin takes and habitat degradation in shaping the present status of northern Adriatic cetaceans. *Aquatic Conservation of Marine Freshwater Ecosystem* 14: 363-379. [http://www.dolphinbiology.org/download/literature/Bearzi\\_etal\\_2004.pdf](http://www.dolphinbiology.org/download/literature/Bearzi_etal_2004.pdf)
- Bejder L., Samuels A., Whitehead H., Gales *et al.* (2006). Decline in Relative Abundance of Bottlenose Dolphins Exposed to Long-Term Disturbance. *Conservation Biology* 20: 1791-1798. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2006.00540.x/abstract>
- Biotope 2012. Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact en Guyane. DEAL Guyane 176p.
- Bordin A., de Pracontal N., Hauselmann A., Rinaldi R. Renaudier A. (2012). *Résultats de l'inventaire pélagique*. GEPOG, Cayenne. 67p.

- Bourguignon G. (2012a). La diversité des exploitations halieutiques. p 424-433. In Guiral D., le Guen R., *Guyane Océane*. Roger Le Guen, IRD.
- Bourguignon G. (2012b). La pêche en Guyane française : quel avenir ? p434-437. In Guiral D., le Guen R., *Guyane Océane*. Roger Le Guen, IRD.
- Bowles A.E., Smultea M., Würsig B., DeMaster D.P., Palka D. (1994). Relative abundance and behavior of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island Feasibility Test. *Journal of the Acoustical Society of America* 96: 2469-2484.  
<http://europemc.org/abstract/med/7963037>
- Breitzke M., Boebel O., El Naggar S., Jokat W., Werner B. (2008). Broad-band calibration of marine seismic sources used by R/V Polarstern for academic research in polar regions. *Geophysical Journal International* 174: 505–524.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-246X.2008.03831.x/abstract>
- Caldwell J., Dragoset W. (2000). A brief overview of seismic air-gun arrays. *The Leading Edge* August 2000: 898-902. [http://anp.gov.br/brasil-rounds/round8/round8/guias\\_r8/sismica\\_r8/Bibliografia/Caldwell%20e%20Dragoset%202000.pdf](http://anp.gov.br/brasil-rounds/round8/round8/guias_r8/sismica_r8/Bibliografia/Caldwell%20e%20Dragoset%202000.pdf)
- Cañadas A., Fortuna C.M., Hammond P. (2006). Modelling techniques to investigate the impact of changes in habitat on cetacean distribution and abundance. *58th International Whaling Commission SC/58/E 21:11*. [http://iwc.int/document\\_1822](http://iwc.int/document_1822)
- Carvalho CEV, Di Benedetto APM, Souza CMG, Ramos RMA, Resende CE (2008) Heavy metal distribution in two cetacean species from Rio de Janeiro State, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 88:1117
- Compton R., Goodwin L., Handy R., Abbott V. (2008). A critical examination of worldwide guidelines for minimising the disturbance to marine mammals during seismic surveys. *Marine Policy* 32(3): 255-262. [http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rthnb/nrthffshr/dclrtngnfcntcmrldscvr/tgspsgs2011nrthstrncnd/jnnfr\\_brssky\\_scncdrct-eng.pdf](http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rthnb/nrthffshr/dclrtngnfcntcmrldscvr/tgspsgs2011nrthstrncnd/jnnfr_brssky_scncdrct-eng.pdf)
- Conn P.B., Silber G.K. (2013). Vessel speed restrictions reduce risk of collision-related mortality for North Atlantic right whales. *Ecosphere* 4(April): 1–15.  
[http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/shipstrike/conn\\_silber2013.pdf](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/shipstrike/conn_silber2013.pdf)
- Cox T.M., Read A.J., Solow A., Tregenza, N. 2001. Will harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) habituate to pingers? *Journal of Cetacean Research and Management* 3: 81-86.  
[https://archive.iwc.int/pages/view.php?ref=244&search=!collection15&order\\_by=relevance&sort=DESC&offset=0&archive=0&k=&curpos=6](https://archive.iwc.int/pages/view.php?ref=244&search=!collection15&order_by=relevance&sort=DESC&offset=0&archive=0&k=&curpos=6)
- CREOCEAN (2012a). *Permis d'exploration Guyane maritime : réalisation d'une campagne sismique 3D - Volume2 : Document d'appréciation des impacts environnementaux (DAIE) Sismique*. 330p.
- CREOCEAN (2012b). *Réalisation de forages d'exploration dans le cadre du permis exclusif de recherche d'hydrocarbures (PERH) de Guyane maritime Volume2 - Document d'appréciation des impacts environnementaux (DAIE) Forages*. 334p.
- Darling J.D., Jones M.E., Nicklin C.P. (2006). Humpback whale songs: do they organize males during the breeding season? *Behaviour* 143: 1051- 1101.  
<http://www.whaletrust.org/assets/media/pdf/Humpback-Whale-Songs-Do-they-organize-males-on-the-breeding-grounds.pdf>
- Di Iorio L, Clark CW. (2009). Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. *Biological Letter*. doi: 10.1098/rsbl.2009.0651.  
<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/6/1/51.short>

- Dolman S.J., Simmonds M.P. (2006). *An updated note on the vulnerability of cetaceans to acoustic disturbance*. Report prepared for the International Whaling Commission (IWC) by the Whale and Dolphin Conservation Society (WDCS). Wiltshire, United Kingdom. Report number: SC/58/E22. 11pp. [http://iwc.int/document\\_1822](http://iwc.int/document_1822)
- Elliott W., Simmonds M. (2007). *Whales in Hot Water? The Impact of a Changing Climate on Whales, Dolphins and Porpoises: A call for action*. WWF-International, Gland Switzerland / WDCS, Chippenham, UK  
<http://www.wwfblogs.org/climate/sites/default/files/WWFBinaryitem7665.pdf>
- Engås A., Løkkeborg S., Ona E., Soldal A.V. (1996). Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 2238-2249.  
[http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/108647/1996\\_2238.pdf?sequence=1](http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/108647/1996_2238.pdf?sequence=1)
- Erbe C., McCauley R., McPherson C., Gavrilov A. (2013). Underwater noise from offshore oil production vessels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 133(6): EL465–70.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/133/6/10.1121/1.4802183>
- Evans P.G.H. (2013). Proceedings of the ECS Workshop Chemical Pollution and Marine Mammals. ECS. 99p.  
[http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC20\\_3.4\\_ECSWorkshop\\_Pollutants.pdf](http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC20_3.4_ECSWorkshop_Pollutants.pdf)
- Fernández A., Arbelo M., Deaville R., Patterson I.A.P., Castro P., Baker J.R., *et al.* (2004). Pathology: whales, sonar and decompression sickness (reply). *Nature* 428(6984):1.  
<http://www.nature.com/nature/journal/v428/n6984/full/nature02528.html>
- Fernández A., Edwards J.F., Rodriguez F., de los Monteros A.E., Herráez P., Castro P., *et al.* (2005). “Gas and fat embolic syndrome” involving a mass stranding of beaked whales (Family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals. *Veterinary Pathology* 42(4):446-457.  
<http://vet.sagepub.com/content/42/4/446.full.pdf+html>
- Finneran J.J., Schlundt C.E., Dear R., Carder D.A., Ridgway S.H. (2002). Temporary shift in masked hearing thresholds (MTTS) in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. *Journal of the Acoustical Society of America* 111: 2929-2940.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/111/6/10.1121/1.1479150>
- Finneran J.J., Schlundt C.E., Branstetter B., Dear R.L. (2007). Assessing temporary threshold shift in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) using multiple simultaneous auditory evoked potentials. *Journal of the Acoustical Society of America* 122: 1249-1264.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/122/2/10.1121/1.2749447>
- Finneran J.J., Jenkins A.K. (2012). *Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis*. 64p.  
<http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA561707>
- Frisk G., Bradley D., Caldwell J., D’Spain G., Gordon J., Hastings M., Wartzok D. (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Academies Press. 218 p.
- Froidefond J.-M. (2012). Physique et chimie du milieu marin : Couleur des eaux. P28-37. In Guiral D., le Guen R., *Guyane Océane*. Roger Le Guen, IRD.
- Gannon D.P., Barros N.B., Nowacek D.P., Read A.J., Waples D.M., Wells R. S. (2005). Prey detection by bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: an experimental test of the passive listening hypothesis. *Animal Behaviour* 69: 709-720.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347204004762>

- George J.C., Clark C., Carroll G.M., Ellison W.T. (1989). Observations on the ice-breaking and ice navigation behavior of migrating bowhead whales (*Balaena mysticetus*) near Point Barrow, Alaska, spring 1985. *Arctic* 42: 24-30.  
<http://pubs.aina.ucalgary.ca/arctic/arctic42-1-24.pdf>
- Goold J.C., Fish P.J. (1998). Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*. 103(4):2177-2184.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/103/4/10.1121/1.421363>
- Hall A.J., McConnell B.J., Rowles T.K., Aguilar A., et al. (2006) Individual-based model framework to assess population consequences of polychlorinated biphenyl exposure in bottlenose dolphins. *Environmental Health Perspectives* 114: 60-64.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1874180/pdf/ehp0114s1-000060.pdf>
- Hardman (2010). *Marine mammal observer's report during Guyane Maritime 3D/2D seismic survey GFGUMA093DS11C French Guiana*. Hardman Petroleum France SAS.
- Hastie, G. D., B. Wilson, L. H. Tufft, and P. M. Thompson. (2003). Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 19: 74-84.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-7692.2003.tb01093.x/abstract>
- Heithaus M.R., Dill L.M. (2008). Feeding strategies and tactics. p. 414-423. In Perrin W.F., Würsig B., Thewissen J.G.M. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press Elsevier, San Diego, United States of America.
- Heitmeyer R.M., Wales S.C., Pflug L.A. (2004). Shipping noise predictions: capabilities and limitations. *Marine Technology Society Journal* 37(4): 54-65.  
<http://trid.trb.org/view.aspx?id=700640>
- Higham J.E.S., Bejder L. (2008). Managing Wildlife-based Tourism: Edging Slowly Towards Sustainability? *Current issues in tourism* 11:75-83.  
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.2167/.VBGYI2M2OSo#.VBGYK2M2OSo>
- Hildebrand J.A. (2005). Impacts of anthropogenic sound. p.101-124. In Reynolds J.E., Perrin W.F., Reeves R.R., Montgomery S., Ragen T.J., *Marine mammal research: conservation beyond crisis*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, United States of America.
- Hildebrand J.A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series* 395:5-20.  
<http://www.int-res.com/articles/theme/m395p005.pdf>
- Holt M.M., Noren D.P., Veirs V., Emmons C.K., Veirs S. (2009). Speaking up: killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. *JASA Express Letters* 125(1): EL27-EL32.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/125/1/10.1121/1.3040028>
- Holt M.M., Noren D.P., Williams T.M. (2011). Metabolic cost of sound production in dolphins: assessing the energetic impact of vocal compensation in noise habitats. In *Presentation at the 19th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*. Tampa, Florida, United States of America.
- Jefferson T.A., Webber M.A., Pitman R.L. (2008). *Marine Mammals of the World*. Academic Press.
- Jepson P.D., Arbelo M., Deaville R., Patterson I.A.P., Castro P., et al. (2003). Gas-bubble lesions in stranded cetaceans. *Nature* 425(6958): 575-576.  
<http://www.nature.com/nature/journal/v425/n6958/full/425575a.html>
- Jepson P.D., Bennett P.M., Deaville R., Allchin C.R. et al. (2005) Relationships between polychlorinated biphenyls and health status in harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) stranded in the United Kingdom. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24: 238-248.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1897/03-663.1/abstract>

- JNCC. (2010). *JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys*.  
[http://jncc.defra.gov.uk/pdf/JNCC\\_Guidelines\\_Seismic%20Guidelines\\_Aug%202010.pdf](http://jncc.defra.gov.uk/pdf/JNCC_Guidelines_Seismic%20Guidelines_Aug%202010.pdf)
- Ketten D.R. (1998). Marine Mammal Auditory Systems: A Summary of Audiometric and Anatomical Data and Its Implications for Underwater Acoustic Impacts. *NOAA Technical Memorandum*. NMFS, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-256. 74 p.  
<https://swfsc.noaa.gov/publications/TM/SWFSC/NOAA-TM-NMFS-SWFSC-256.PDF>
- Ketten D.R., Lien J., Todd S. (1993). Blast injury in humpback whale ears: Evidence and implications. *Journal of the Acoustical Society of America* 94:1849-1850.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/94/3/10.1121/1.407688>
- Kight C.R., Swaddle J.P. (2011). How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. *Ecology Letters* 14:1052-1061.  
<http://jpswad.people.wm.edu/Kight%20and%20Swaddle%202011.pdf>
- Koper R.P., Plön S. (2012). *The potential impacts of anthropogenic noise on marine mammals and recommendations for research in South Africa*. Endangered Wildlife Trust, South Africa. 118p.  
<http://www.ewt.org.za/scientific%20publications/EWT%20Research%20&%20Technical%20Paper%201%20-%20Koper%20&%20Plon%20-%20Ocean%20Noise%20Pollution.pdf>
- Lee K., Armsworthy S.L., Cobanli S.E., Cochrane N.A., Cranford P.J., Drozdowski A., Worcester T. (2011). *Consideration of the Potential Impacts of the Marine Environment Associated with Offshore petroleum Exploration and Development Activities* (Vol. 3848, p. 134). Canadian Science Advisory Secretariat. Research Document 2011/060. Dartmouth.  
<http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/343863.pdf>
- Léopold M. (2012). Biodiversité du milieu marin : les poissons. P74-79. In Guiral D., le Guen R., *Guyane Océane*. Roger Le Guen, IRD.
- Lesage V., Barrette C., Kingsley M.C.S., Sjare B. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence river estuary, Canada. *Marine Mammal Science* 15: 65-84.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-7692.1999.tb00782.x/abstract>
- Levrel A. (2012) Estimation de la pêche illégale étrangère en Guyane française. Ifremer, Cayenne. 18p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/00114/22522/>
- Lurton X. (2013). *Contrôle des risques sonores pour les mammifères marins - Protocole Ifremer pour les émissions sismiques*. Ifremer. 24p.  
[http://www.ifremer.fr/umsflotte-data/documentsmodeles/informations\\_appel\\_offre/AS-2013-46-ProtocoleIfremer-sismique-MMs.pdf](http://www.ifremer.fr/umsflotte-data/documentsmodeles/informations_appel_offre/AS-2013-46-ProtocoleIfremer-sismique-MMs.pdf)
- Lurton X., Antoine L. (2007). *Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie*. Ifremer. 88p.  
<http://archimer.ifremer.fr/doc/2007/rapport-2390.pdf>
- Lusseau D., Slooten L., Currey R. (2006). Unsustainable dolphin-watching tourism in Fiordland, New Zealand. *58th International Whaling Commission SC/58/WW6*.  
[http://iwc.int/document\\_1820](http://iwc.int/document_1820)
- Madsen P.T., Wahlberg M., Tougaard J., Lucke K., Tyack P. (2006). Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series* 309: 279-295.  
<http://www.int-res.com/abstracts/meps/v309/p279-295/>

- Mannocci L., Monestiez P., Bolaños-Jiménez J., Dorémus G., Jeremie S., Laran S., Ridoux V. (2013). Megavertebrate communities from two contrasting ecosystems in the western tropical Atlantic. *Journal of Marine Systems* 111-112: 208–222.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796312002126>
- Marine Mammal Observer Association. (2012). *Marine Mammal Observer Association : Position Statements*. 36p.  
[http://www.mmo-association.org/MMOA\\_position\\_statements\\_Version1.pdf](http://www.mmo-association.org/MMOA_position_statements_Version1.pdf)
- Matkin C., Saulitis E., Ellis G., Olesiuk P., Rice S. (2008). Ongoing population-level impacts on killer whales *Orcinus orca* following the 'Exxon Valdez' oil spill in Prince William Sound, Alaska. *Marine Ecology Progress Series* 356(1983): 269–281.  
<http://www.int-res.com/abstracts/meps/v356/p269-281/>
- McCauley R.D., Fewtrell J., Popper A.N. (2003). High intensity anthropogenic sound damages fish ears. *Journal of the Acoustical Society of America* 113: 638-642.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/113/1/10.1121/1.1527962>
- MEDDE (2014) Permis de recherche : carte des demandes et des permis attribués.  
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Permis-de-recherche-carte-des-.html>
- Nalovic M.A. (2009). *Les interactions entre les tortues marines et les fileyeurs de la pêche côtière. Résultats préliminaires des observations de 2008 et 2009*. CRPMEM Guyane. Cayenne, French Guyana. 17p.
- Nedwell J.R., Howell D. (2004). 'A review of offshore windfarm related underwater noise sources'. Subacoustech Report Reference: 544R0308.  
<http://www.subacoustech.com/wp-content/uploads/544R0308.pdf>
- Neff J.M. (2002). *Bioaccumulation in Marine Organisms. Effects of Contaminants from Oil Well Produced Water*. Elsevier Science, Oxford, United Kingdom. 452pp.
- Neff J.M. (2012). *Fates and effects of water based drilling muds and cuttings in cold-water environments*. Duxbury, EU. 309p.  
<http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/usa/downloads/alaska/neff-final-draftgs072010.pdf>
- Ng S.L., Leung S. (2003). Behavioral response of Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) to vessel traffic. *Marine Environmental Research* 56: 555-567.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113603000412>
- NOAA. (2013). *Effects of Oil and Gas Activities in the Arctic Ocean. Supplemental Draft Environmental Impact Statement*. 731p.  
[http://www.nmfs.noaa.gov/pr/permits/eis/arctic\\_sdeis.pdf](http://www.nmfs.noaa.gov/pr/permits/eis/arctic_sdeis.pdf)
- Noël D., Cerdan P., Vigouroux R. (2011). Suivi pluriannuel du taux de mercure dans la chair de poissons marins et de crevettes sur le littoral guyanais. HYDRECO/DEAL/IFREMER. 38p.
- Nowacek D., Bröker K., Donovan G., Gailey G., Racca R., et al. (2013). Responsible Practices for Minimizing and Monitoring Environmental Impacts of Marine Seismic Surveys with an Emphasis on Marine Mammals. *Aquatic Mammals* 39(4): 356–377.  
[http://www.aquaticmammalsjournal.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=47&Itemid=157](http://www.aquaticmammalsjournal.org/index.php?option=com_content&view=category&id=47&Itemid=157)
- OSPAR Commission. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment*. 134p.  
[http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00441\\_Noise\\_background\\_document.pdf](http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00441_Noise_background_document.pdf)
- Parente C.L., de Araujo J.P., de Araujo M.E. (2007). Diversity of cetaceans as tool in monitoring environmental impacts of seismic surveys. *Biota Neotropica* 7(1): 49–56.  
<http://www.scielo.br/pdf/bn/v7n1/06.pdf>

- Parente C.L., de Araújo M.E. (2011). Effectiveness of Monitoring Marine Mammals during Marine Seismic Surveys off Northeast Brazil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(4): 409–419.  
[http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-251\\_Parente.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-251_Parente.pdf)
- Parks S.E., Urazghildiiev I., Clark C.W. (2009). Variability in ambient noise levels and call parameters of North Atlantic right whales in three habitat areas. *Journal of the Acoustical Society of America* 125(2): 1230-1239.  
<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/125/2/10.1121/1.3050282>
- Perrin W.F., Wursig B., Thewissen J.G.M., eds. (2002). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press.
- Peterson C.H., Rice S.D., Short J.W., Esler D., Bodkin J.L., Ballachey B.E., Irons D.B. (2003). Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science* 302(5653): 2082–6.  
<http://www.sciencemag.org/content/302/5653/2082.abstract>
- Pierce G.J., Santos M.B., Murphy S., Learmonth J.A., *et al.* (2008). Bioaccumulation of persistent organic pollutants in female common dolphins (*Delphinus delphis*) and harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from western European seas: geographical trends, causal factors and effects on reproduction and mortality. *Environmental Pollution* 153: 401-415.  
<http://www.abdn.ac.uk/marfish/pdfs/Pierce2008a.pdf>
- Pirotta E., Milor R., Quick N., Moretti D., Di Marzio N., Tyack P., Hastie G. (2012). Vessel Noise Affects Beaked Whale Behavior: Results of a Dedicated Acoustic Response Study. *PLoS ONE* 7(8): e42535.  
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0042535>
- Popper A.N., Hastings M.C. (2009). The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. *Journal of Fish Biology* 75: 455-489.  
[http://www.wsdot.wa.gov/nr/rdonlyres/0b027b4a-f9ff-4c88-8de0-39b165e4cd94/61427/ba\\_anthrosoundonfish.pdf](http://www.wsdot.wa.gov/nr/rdonlyres/0b027b4a-f9ff-4c88-8de0-39b165e4cd94/61427/ba_anthrosoundonfish.pdf)
- Reeves R.R., Folkens P.A., *et al.* (2002). *Guide to Marine Mammals of the World*. New York, Alfred A. Knopf.
- Reeves R.R., Smith B.D., Crespo E.A., Notarbartolo di Sciarra G. (2003). *Dolphins, Whales and Porpoises - 2002–2010 Conservation Action Plan for the World's Cetaceans*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.  
<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2003-009.pdf>
- Regnault, M. and J.P. Lagardère . (1983). Effects of ambient noise on the metabolic level of *Crangon crangon*. *Marine Ecology Progress Series* 11: 71-78.  
<http://www.int-res.com/articles/meps/11/m011p071.pdf>
- Reynolds J.E. III, Sentiel A., Rommel, S.A. (1999). *Biology of marine mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington. 578 p.
- Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I., Thomsen D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego.
- Rojas-Bracho, L., & Reeves, R. (2013). Vaquitas and gillnets: Mexico's ultimate cetacean conservation challenge. *Endangered Species Research*, 21(1), 77–87.  
[http://www.int-res.com/articles/esr\\_oa/n021p077.pdf](http://www.int-res.com/articles/esr_oa/n021p077.pdf)
- Rolland R.M., Parks S.E., Hunt K.E., Castellote M., Corkeron P.J., Douglas P., Kraus S.D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceeding of the Royal Society B* 279(February): 2363–2368.  
<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/early/2012/02/01/rspb.2011.2429.full>

- Romanenko E.V., Kitain V.Y. (1992). The Functioning of the Echolocation System of *Tursiops truncatus* During Noise Masking. p.415-419. In Thomas J.A., Kastelein R.A., Supin A.Ya., *Marine Mammal Sensory Systems*. Plenum, New York.
- Rosas F.C.W., Marigo J., Laeta M., Rossi-Santos M.R. (2010). Natural history of dolphins of the genus *Sotalia*. *LAJAM* 8(1-2): 57–68.  
<http://lajamjournal.org/index.php/lajam/article/view/331>
- Ross D. (1987). *Mechanics of underwater noise*. Los Altos, CA: Peninsula Publishing.
- Ross D. (1993). On ocean underwater ambient noise. *Acoustics Bulletin* 18:5-8.
- Schwacke L.H., Smith C.R., Townsend F.I., Wells R.S., Hart L.B., Balmer B.C., Rowles T.K. (2013). Health of Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, Following the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environmental science & technology* dx.doi.org/10.1021/es403610f.  
<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es403610f>
- Shapiro, A.D., Tyack P.L., Solow A.R. (2006) Analysis of spermwhale orientation response to controlled exposure of sonar. *20th annual conference of the European Cetacean Society*, Gdynia, Poland.
- Shell (2012a). *Surveillance des mammifères marins, des tortues et des chondrichthyens – Rapport zone Est Guyane française*. Shell.
- Shell (2012b). *Observations de mammifères marins et surveillance acoustique passive – Campagne sismique et géophysique 3D Ouest Guyane française*. Shell.
- Silber G.K., Vanderlaan A.S.M., Tejedor A., Johnson L., Taggart T., Brown M.W., Sagarminaga R. (2012). The role of the International Maritime Organization in reducing vessel threat to whales : Process, options , action and effectiveness. *Marine Policy* 36: 1221–1233.  
[http://www.phys.ocean.dal.ca/~taggart/Publications/Silber\\_etal\\_2012.pdf](http://www.phys.ocean.dal.ca/~taggart/Publications/Silber_etal_2012.pdf)
- Skalski J.R., Pearson W.H., Malme C.I. (1992). Effect of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes spp.*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1357-1365.  
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f92-151#.VBHX8WM2OSo>
- Slabbekoorn H., Bouton N., van Opzeeland I., Coers A., ten Cate C., Popper A.N. (2010). A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology & Evolution* 25:419-427.  
<http://epic.awi.de/22144/1/Sla2010a.pdf>
- Slooten, E. (2013). Effectiveness of area-based management in reducing bycatch of the New Zealand dolphin. *Endangered Species Research*, 20(2), 121–130. doi:10.3354/esr00483  
[http://www.int-res.com/articles/esr\\_oa/n020p121.pdf](http://www.int-res.com/articles/esr_oa/n020p121.pdf)
- Slotte A., Hansen K., Dalen J., Ona E. (2004). Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fisheries Research* 67: 143-150.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016578360300290X>
- Soto N.A., Johnson M., Madsen P.T., Tyack P.L., Bocconcelli A., Borsani J.F. (2006). Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)? *Marine Mammal Science* 22: 690-699.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-7692.2006.00044.x/abstract>
- Southall B.L., Bowles A.E., Ellison W.T., Finneran J.J., Gentry R.L., Green Jr .R., et al. (2007). *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations*, Vol. 33. European Association for Aquatic Mammals. 521p.  
[http://sea-inc.net/assets/pdf/mmnoise\\_aquaticmammals.pdf](http://sea-inc.net/assets/pdf/mmnoise_aquaticmammals.pdf)

- Southall B.L., Rowles T., Gulland F., Baird R.W., Jepson P.D. (2013). *Final report of the Independent Scientific Review Panel investigating potential contributing factors to a 2008 mass stranding of melon-headed whales (Peponocephala electra) in Antsohihy, Madagascar*. 75p.  
[http://iwc.int/private/downloads/dec7jrj06gosggkgw848ogc8/Madagascar%20ISRP%20FINAL%20REPORT%20SUMMARY\\_English.pdf](http://iwc.int/private/downloads/dec7jrj06gosggkgw848ogc8/Madagascar%20ISRP%20FINAL%20REPORT%20SUMMARY_English.pdf)
- Stone C.J., Tasker M. (2006). The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of Cetacean Research Management* 8(3): 255–263.  
[http://www.carolynbarton.co.uk/Stone\\_Tasker\\_2006.pdf](http://www.carolynbarton.co.uk/Stone_Tasker_2006.pdf)
- Ternon J.-F., Guiral D. (2012). Physique et chimie du milieu marin : Nature et richesse des eaux. P38-46. In Guiral D., le Guen R., *Guyane Océane*. Roger Le Guen, IRD.
- Thomas J.A., Turl C.W. (1990). Echolocation Characteristics and Range Detection Threshold of a False Killer Whale (*Pseudorca crassidens*). p.321-334. In Thomas J.A., Kastelein R.A., *Sensory Abilities of Cetaceans/Laboratory and Field Evidence*. Plenum, New York.
- Thompson P.M., Brookes K.L., Graham I.M., Barton T.R., Needham K., Bradbury G., Merchant N.D. (2013). Short-term disturbance by a commercial two-dimensional seismic survey does not lead to long-term displacement of harbour porpoises. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 280(1771): doi:10.1098/rspb.2013.2001  
<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/280/1771/20132001>
- Thomson D.H., Richardson W.J. (1995). Marine mammal sounds. p.159-204. In Richardson W.J., Green Jr. C.R., Malme C.I., Thomson D.H. *Marine mammals and sound*. Academic Press, Inc., San Diego, United States of America.
- Tyack P.L. (1999) Communication and cognition. p.287–323. In Reynolds III J.E., Rommel S.A., *Biology of Marine Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Tyack P.L. (2000). Functional aspects of cetacean communication. p.270–307. In Mann J., Connor R.C., Tyack P.L., Whitehead H., *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. University of Chicago Press, Chicago.
- Tyack P.L. (2008). Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy* 89: 549-558.  
<http://www.mammalsociety.org/uploads/Tyack%202008.pdf>
- URS (2012). *Mission d'expertise dans le cadre de la campagne d'acquisition sismique conduite par Shell au large de la Guyane*. 60p.
- Van Bresse M., Raga J.A., Guardo G., Jepson P., Duignan P., Barrett T., Van Waerebeek K. (2008). Emerging and recurring diseases in cetaceans worldwide and the role of environmental stressors. *Proceedings of the 60th International Whaling Commission*: pp. 1–13.  
[http://www.researchgate.net/publication/262912540\\_Emerging\\_and\\_recurring\\_diseases\\_in\\_cetaceans\\_worldwide\\_and\\_the\\_role\\_of\\_environmental\\_stressors](http://www.researchgate.net/publication/262912540_Emerging_and_recurring_diseases_in_cetaceans_worldwide_and_the_role_of_environmental_stressors)
- Van Canneyt O. (2003). *Les échouages de mammifères marins sur le littoral français en 2002*. Rapport technique CRMM, La Rochelle
- Van Canneyt O., Certain G., Doremus G., Laran S., Ridoux V., Bolanos J., Jeremie S., Watremez P. (2009). *Distribution et abondance de la mégafaune marine en Guyane française*. Université de La Rochelle, Agence des Aires Marines Protégées.
- Van der Hoop J., Moore M.J., Barco S.G., Cole T.V.N., Daoust P., Henry A.G., Solow A.R. (2012). Assessment of Management to Mitigate Anthropogenic Effects on Large Whales. *Conservation Biology* 27(1): 121–133.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2012.01934.x/abstract>

- Van Waerebeek K., Baker A.N., Félix F., Gedamke J., Iñiguez M., *et al.* (2007). Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 6(1): 43–69.  
<http://lajamjournal.org/index.php/lajam/article/view/263>
- Vanderlaan A.S.M., Taggart C.T. (2007). Vessel Collisions With Whales: the Probability of Lethal Injury Based on Vessel Speed. *Marine Mammal Science* 23(1): 144–156.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1748-7692.2006.00098.x/abstract>
- Weir C.R., Dolman S.J. (2007). Comparative Review of the Regional Marine Mammal Mitigation Guidelines Implemented During Industrial Seismic Surveys, and Guidance Towards a Worldwide Standard. *Journal of International Wildlife Law & Policy* 10(1): 1–27.  
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13880290701229838#.VBI4IGM2OSo>
- Williams R., Gero S., Bejder L., Calambokidis J., Kraus, S. D., *et al.* (2011). Underestimating the damage: interpreting cetacean carcass recoveries in the context of the Deepwater Horizon/BP incident. *Conservation Letters* 4(3): 228–233.  
[http://www.researchgate.net/publication/227669088\\_Underestimating\\_the\\_damage\\_interpreting\\_cetacean\\_carcass\\_recoveries\\_in\\_the\\_context\\_of\\_the\\_Deepwater\\_HorizonBP\\_incident](http://www.researchgate.net/publication/227669088_Underestimating_the_damage_interpreting_cetacean_carcass_recoveries_in_the_context_of_the_Deepwater_HorizonBP_incident)
- Williams R., Trites A.W., Bain D.E. (2002). Behavioural responses of killer whales (*Orcinus orca*) to whale-watching boats: opportunistic observation and experimental approaches. *Journal of Zoology London* 256: 255-270.  
<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=95547&fileId=S0952836902000298>
- Zimmer W.M.X. (2011). *Passive Acoustic Monitoring of cetaceans*. Cambridge: Cambridge University Press. 366p.

## ANNEXE 1 : QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE

### Période et amplitude

Une onde sonore est une vibration mécanique d'un fluide qui se propage sous forme d'ondes longitudinales. Dans un milieu compressible, comme l'air ou l'eau, l'onde sonore se propage sous la forme d'une variation de pression créée par la source sonore. Seule cette variation de pression se déplace et non les molécules. L'intervalle de temps entre deux compressions ou deux dépressions est appelé la période, notée  $T$ , et est mesuré en secondes. L'amplitude de l'onde est son volume, ou encore le niveau de compression des tranches d'air traversées par l'onde sonore. Il s'agit d'une force par unité de surface qui s'exprime en Pascal (Pa).

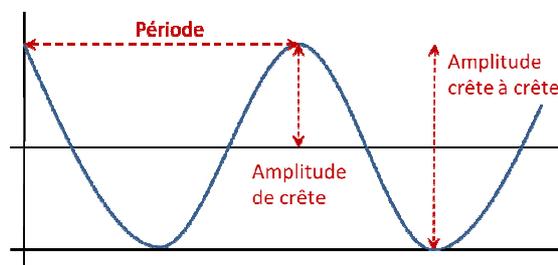


Figure 1 : caractéristiques d'une onde sonore

### Fréquence, bande passante audible et spectre

La fréquence est le nombre de périodes en une seule seconde. Elle est notée  $F$  et est mesurée en Hertz (Hz). Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu, plus elle est faible, plus le son est grave.

La bande passante audible est la gamme de fréquences qu'un individu est capable d'entendre, du plus grave au plus aigu (en Hertz).

Un son est constitué de plusieurs ondes sonores, chacune caractérisée par une fréquence et une amplitude différente. On peut donc représenter un son par son amplitude en fonction de sa fréquence, c'est ce que l'on appelle le spectre d'un son.

### Propagation du son

La propagation du son dans le milieu marin est un phénomène complexe, influencé par les caractéristiques du milieu et les caractéristiques de l'onde (amplitude et fréquence).

Tout d'abord, la vitesse du son est fonction de la densité du milieu ; ce qui explique que le son se propage 4 fois plus vite dans l'eau que dans l'air, à  $1500 \text{ m.s}^{-1}$  contre  $340 \text{ m.s}^{-1}$ ,

respectivement. Dans le milieu marin, la vitesse du son varie avec la température, la salinité et la pression, qui eux-mêmes, évoluent avec la profondeur. En outre, avec la distance à la source sonore, l'amplitude du son va être atténuée par les phénomènes de diffusion et d'absorption qui seront eux aussi plus ou moins importants en fonction des caractéristiques du milieu. L'absorption est due à la conversion d'énergie acoustique en chaleur et énergie chimique. La diffusion est due à la réflexion du son par les particules en suspension et les bulles d'air présentes dans le milieu. Enfin, le phénomène de réflexion de l'onde sonore sur le fond marin et la surface, crée de nouvelles ondes et va ajouter à la complexité de la propagation du son en termes de direction et d'amplitude de l'onde.

La fréquence du son joue un rôle essentiel dans la distance de propagation de l'onde. En effet, le phénomène d'absorption est moindre pour les ondes de basses fréquences, ce qui leur permet de se propager sur des distances plus importantes que les ondes de hautes fréquences (plusieurs centaines de kilomètres contre quelques centaines de mètres).

### **Intensité acoustique et seuil d'audition**

Les ondes sonores transportent de l'énergie. L'intensité correspond donc à une quantité d'énergie acoustique  $E$  (en Joules) qui traverse une surface (réelle ou virtuelle)  $S$  (en  $m^2$ ) pendant un temps  $\Delta t$  (en secondes). Elle est notée  $I$  et se mesure en  $W.m^{-2}$ .

Le seuil d'audition, est l'intensité minimale pour que le son soit perçu par un système auditif. Il peut aussi être mesuré en pression ou en niveau sonore (voir ci-dessous). Il varie en fonction de l'espèce, de l'individu, du milieu et de la fréquence des ondes.

### **Pression acoustique**

Lors de la propagation d'une onde acoustique, les molécules d'air en mouvement modifient légèrement la pression localement. Cette variation de pression est ce que l'on appelle la pression acoustique, notée  $P$ . Il s'agit d'une force par unité de surface qui s'exprime en Pascal.

Cette pression acoustique met en vibration le tympan qui transmet les ondes au cerveau via les mécanismes de l'oreille moyenne et de l'oreille interne.

### **Niveau sonore (*Sound Pressure Level, SPL*)**

Pour des raisons pratiques, la pression acoustique est transformée selon une échelle logarithmique en niveau sonore (en anglais **Sound Pressure Level** ou **SPL**), exprimé en décibels (dB). Il y a deux principales raisons à cela : la première est que la gamme de pressions acoustiques est très importante, en particulier dans le milieu marin, et l'utilisation d'une échelle logarithmique permet de réduire l'étendue de cette gamme. La seconde est

que la perception des sons n'est pas directement proportionnelle à la pression acoustique car l'oreille fonctionne selon une échelle logarithmique.

Ainsi, le niveau sonore est calculé de la manière suivante :  $SPL = 20 \times \log P/P_0$

$P_0$  est la pression de référence, c'est à dire la pression acoustique minimale que l'oreille est capable de percevoir, et qui équivaut en général à 1  $\mu Pa$  dans le milieu marin. L'unité de niveau sonore dans le milieu marin est donc dB ref.1  $\mu Pa$ . Le niveau sonore minimum détectable par l'oreille humaine dans l'eau est 0 dB ref.1  $\mu Pa$  et 260 dB ref.1  $\mu Pa$  correspond à une explosion.

On peut aussi calculer le niveau sonore à partir de l'intensité du son, en utilisant l'Intensité de référence :  $L_i = 10 \times \log I/I_0$ .

Dans le cas d'un son direct émis par une unique source  $SPL = L_i$ .

### Les différentes mesures du niveau sonore

On peut classer un son selon qu'il s'agit d'une impulsion unique (explosions, collisions...), d'impulsions multiples (canons à air, battage de pieux...) ou d'un son continu (transport maritime par exemple).

Dans le cas d'une impulsion, on mesure en général le niveau sonore à partir de la pression de crête ou de la pression crête à crête (voir Figure 1). On calcul ainsi le niveau sonore de crête (en anglais **Peak SPL**) ou niveau sonore crête à crête (en anglais **Peak-to-peak SPL**) en dB re.1  $\mu Pa$ .

Dans le cas d'un son continu, on calcul en général un niveau sonore moyen durant un intervalle de temps défini (en anglais **Root-Mean-Square SPL**), toujours en dB re.1  $\mu Pa$ .

### Niveau d'exposition sonore simple et pondéré (*Sound Exposure Level, SEL, et weighted SEL*)

Pour estimer l'impact potentiel d'un son sur un organisme, il est intéressant de calculer le niveau d'exposition sonore (en anglais **Sound Exposure Level ou SEL**). Le niveau d'exposition sonore est l'intégration temporelle de la puissance sonore perçue (en pratique le carré de la pression acoustique) pendant la durée T, et ramenée à la durée de référence d'une seconde. Il s'exprime en dB ref.1  $\mu Pa^2.s$ . Cette mesure se révèle la plus représentative et donc la plus utile pour estimer l'impact des sons sur les organismes (qui dépend à la fois de leur amplitude et de leur durée), qu'il s'agisse d'une impulsion ou d'un son continu.

Il est aussi possible de calculer un **niveau d'exposition sonore pondéré** par les capacités auditives du groupe d'espèces considéré (en anglais **weighted SEL**). L'audiogramme d'une espèce caractérise ses capacités auditives en représentant son seuil

d'audition (niveau sonore minimum de l'onde pour être entendu par l'organisme en général en dB) en fonction de la fréquence des ondes sonores. Le spectre d'un son est la représentation de son niveau sonore en fonction d'une gamme de fréquences. On peut donc calculer pour chaque gamme de fréquences d'un son, un niveau d'exposition sonore auquel on applique une pondération qui permet de lui donner un poids plus ou moins important en fonction de la sensibilité de l'espèce à cette gamme de fréquences. Ces niveaux d'exposition sonore pondérés par gamme de fréquences sont alors combinés en un indice unique appelé niveau d'exposition sonore pondéré. Il s'exprime en dB ref.1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ .

### **Pression acoustique émise et pression acoustique reçue (*Source level SL, Received acoustic level RL*)**

On appelle pression acoustique émise (**Source Level** ou **SL** en anglais), le niveau sonore d'une source, mesuré ou estimé à une distance de 1 mètre de la source, et donné en dB re 1 $\mu\text{Pa}$  @1m.

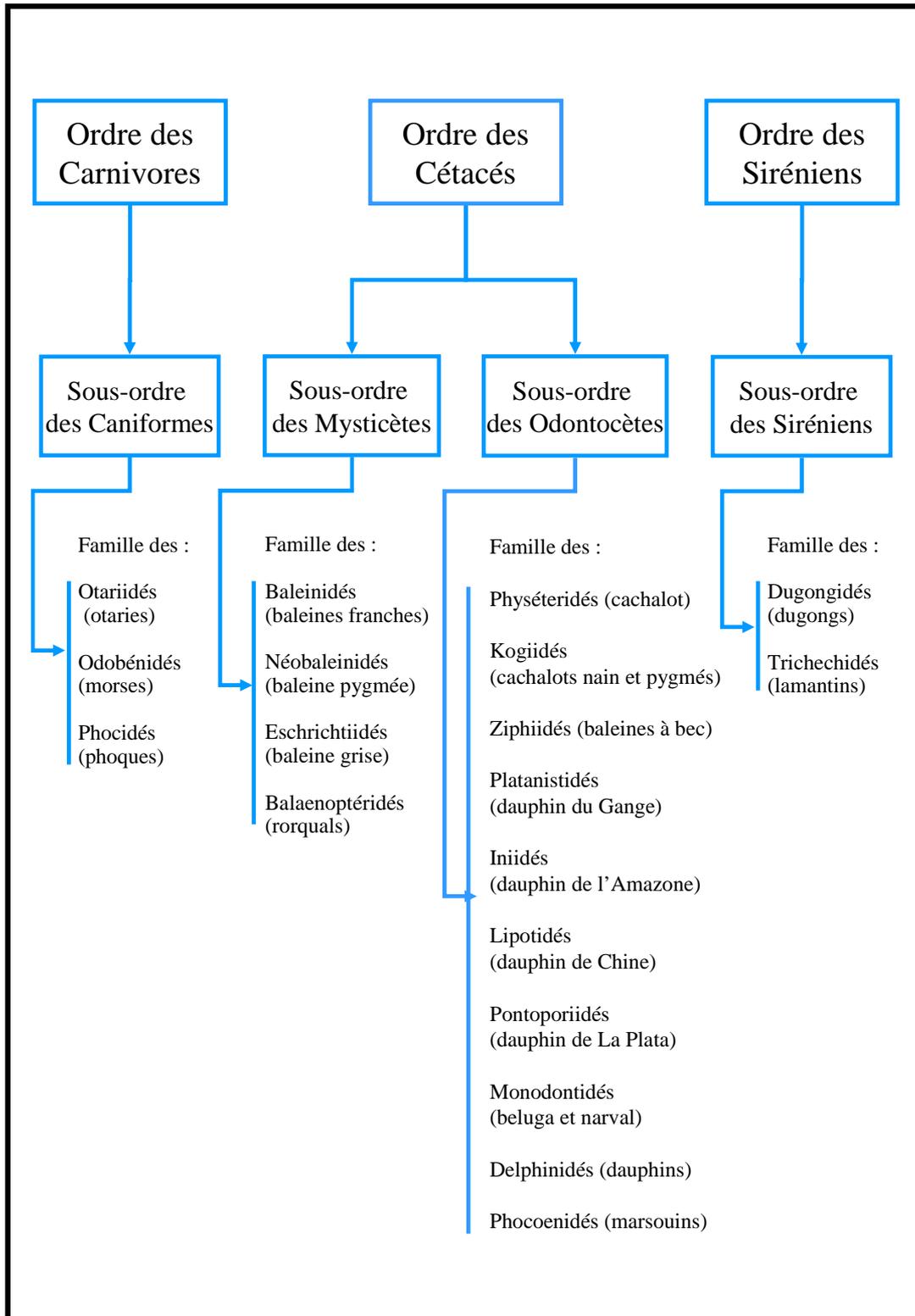
On appelle pression acoustique reçue (**Received Acoustic Level** ou **RL** en anglais), le niveau sonore reçu par un organisme à une distance donnée de la source acoustique. Elle est donnée par la relation suivante :  $RL = SL - TL + AG$ , avec : SL, pression acoustique émise, TL, atténuation (*Transmission Loss*) et AG, gain acoustique associé à l'appareil auditif du récepteur. Elle est souvent donnée en dB ref.1  $\mu\text{Pa}$ .

Ces valeurs peuvent être exprimées en valeur instantanée, valeur maximale ou valeur moyenne.

### **Références**

- Frisk, G., Bradley, D., Caldwell, J., D'Spain, G., Gordon, J., Hastings, M., ... Wartzok, D. (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals* (p. 218). National Academies Press.
- Finneran, J. J., & Jenkins, A. K. (2012). *Criteria and Thresholds for U . S . Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis* (p. 64).
- Kongsberg Maritime Limited. (2010). *2D seismic survey in the Moray Firth : Review of noise impact studies and re-assessment of acoustic impacts* (Vol. 44, p. 57).
- Koper, R. P., & Plön, S. (2012). *The potential impacts of anthropogenic noise on marine mammals and recommendations for research in South Africa* (p. 118).
- Southall *et al.*, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Finneran, J. J., Gentry, R. L., Jr, C. R. G., ... Tyack, P. L. (2007). *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations* (Vol. 33, p. 521). European Association for Aquatic Mammals.
- France Energies Marines, 2013, Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer : GHYDRO, 210p.
- OSPAR Commission. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment* (p. 134).

## ANNEXE 2 : CLASSIFICATION DES MAMMIFERES MARINS



### **ANNEXE 3 : MODELISATION DE LA PROPAGATION ACOUSTIQUE DU SIGNAL SISMIQUE PROPOSEE PAR URS (2012)**

La propagation acoustique sous-marine du signal sismique peut être modélisée à l'aide d'une loi simple de propagation géométrique donnée par :

$$SPL = SL - N \text{ Log } R - \alpha R \text{ (i)}$$

Où :

SPL est le niveau de pression sonore en dB re 1Pa pour une gamme R en mètres,

SL est le niveau de pression de la source en dB re 1Pa à 1 m,

le facteur de propagation géométrique sous-marin est  $N = 20$

$\alpha$  est le coefficient d'absorption en dB / km qui représente l'atténuation du son dans l'eau de mer.

En utilisant cette représentation simple, un certain nombre de points doivent être soulignés:

a. Lorsque  $N = 20$  (indiquant la propagation sphérique) et  $\alpha = 1 \times 10^{-6}$  dB/m (représentant l'atténuation à 100 Hz, autour de laquelle la majeure partie de l'énergie acoustique est contenu), le SPL en résultant peut être largement surestimé.

b. L'équation (i) est vraiment appropriée aux sources acoustiques qui contiennent l'essentiel de leur énergie dans une gamme de fréquence étroite, comme un sonar de recherche océanique ayant une fréquence de fonctionnement d'environ 10 kHz.

c. L'équation (i) suppose que la source sonore au point d'origine est une source ponctuelle. Pour un dispositif sismique ayant un réseau de canons à air séparés par plusieurs mètres, ce n'est clairement pas le cas.

d. En information complémentaire, Shell indique avoir fait des mesures de terrain lors de campagnes sismiques précédentes montrant que le SPL tombe à 160 dB re 1Pa à 8,1 km de la source sismique dans une région et à 13,4 km dans une autre. Cette information a été prise en compte dans la calibration de l'équation (i).

En résumé, la technique de modélisation utilisée dans cette étude permet essentiellement d'obtenir une estimation haute de la probable propagation du son dans le milieu. Les distances calculées peuvent donc être considérées comme conservatrices.

## **ANNEXE 4 : PLAN DE LIMITATION DES IMPACTS PREVU PAR L'OPERATEUR POUR LES DERNIERES CAMPAGNES SISMIQUES REALISEES EN 2012 EN GUYANE**

### **1) Méthodes d'observation en mer**

#### **1.1 Observation visuelle**

Le MMOT doit se placer à l'endroit le plus haut du navire et avoir une vue claire et dégagée. Il/elle doit scruter la surface de la mer en alternant avec ses yeux et à l'aide de jumelles. Le MMOT doit rechercher toute trace de présence d'un animal. Les cétacés peuvent être aperçus soit grâce à leur saut ou par leur souffle.

On peut aussi détecter de gros cétacés par la couche huileuse sur la surface de la mer qui reste lorsque les vagues disparaissent. Les tortues marines peuvent être aperçues par leur tête lorsqu'elles remontent à la surface pour respirer.

Pour que les conditions d'observation soient idéales, l'état de la mer doit inférieure ou égale à mer 4 et la visibilité doit être bonne. Ces conditions sont normalement réunies en Guyane Française car la visibilité est généralement correcte et, si la mer est trop formée, les opérations sismiques sont suspendues. L'utilisation du système PAM augmente par ailleurs la possibilité de détecter les cétacés dans la zone d'atténuation lorsque les conditions deviennent limitées pour une détection visuelle.

#### **2.1 Surveillance acoustique passive (PAM)**

##### *2.2.1 Surveillance acoustique passive (PAM)*

Les cétacés peuvent être détectés par les sons qu'ils émettent et le système PAM utilise des hydrophones sensibles à la gamme de fréquence des cétacés à vocalises pour identifier les espèces lorsqu'elles sont présentes dans la zone du navire.

Lorsqu'il est combiné à une observation visuelle, le système PAM permet de détecter des cétacés à vocalises qui n'auraient pas nécessairement été repérés par un MMOT y compris les cétacés qui sont entièrement sous l'eau. Ce système améliore les chances de détecter des cétacés proches et par conséquent diminue encore plus le risque de blessures ou de perturbations acoustiques qu'un MMOT seul. De plus, le système PAM permet de détecter les cétacés à vocalises la nuit et lorsque l'état de la mer est dégradée et qu'une observation visuelle est compromise (c'est-à-dire état de la mer 5 et plus). De cette façon, la mise en oeuvre du système PAM permet des changements de ligne et les démarrages progressifs de la source acoustique pendant la nuit et pendant les états de la mer dégradés de façon à minimiser le risque de blessures et de perturbations acoustiques aux cétacés.

##### *2.2.2 Rôle de l'opérateur du système PAM*

Le rôle principal de l'opérateur PAM est d'écouter les vocalises des cétacés et de recommander un retard dans le début des activités sismiques si des cétacés étaient détectés. De plus, l'opérateur PAM doit être capable de conseiller l'équipage sur les procédures décrites dans ce document et de fournir des conseils pour garantir que le programme d'étude soit mené à bien conformément aux directives. L'opérateur PAM travaille avec les MMOT (et de façon autonome pendant les heures où il fait nuit) pour garantir que le démarrage progressif soit bien mené et donne son accord pour le début des tirs sismiques si aucun cétacé n'a été entendu durant les 60 mn précédentes.

L'opérateur PAM doit travailler avec l'équipe sismique pour déployer l'équipement remorqué PAM à partir de l'arrière du *MV Oceanic Phoenix* de manière à ce que cela soit sûr et garantisse l'exécution la plus efficace à la fois des opérations PAM et des opérations sismiques.

### 2.2.3 Formation de l'opérateur PAM

Chaque opérateur PAM devra avoir suivi le cours d'opérateur PAM qui comprend l'apprentissage de la mise en oeuvre du logiciel PAMGuard et la pratique dans l'identification des différentes espèces cétacées à partir de leurs vocalises. L'opérateur PAM a suivi une formation spécifique sur l'équipement MSeis utilisé sur le *MV Oceanic Phoenix* ce qui garantit une installation et un déploiement efficaces et sûrs.

### 2.2.4 Équipement et formulaires d'enregistrement

L'équipement MSeis (<http://www.mseis.com/services/pam/>) a été installé sur le *MV Oceanic Phoenix* par l'opérateur PAM et comprend : Night Hawk III (système d'acquisition), M-AUDIO Ultra 8R (carte de son externe), Câble de pont, Câble de remorquage avec 4 hydrophones et un détecteur de profondeur, PC portable équipé du logiciel PAMGuard, Casque à réduction de bruit.

L'équipement PAM remorqué est positionné de façon à s'assurer que les hydrophones du PAM, les flûtes d'hydrophones et les canons à air puissent fonctionner correctement et ne soient pas endommagés. Dû aux changements de courants dans la zone d'étude, cela peut signifier que la position de l'hydrophone change en fonction de la ligne d'étude. Cependant, les hydrophones seront remorqués au bout d'un câble de remorquage de 205 m à une profondeur d'environ 15 m.

Les données provenant des hydrophones seront traitées par l'équipement et par le logiciel PAMGuard de façon à ce que toutes les vocalises de cétacés soient entendues dans le casque et vues au spectrogramme affiché sur le PC PAM.

Lorsqu'une vocalise est entendue par l'opérateur PAM, un enregistrement peut être fait qui sera sauvegardé dans le dossier du projet et l'opérateur PAM essaiera alors d'identifier l'espèce ayant émis la vocalise lorsque c'est possible, en se servant de son expérience et en comparant la vocalise et l'image du spectrogramme à une bibliothèque de 'signatures' précédentes. Lorsqu'un cétacé est détecté par le PAM, un enregistrement est fait indiquant l'heure, l'endroit et l'espèce (si identifiable). L'enregistrement sonore de la vocalise et l'impression du spectrogramme seront envoyés avec la documentation écrite pour étayer le rapport et aider au recueil de données.

## 2) Observateurs de cétacés, de chondrichthyens, et de tortues marines (MMOT)

### 2.1 Rôle du MMOT

Le rôle principal d'un MMOT est d'agir en tant qu'observateur pour les cétacés, les chondrichthyens et les tortues marines, et de recommander un retard dans le début des activités sismiques si une de ces espèces était détectée. De plus, le MMOT doit être capable de conseiller l'équipage sur les procédures décrites dans ce document et de fournir des conseils pour garantir que le programme d'étude soit mené à bien conformément aux directives.

Le MMOT doit être au courant de la hiérarchie sur le navire, y compris connaître le capitaine, et le second capitaine, et les ingénieurs responsables de l'exécution sismique. En ce qui concerne le navire, le MMOT a un rôle consultatif. En ce qui concerne l'étude sismique, le MMOT est opérationnel dans le sens où il/elle peut exiger un retard ou de cesser de tirer avec les canons à air. Le MMOT doit s'assurer que le démarrage progressif soit bien mené et donne son accord pour le début des tirs si aucun cétacé n'a été aperçu lors des 60 mn précédentes dans la zone d'exclusion de 500 m et si aucun chondrichthyen ou tortue marine n'a été aperçu dans la zone d'exclusion de 200 m.

### 2.2 Formation du MMOT

Tous les MMOT employés à bord du *MV Oceanic Phoenix* de CGGVeritas pour les travaux sismiques en Guyane française de 2012 sont tous certifiés avoir reçu la formation préalable à toute activité MMOT.

### **2.3 Équipement et formulaires d'enregistrement**

Le MMOT sera équipé des éléments suivants : des jumelles, un appareil photo, une copie des directives, des formulaires d'enregistrement de cétacés.

### **2.4 Rapports**

Les formulaires d'enregistrement doivent être remplis quotidiennement et un rapport journalier doit être envoyé qui résumé les observations et les efforts de surveillance de la journée (à la fois des MMOT et de l'opérateur PAM).

Le rapport final doit inclure : date et lieu de l'étude, nombre total et volume des canons à air, gamme de fréquence (Hz), intensité (dB re., 1 $\mu$ Pa), intervalle de tir (sec.) et/ou détails sur toute autre énergie acoustique utilisée, nombre et type de tous les navires impliqués dans l'étude, enregistrement de toutes les instances où les canons ont été utilisés, enregistrement de toutes les surveillances faites pour détecter des cétacés, chondrichthyens et tortues marines ou toute autre observation ayant un intérêt (ex : oiseaux de mer), y compris les détails de toute observation et de l'activité sismique pendant les surveillances, détails de tous les problèmes rencontrés pendant l'étude y compris les instances de non-conformité à ces directives.

Une version d'ébauche du rapport sera disponible à la fin de l'opération et la version finale doit être prête un mois après la fin de l'opération. Toute non-conformité à ces directives constitue une violation des conditions de réalisation de l'étude et doit être signalé immédiatement par le MMOT aux parties concernées

### **3. Conseils avant et pendant l'activité sismique**

Toutes les observations doivent être menées à partir du navire sismique. Le MMOT doit se placer sur un point haut du navire afin d'avoir une vision claire et sans obstacle de l'horizon. Les chaînes de communication entre le MMOT et l'équipage doivent être en place avant le début de la recherche pré-tir. Le MMOT doit être équipé d'une radio VHF.

L'équipage sismique doit informer le MMOT du programme de tir afin que celui-ci puisse effectuer ses observations avant le démarrage progressif de la source acoustique. Un programme d'exécution doit être transféré ou disponible le jour antérieur.

Le MMOT doit connaître le timing des exécutions proposées, afin qu'il puisse avoir le temps d'effectuer la recherche pré-tir.

#### **3.1 Espèces à prendre en compte.**

Tous les cétacés et les tortues marines sont pris en compte.

#### **3.2 Recherche pré-tir**

La recherche pré-tir doit être effectuée sur une période de 60 mn avant le début de toute utilisation de canon à air. Cette période plus longue de recherche de 60 mn est due au fait que l'exécution sismique soit effectuée dans les eaux profondes et que certaines espèces peuvent plonger pendant plus de 30 mn. Le MMOT doit effectuer une évaluation visuelle pour tout signe de cétacé, de tortue marine et de chondrichthyen. Si aucun cétacé n'a été aperçu pendant ces 60 mn, dans le rayon de 500 m de la zone exclusive et si aucune tortue marine et aucun chondrichthyen n'a été aperçu dans un rayon de 200 m des canons, alors le démarrage progressif de la source acoustique peut commencer. Si des cétacés sont aperçus, le démarrage progressif de la source acoustique doit être retardé jusqu'à ce que leur passage, ou le transit du navire, fasse en sorte qu'ils soient hors de vue. A ce moment-là, le démarrage progressif sera retardé de 20 mn supplémentaires. Le MMOT informe l'équipage sismique dès qu'une observation est faite et une fois que les animaux sont hors de la zone d'exclusion (lorsque le retard de 20 mn supplémentaires commence). Le démarrage progressif ne sera pas effectué si des tortues marines ou des chondrichthyens se trouvent dans un rayon de 200 m des canons à air.

### **3.3 Démarrage progressif**

Le démarrage progressif est défini comme le moment où les canons à air commencent à tirer jusqu'au moment où la puissance opérationnelle complète est obtenue. L'énergie doit être augmentée progressivement à partir d'un début à faible énergie (par ex commencer avec les plus petits canons à air de la gamme et passer aux autres progressivement) pendant au moins 20 mn pour donner assez de temps aux cétacés de quitter la zone. Cette augmentation progressive de l'énergie doit être uniforme pour fournir une augmentation constante d'énergie. Il doit y avoir un démarrage progressif à chaque fois que les canons à air sont utilisés.

#### *3.3.1 Conseils généraux à suivre pour le démarrage progressif*

Pour minimiser le bruit supplémentaire dans l'environnement marin, un démarrage progressif (à partir du début d'émission jusqu'au début de la ligne) ne doit pas durer plus de 20 mn. Une fois le démarrage progressif effectué et les canons à air à pleine puissance, la ligne de l'étude doit commencer immédiatement afin de limiter le bruit superflu. Un démarrage progressif ne doit jamais dépasser les 40 mn. Au cas où cette période est dépassée, une explication devra être fournie par l'équipage sismique et incluse dans le rapport du MMOT. Si le démarrage progressif dépasse les 40 mn de façon répétée cela sera considéré comme une violation des directives telle que décrite au paragraphe 3.4

Si, pour quelque raison que ce soit, le tir des canons à air s'est arrêté et n'a pas repris pendant au moins 10 mn, alors une recherche pré-tir et un démarrage progressif de 20 mn doivent être effectués.

Si la pause est de moins de 10 mn, le MMOT devra faire une évaluation visuelle ou une mise en oeuvre du PAM si besoin. Si des cétacés, des tortues marines, ou des requins sont aperçus, la procédure de surveillance avant le démarrage progressif, suivie du démarrage progressif devra recommencer. Si non, les tirs ne pourront pas reprendre.

Si pendant un démarrage progressif, un chondrichthyen ou une tortue marine est aperçu(e) dans un rayon de 200 m dans la zone exclusive, les canons à air seront arrêtés pour 8 tirs jusqu'à ce que les animaux aient fui la zone. (Cette atténuation ne peut pas être effectuée pendant les heures d'obscurité car le PAM ne peut pas détecter ces espèces qui ne font pas de vocalises).

#### *3.3.2 Essais aux canons à air*

Les essais aux canons à air sont souvent nécessaires avant le début d'une opération ou pour tester des pièces endommagées. Si le but est de tester les canons à air à pleine puissance, la procédure normale décrite plus haut doit être suivie. Si le but est de tester un seul canon à faible pression, le démarrage progressif n'est pas nécessaire.

La recherche pré-tir reste nécessaire sur une période de 60 mn avant tout test de canon à air.

### **3.4 Changement de ligne**

Les données sismiques sont recueillies le long de lignes d'études prédéterminées. Le changement de ligne est le terme utilisé pour décrire la giration effectuée par le navire à la fin d'une ligne avant le début d'une autre ligne. En fonction du type d'étude sismique étant effectuée, le temps nécessaire pour un changement de ligne peut varier. Les procédures relatives durant le changement de ligne dépendent aussi du volume d'opération des canons. Dans tous les cas, un canon d'atténuation de 160dB est mis en oeuvre lorsque le navire sismique n'est pas en production et pendant la phase de démarrage progressif.

#### *3.4.1 Canons à air d'un volume de 450 cm<sup>3</sup> ou plus*

Si un changement de ligne est prévu pour durer plus de 20 mn, les canons à air doivent s'arrêter au bout de la ligne et le canon d'atténuation de 160 dB doit être mis en oeuvre. Une recherche pré-tir de 60 mn suivi un démarrage progressif complet de 20 mn doivent être effectués avant le début de la ligne suivante.

Le démarrage progressif ne peut commencer que si le MMOT ou l'opérateur PAM ont confirmé que les zones d'exclusion étaient claires sans aucune présence de cétacés, chondrichthyens ou tortues.

#### *3.4.2 Canons à air d'un volume de moins de 450 cm<sup>3</sup>*

Si un changement de ligne est prévu pour durer plus de 40 mn, les canons à air doivent cesser de tirer au bout de la ligne et le canon d'atténuation de 160 dB doit être mis en oeuvre jusqu'à la procédure du démarrage progressif avant la prochaine ligne. Une recherche pré-tir doit aussi être effectuée pendant le changement de ligne programmé, et le démarrage progressif de 20 minutes doit être retardé si des cétacés sont aperçus.

Si le changement de ligne est prévu pour durer moins de 40 mn, les tirs peuvent continuer pendant la giration, mais l'intervalle de tir (Shot Point Interval) doit être augmenté pour être de moins de 5 mn.

#### *3.5 Pendant l'étude*

Le MMOT Senior créera un planning d'observation assurant qu'un MMOT est toujours de quart à la passerelle pour effectuer des observations régulières à l'aide des jumelles pendant la journée.

L'Opérateur PAM doit planifier ses activités de manière à ce que l'équipement PAM soit mis en oeuvre pour les périodes de recherche pré tir la nuit mais aussi pendant les périodes de mauvaise visibilité. Toutes les espèces détectées soit par observation visuelle soit par PAM doivent être enregistrées dans des formulaires qui seront joints au rapport final.

## ANNEXE 5 : DETERMINATION DES ZONES D'EXCLUSION AUTOUR DES SOURCES SISMQUES, SELON LA METHODE ETABLIE PAR L'IFREMER (LURTON, 2013)

Les sources sismiques utilisées par l'Ifremer peuvent être classées en plusieurs catégories, chacune étant susceptible de variations mineures autour de la configuration nominale. Pour chaque configuration les niveaux pics (*SL* pour *Sound Level*) et les niveaux d'exposition sonore (*SEL<sub>0</sub>* pour *Sound Exposure Level*) associés à une seule émission et considérés à 1 m sont les suivants (il s'agit ici de valeurs moyennes susceptibles de petites variations):

	<i>SL</i> dB re 1μPa@1 m	<i>SEL<sub>0</sub></i> dB re 1μPa <sup>2</sup> · s @1 m
Sismique réfraction (ou grandangle)	259	240
Sismique Multi-Trace	252 à 255	237 à 238
Sismique Rapide	230	211
Sismique Haute Résolution	222 à 238	198 à 212

*N.B.* Dans la suite, les valeurs numériques des seuils sont celles relatives aux cétacés. Les valeurs des niveaux d'émission à la source (*SL*) ne génèrent pas pratiquement de rayon d'exclusion autour des sources ; en effet la valeur-seuil définie dans (Southall et al. 2007) pour les cétacés est de *SLT* = 230 dB re 1 μPa : on voit que cette valeur est atteinte pour une perte de transmission *PT* donnée par  $PT = SL - SLT$ , soit par exemple 252-230 = 22 dB pour la source SMT à 252 dB. La perte étant donnée par  $PT = 20\log R$ , la distance d'exclusion serait de  $R = 12$  m.

Les valeurs de niveau d'exposition sonore doivent prendre en compte le nombre *N* de tirs perçus par l'animal récepteur. Le *SEL* à considérer à la distance *R* est donc :

$$SEL = SEL_0 - PT + 10\log N$$

qui doit donc être comparé au seuil *SELT* = 198 dB re 1μPa<sup>2</sup>· s @1 m (pour les cétacés, d'après Southall et al. 2007). On doit donc définir le régime limite d'exposition d'un animal par la condition :

$$PT - 10\log N = SEL_0 - SELT$$

Ou encore

$$20\log R - 10\log N = SEL_0 - SELT$$

On peut à partir de cette formule calculer le compromis entre la distance limite et le nombre de tirs subis, en fonction du niveau d'exposition associé à une émission unique à 1 m.

On estime à 3 minutes la durée totale de réaction pour l'arrêt complet des émissions à l'entrée d'un mammifère marin dans la zone d'exclusion. On retiendra une valeur conservatrice de 6 minutes pour la durée d'exposition, correspondant à une série de  $N = 6$  ; 12 ou 18 tirs, en fonction de la récurrence (respectivement 60 ; 30 ou 20 s).

La figure ci-dessous montre que pour une exposition à 20 tirs de SMT, la distance limite à considérer est environ 500 m pour un  $SEL_0$  de 238 dB re  $1\mu Pa^2 \cdot s @1 m$ . D'autres valeurs de la distance d'exclusion peuvent être déterminées par le même principe, pour des configurations de source différentes.

La cadence de tirs est donc un facteur important dans le calcul de la zone d'exclusion à partir du seuil d'exposition sonore. Elle varie de 6 s (Sismique HR) à 60 s (Sismique réfraction). Ainsi, l'utilisation d'une source de Sismique Réfraction peut être éventuellement moins contraignante en termes de zone d'exclusion, en comparaison avec une source de Sismique Multi-Trace bien que les niveaux d'émission et d'exposition sonore soient supérieurs. La valeur très conservatrice de 10 tirs pour la sismique réfraction (soit 10 minutes d'exposition) donne un rayon d'exclusion d'environ 400 m.

