

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA BIODIVERSITÉ ET LES IMPACTS DE LA RECHERCHE AUX CHAMPS
HYDROTHERMAUX MAIN ENDEAVOUR ET MOTHRA DE LA ZONE DE
PROTECTION MARINE DES SOURCES HYDROTHERMALES D'ENDEAVOUR
(EHVMPA)

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
RAPHAËLLE DANCETTE

MAI 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement mon directeur de maîtrise, Kim Juniper, de la chaire de «Leadership Research in Marine Ecosystems and Global Change» de Colombie-Britannique, à l'Université de Victoria. Il m'a permis de découvrir le fascinant monde hydrothermal, et m'a grandement aidée pour la circonscription de ce projet aux avenues multiples.

Je remercie mon co-directeur, Jean-Pierre Revéret, du département Stratégie des affaires de l'Université du Québec à Montréal, qui m'a encouragée dans mon désir de suivre une orientation plus environnementale pour ce mémoire. Son esprit structuré et efficace et sa bonne humeur m'ont fait le plus grand bien à chacune de nos rencontres!

Merci à Sébastien Durand, ancien étudiant de maîtrise de Kim Juniper, pour son aide essentielle à la réalisation des cartes ARCGIS, ainsi que pour sa patience dans mon processus d'apprentissage de ces programmes de cartographie.

Aussi, je tiens à remercier mes parents, Michel Camus et Marie-Christine Dancette (gardienne officielle de mon bébé) et mon cher Raphaël, pour leur soutien moral, physique et leurs encouragements. Merci à ma douce Livia, la petite fille qui a grandi en moi et qui m'a littéralement donné les coups de pieds nécessaires à l'aboutissement de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
RÉSUMÉ.....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: LES SOURCES HYDROTHERMALES, LEUR EXPLORATION ET LA GOUVERNANCE QUI LEUR EST ASSOCIÉE	4
1.1 Environnement des sources hydrothermales	5
1.1.1 Géologie des cheminées hydrothermales	6
1.1.2 Chimie des fluides.....	7
1.1.3 Chimiolithoautotrophie	7
1.1.4 Les assemblages hydrothermaux et l'habitat.....	8
1.1.5 Relation entre l'habitat et l'espèce	9
1.1.6 Assemblages et espèces indicatrices	10
1.1.7 Communautés en mosaïques	14
1.1.8 Transitions de communautés par processus biologiques.....	15
1.1.9 La biodiversité aux sources et à leur périphérie	15
1.1.10 Bactéries des sources et de leurs environs.....	16
1.1.11 Relations symbiotiques aux sources hydrothermales.....	17
1.1.12 Importance des aires de reproduction pour la survie des espèces	17
1.1.13 La distribution du fluide hydrothermal	18
1.1.14 Impact de l'utilisateur sur l'environnement	18
1.1.15 Types de valeurs des sources hydrothermales.....	19
1.2 Réalité technologique de l'exploration des sources hydrothermales.....	20
CHAPITRE II: MÉTHODOLOGIE	33
2.1 Méthode de travail.....	34
2.1.1 Création de cartes verticales.....	35
2.1.2 Création d'un fichier d'«activités et impacts»	36

2.1.3 Impacts potentiels sur les sources hydrothermales.....	36
2.1.4 Création d'un questionnaire, compilation des données et analyse des résultats obtenus	37
2.1.5 Création de cartes horizontales	40
2.1.6 Observation directe à bord	41
2.2 Destination parallèle du mémoire.....	41
 CHAPITRE III: RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	 43
3.1 Répartition des assemblages fauniques	44
3.2 Corrélation habitat-assemblage faunique	50
3.3 La logistique des missions.....	51
3.4 Activités scientifiques et impacts : observations de la mission NeMO 2006.....	52
3.5 Activités scientifiques et impacts : observations de la mission Atlantis-Alvin 2004.....	54
3.6 Comparaison des activités et impacts des deux types de sous-marins	57
3.7 Relation et communication scientifiques-pilotes du sous-marin	59
3.8 Activités scientifiques et impacts : les perceptions des chercheurs.....	60
3.8.1 Résumé des résultats des questionnaires.....	67
3.9 Comparaison des résultats de l'étude par vidéos de la mission NeMO2006 et des impressions des scientifiques, concernant les impacts de la recherche.....	67
3.10 Cartes produites avec ArcGIS	69
3.11 Autres considérations environnementales	85
3.12 Retour sur les résultats de l'étude.....	87
 CONCLUSION	 91
 APPENDICE A: CARTES VERTICALES DES STRUCTURES HYDROTHERMALES VISITÉES LORS DES PLONGÉES R-1008 ET R-1009 DE LA MISSION NEMO 2006 – ASSEMBLAGES ET HABITATS.....	 98
 APPENDICE B: CARTES VERTICALES DES STRUCTURES HYDROTHERMALES VISITÉES LORS DES PLONGÉES R-1008 ET R-1009 DE LA MISSION NEMO 2006 – ASSEMBLAGES ET HABITATS ET ZONES IMPACTÉES PAR LES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES.....	 103

APPENDICE C: TABLEAU DES RÉSULTATS DES QUESTIONNAIRES DISTRIBUÉS AUX PARTICIPANTS DE LA MISSION NEMO 2006.....	109
APPENDICE D: CARTE HORIZONTALE DU CHAMP HYDROTHERMAL MEF – COMPARAISON DES DEUX TENTATIVES DE PLACER LES CHEMINÉES VISITÉES DANS LA PLONGÉE R1009 PAR RAPPORT À LA CARTE PRODUITE PAR ROBIGOU (SARRAZIN <i>ET AL.</i> , 1997).....	111
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	113

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1.1	Assemblages hydrothermaux retrouvés dans la ZPM Endeavour	12
1.2	Poisson des sources à la base de la cheminée Notre-Dame, mission NeMO, été 2006	16
1.3	Le ROPOS lors de sa sortie de l'eau	23
1.4	Manipulation d'un bras du ROPOS	24
1.5a	Échantillonnages de flux et par succion avec appui grâce aux pinces	25
1.5b	Échantillonnage géologique avec les pinces	25
1.5c	Sonde de température déposée sur une cheminée hydrothermale	25
1.5d	Échantillonnage de flux. Le sous-marin tient en équilibre par sa prise sur la cheminée	25
1.6a	Carte des plaques tectonique du Pacifique est et dorsale Juan de Fuca	28
1.6b	Carte des quatre champs hydrothermaux de la ZPM Endeavour	28
3.1a	Graphique en pointe de tarte représentant la surface couverte par les assemblages biologiques aux champ hydrothermal Mothra	45
3.1b	Graphique en pointe de tarte représentant la surface couverte par les assemblages biologiques aux champ hydrothermal Mothra	45
3.2	Carte verticale de la cheminée Hulk	46
3.3	Surfaces couvertes par chaque assemblage hydrothermal en fonction du site, à Mothra	47
3.4	Surfaces couvertes par chaque assemblage hydrothermal en fonction du site, au champ Main Endeavour	49
3.5	Activités ayant créé des impacts lors de la mission NeMO 2006, dans la ZPM Endeavour	54
3.6a	Activités ayant engendré des impacts par le sous-marin habité Alvin dans le champ Mothra de la ZPM Endeavour. Résultats de la plongée 4015	56

3.6b	Activités ayant engendré des impacts par le sous-marin habité Alvin dans le champ Endeavour de la ZPM Endeavour. Résultats de la plongée 4018 ...	56
3.7	Moyennes de l'ensemble des questions 4a, b et c en fonction de la profession	62
3.8	Moyenne de la perception des impacts pour toutes les activités compilées, par profession.	65
3.9	Carte hybride représentant la bathymétrie du champ hydrothermal Main Endeavour (fond bleu) et les cheminées illustrées par Robigou en 1997 (étiquettes à l'écriture noire dans les polygones rouges). Correspondance entre ces deux types de données évaluée à l'oeil	71
3.10	Trajet effectué par le ROPOS lors de la plongée 1009 de la mission NeMO numériques obtenues par l'équipe du sous-marin) et emplacement des cheminées estimé d'après la carte de Robigou 1997	72
3.11	Même carte que la figure 3.10, avec indications des emplacements supposés des cheminées d'après les données de navigation fournies par le ROPOS (étiquettes à écriture rouge)	73
3.12	Décalage entre la carte de Robigou et les données de navigation, et tentative de corriger ce problème par une translation des données de navigation de 30 mètres vers le sud	74
3.13	Carte des cheminées replacées afin que la carte bathymétrique les données de navigation du sous-marin correspondent mieux. Réinterprétation de la carte de Robigou (1997)	76
3.14	Carte des itinéraires de différentes plongées effectuées à Main Endeavour, lors de la mission Visions 2005 avec le sous-marin Jason 2	78
3.15	Carte de la bathymétrie du champ hydrothermal Mothra et données de navigation de la plongée 1008 de l'expédition NeMO 2006	79
3.16	Comparaison des trajets effectués par le ROPOS et le Jason 2 lors de missions dans le champ hydrothermal MEF	81
3.17	Carte horizontale des sites d'activité intense et des corridors de déplacement empruntés lors de la mission Visions 2005, pour les plongées 166 et 171 au champ hydrothermal Main Endeavour	84
3.18	De gauche à droite : RAS à Mothra, été 2006; ancre de fer à MEF, été 06; corde de plastique à Axial, été 2006	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Légende servant à la classification des habitats, activités et impacts visionnés sur les vidéos	37
3.1 Habitats et les assemblages aperçus lors de la mission NeMO 2006, ZPM Endeavour	51
3.2 Activités et impacts aux deux champs hydrothermaux, avec les deux types de sous-marins	58
3.3 Moyenne des questions 4a, 4b et 4c en fonction de la profession	61
3.4 Moyennes des impacts perçus en fonction des différentes activités scientifiques, par profession	64

RÉSUMÉ

Ce mémoire fournit une caractérisation générale de la biodiversité macrofaunique des sources hydrothermales de la Zone de Protection Marine (ZPM) *Endeavour* et vise à déterminer les activités scientifiques potentiellement dommageables pour cette faune. C'est une étude de cas exploratoire qui pourra servir de base à des études ultérieures approfondissant les divers éléments traités. Le mémoire fait suite à un rapport remis au Ministère des Pêches et des Océans du Canada en mars 2007. Nous nous sommes posés plusieurs questions de recherche : 1) Quelle est la répartition spatiale des différents habitats et communautés hydrothermaux aux champs Main Endeavour et Mothra?; 2) Quelles activités scientifiques laissent le plus d'impacts visibles?; 3) Certaines activités laissent-elles plus d'impacts sur un type particulier d'habitat ou d'assemblage faunique?; 4) Est-ce que certains assemblages se retrouvent plus souvent dans certains types d'habitats?; 5) Comment se comparent les perturbations causées par les deux types de sous-marins (téléguidé versus habité)?; 6) Comment les participants aux missions scientifiques perçoivent-ils les activités qu'ils mènent lors des plongées et que considèrent-ils lorsqu'ils planifient une plongée?; 7) Quels sont les corridors de déplacement des sous-marins et les sites les plus visités dans ces deux champs hydrothermaux? La cartographie verticale (à la main puis par le programme informatique), le budget-temps, le questionnaire et la cartographie horizontale (par Système d'Informations Géographiques) sont les méthodes qui ont été utilisées pour répondre aux questions de recherche. Nous avons trouvé que l'assemblage 5 High-flow est peu représenté et que de façon générale, il existe une relation directe entre le type d'habitat et le type d'assemblage. En termes d'activités, les échantillonnages biologique et géologique furent les plus systématiquement dommageables pour l'environnement, suivis par l'échantillonnage de flux. Comme l'assemblage 5 High-flow est le seul permettant la reproduction du ver *Ridgeia piscesae*, qu'il est rare dans les deux champs hydrothermaux étudiés et que l'échantillonnage le touchait souvent, une attention particulière doit être portée à sa protection. Les équipes des missions scientifiques devraient être mieux informées de leurs impacts potentiels sur le milieu. Les questions des déchets scientifiques et de ceux provenant des navires méritent d'être étudiées de plus près.

Mots clés : sources hydrothermales, impact, recherche, biodiversité marine, Zone de Protection Marine, sous-marin.

INTRODUCTION

Ce mémoire traite de la biologie des sources hydrothermales dans la Zone de Protection Marine (ZPM) *Endeavour*. Il y est question de la faune présente dans les écosystèmes uniques de la dorsale Juan de Fuca, dans une portion située à l'ouest de l'Île de Vancouver. Plus précisément, notre étude se concentre sur les deux champs hydrothermaux de la ZPM les plus visités pour la recherche et les moins sévèrement contrôlés par le Ministère des Pêches et des Océans du Canada : le champ Mothra et le champ Main Endeavour.

Après que la recherche hydrothermale soit passée par une période d'intensification suite à la découverte de ces milieux extrêmes, l'échantillonnage se pratique aujourd'hui moins systématiquement et moins intensivement dans ces zones débordantes de vie, par crainte d'en altérer l'intégrité. Il est question dans ce mémoire du principal aspect humain potentiellement dommageable pour la faune hydrothermale de la ZPM *Endeavour* : la recherche scientifique.

Plusieurs études antérieures se sont consacrées à l'approfondissement des connaissances sur certaines espèces hydrothermales, mais peu visaient le recensement des assemblages de communautés d'un champ hydrothermal complet. Il était donc difficile d'avoir un portrait global de la répartition des espèces de la ZPM *Endeavour* jusqu'alors. Aussi, bien que certaines recherches aient démontré que les activités scientifiques avaient des impacts sur la faune, des données concernant la nature de ces activités potentiellement dommageables et quant au type d'assemblage touché par ces activités manquaient. Notre étude souhaite donc pousser un peu plus loin les connaissances sur la biologie des sources et sur les impacts potentiels des activités scientifiques en milieu hydrothermal.

Le premier grand objectif fixé est la caractérisation de la biologie et des habitats des sites visités lors de la mission du New Millennium Observatory (NeMO) 2006 pour les champs hydrothermaux Mothra et Main Endeavour. La prédominance de certains assemblages et la rareté d'autres ainsi que la relation entre le type d'assemblage et l'habitat deviennent ainsi déterminables. L'évaluation des impacts potentiels engendrés par différentes activités scientifiques en milieu hydrothermal est le deuxième grand objectif de ce mémoire. Elle a été effectuée à partir de l'analyse de la mission NeMO 2006, menée avec le sous-marin téléguidé ROPOS et de la mission Atlantis-Alvin 2004, menée avec le sous-marin habité Alvin. Nous voulons savoir si les deux modèles de sous-marin produisent le même type d'impact lors de leurs plongées et quels assemblages sont les plus touchés par les activités scientifiques. La perception des chercheurs vis-à-vis de leurs activités en mer est un élément supplémentaire qui nous a aidé à mieux saisir certaines problématiques liées aux impacts de la recherche en milieu hydrothermal. Un autre objectif de cette section est d'évaluer si certains sites sont plus visités, et donc si la pression est exercée de manière égale partout dans le champ hydrothermal.

Afin de répondre à la première série d'objectifs, des cartes verticales de chaque structure hydrothermale visitée lors des plongées étudiées ont été produites, dans un premier lieu à la main, puis à l'ordinateur, avec le programme Illustrator. Les activités scientifiques et leurs impacts potentiels ont été compilés dans des logiciels tableurs, à partir de bandes vidéo des deux missions étudiées. Des analyses simples ont permis d'en tirer les informations nécessaires. La compilation de questionnaires distribués aux participants de la mission NeMO 2006 a permis d'en apprendre davantage sur la perception des chercheurs quant à leurs activités en milieu hydrothermal. Nous avons ensuite comparé ces résultats avec les données sur les impacts potentiels qui avaient été produites à l'étape précédente. Pour évaluer la pression exercée sur les différents sites visités, des cartes horizontales ont été produites avec les Systèmes d'Informations Géographiques. Nous avons ainsi pu visualiser les corridors de déplacements empruntés lors de différentes missions pour lesquelles nous possédions des données de navigation à Mothra et Main Endeavour Field (MEF).

La démarche globale adoptée pour cette étude de cas est de nature principalement exploratoire, permettant l'avancement des connaissances dans divers champs liés à l'étude des sources hydrothermales et lançant des pistes pour des études à venir. Chaque objectif a été traité indépendamment, pour ensuite dresser une sorte de portrait de la situation générale de l'étude des sources hydrothermales à Endeavour.

Le document se divise en trois grands chapitres. Le premier fait état de la problématique générale : la recherche sur les sources hydrothermales, et de la problématique spécifique de notre projet : la recherche aux champs hydrothermaux Mothra et Main Endeavour et ses impacts potentiels. Ce premier chapitre traite spécifiquement des mécanismes physiques et biologiques qui caractérisent le milieu hydrothermal, des activités scientifiques qui y sont menées et du contexte de gouvernance de la ZPM *Endeavour*. Le deuxième chapitre expose la méthodologie qui a été utilisée pour répondre à chaque objectif. Enfin, le troisième chapitre donne et explique les résultats auxquels nous sommes parvenus et propose des pistes pour poursuivre l'avancement des connaissances dans chaque branche de la problématique traitée.

CHAPITRE I

LES SOURCES HYDROTHERMALES, LEUR EXPLORATION ET LA GOUVERNANCE QUI LEUR EST ASSOCIÉE

L'environnement hydrothermal sous-marin recèle de nombreuses ressources minérales et géothermiques. Mais avant tout, les sources hydrothermales sont des oasis de vie luxuriants, enfouis à plusieurs kilomètres sous la surface de l'océan. Alors que leur existence est restée inconnue jusqu'il y a trente ans, leur découverte a révolutionné la compréhension des cycles de nutriments et des adaptations des espèces océaniques. Les explorations sous-marines scientifiques et les divers types d'échantillonnage ont donc augmenté dans ces milieux rares et fragiles. Certaines conventions internationales, dont les plus importantes sont la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et la Convention sur le droit de la mer (UNCLOS), incitent les États qui y ont adhéré, dont le Canada, à protéger les milieux particulièrement riches d'un point de vue biologique et à s'assurer que les navires qui voguent dans leurs eaux territoriales respectent certaines normes environnementales minimales. Afin d'honorer ses engagements envers la CDB, le Canada a créé en 2003 la Zone de Protection Marine (ZPM) des Sources Hydrothermales d'Endeavour, au large de l'île de Vancouver. L'extraction minière et géothermique ainsi que la pêche y sont interdites mais la recherche n'est limitée qu'au nord de la zone. Les chercheurs et les gestionnaires de la ZPM se demandent maintenant quels sont les impacts de la recherche sur la vie hydrothermale. Ils se questionnent aussi sur les façons de limiter ces impacts au maximum. Les scientifiques souhaitent poursuivre leurs travaux qui amènent sans arrêt de nouvelles

informations sur les adaptations des espèces à des conditions physiques extrêmes et sur le phénomène de symbiose sans laquelle la vie de plusieurs de ces organismes serait impossible. Pour parvenir à répondre à cette question, il faut s'adonner à un recensement systématique des assemblages d'espèces présents autour des sources hydrothermales d'Endeavour puis évaluer l'impact potentiel des différentes activités auxquelles les chercheurs s'adonnent au fond des océans. C'est dans cette perspective que la présente étude a été menée, bien qu'elle ne fasse que jeter les bases d'un pareil projet. Nous souhaitons cependant ouvrir la voie à de plus amples recherches sur le sujet. Le chapitre suivant présente donc une revue succincte des éléments théoriques utiles à notre recherche. Il est question des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sources hydrothermales qui permettent de comprendre le contenu de ce mémoire. Le premier chapitre présente aussi un petit historique de l'exploration des sources hydrothermales et des moyens utilisés par les chercheurs pour y accéder. De plus, les normes qui s'appliquent à la conservation de la biodiversité marine provenant des Conventions sur le droit de la mer et sur la Diversité Biologique sont survolées. Une description de l'aire d'étude, la Zone de Protection Marine Endeavour et quelques informations sur son fonctionnement servent enfin à mieux situer le projet dans son cadre d'application plus précis. Dans ce chapitre et tout au long du mémoire, les figures jouent un rôle pédagogique aussi important que leur appui à l'information du texte. Elles permettront au néophyte de mieux visualiser le contexte de l'étude.

1.1 Environnement des sources hydrothermales

Bien qu'il y ait de la vie presque partout sur les fonds marins, elle se concentre surtout autour de sources hydrothermales qui procurent nutriments et chaleur. Les sources hydrothermales se trouvent dans un milieu pauvre en oxygène à cause de l'absence de photosynthèse à ces profondeurs et de l'abondance de matière organique en décomposition. On les retrouve autour des grandes dorsales géologiques, là où les plaques tectoniques divergent (Tunnicliffe et Thomson, 1999). Biologiquement, les sources hydrothermales forment un des écosystèmes les plus productifs sur Terre. Au champ Endeavour, près des flux diffus des structures de sulfure, on pourrait trouver jusqu'à un demi million d'animaux par mètre carré. Plusieurs d'entre eux sont très petits mais il y a une grande richesse

d'espèces (Tunnicliffe et Thomson, 1999). Les sources hydrothermales attirent les chercheurs : leur biomasse équivaut celle des écosystèmes marins les plus productifs (Sarrazin et Juniper, 1999; Sarrazin *et al.*, 1999; Childress *et al.*, 1986 cité dans Sarrazin *et al.*, 1999). Globalement, on y a trouvé jusqu'à aujourd'hui plus de 600 espèces animales dont 80% (Desbruyères, 2006) sont endémiques. Les environnements hydrothermaux, quoique très productifs, présentent une diversité macrofaunique relativement basse (Grassle *et al.*, 1985). Ceci s'explique par l'abondance de nourriture disponible et par la faible proportion d'organismes capables d'utiliser ou de tolérer ces conditions physicochimiques (Tunnicliffe *et al.*, 2003). Par exemple, l'hydrogène sulfuré et des métaux dissous peuvent interférer avec plusieurs processus biologiques, incluant la respiration, l'osmorégulation, la reproduction et le développement (Scott et Fisher, 1995) et représentent des barrières à la colonisation des habitats hydrothermaux pour plusieurs espèces. Néanmoins, les milieux hydrothermaux abritent un des plus hauts taux de diversité microbienne sur Terre (Tunnicliffe et Thomson, 1999). Les sources hydrothermales détiennent le statut de «points chauds» (hotspots) qu'il faut protéger bien qu'elles ne soient pas riches en espèces (le terme «hotspot» vient de Dr. Norman Myers (1988), et a ensuite été retravaillé pour donner la définition suivante: les écorégions terrestres les plus riches biologiquement et les plus menacées (Mittermeier *et al.*, 1999). Il existe aussi des points chauds en géologie, désignant des endroits où l'activité volcanique est régulière, mais ce n'est pas non plus le sens qui est donné à cette expression dans le cas des sources hydrothermales. Le titre de point chaud leur revient plutôt parce que leur faune présente un taux élevé d'endémicité, que plusieurs espèces qui s'y retrouvent sont uniques et parce que leurs habitats sont susceptibles d'être détruits (Turnipseed *et al.*, 2003). C'est donc plus une mesure de protection et de conservation de la faune basée sur le constat de menaces potentielles pour ces espèces.

1.1.1 Géologie des cheminées hydrothermales

Les cheminées peuvent se former tôt dans l'évolution d'un site hydrothermal, suite à une éruption volcanique. La formation d'une cheminée simple de type fumeur noir débute lorsqu'un métal (comme du fer, du cuivre ou du zinc) et des fluides acides se mélangent à

l'eau de mer froide et alcaline du milieu. Cela fait précipiter les métaux sulfureux et des panaches riches en particules, typiques des fumeurs noirs, se forment. En premier lieu, un tube d'anhydrite poreux se forme autour de la sortie de fluide. La croissance de ce tube peut atteindre 30 cm par jour (Goldfarb *et al.*, 1983). Les murs d'anhydrite isolent les fluides hydrothermaux de l'eau de mer environnante. Le flux de fluide horizontal, dans les murs de la cheminée, continue jusqu'à ce que tous les pores soient bouchés par des minéraux sulfureux (Hannington *et al.*, 1995). Lorsque les murs d'anhydrite extérieurs se refroidissent à moins de 150 °C, l'anhydrite commence à se dissoudre dans l'eau de mer.

Les colonnes de cheminées peuvent atteindre 10 à 20 mètres de hauteur. Elles ont souvent de multiples orifices de température élevée en leur sommet. Les grandes cheminées actives non fortifiées par des dépôts secondaires sont fragiles et peuvent être renversées par des vibrations venant du passage de sous-marins ou de petits tremblements de terre (Van Dover, 2000).

1.1.2 Chimie des fluides

En comparaison avec l'eau de mer, le pH des fluides hydrothermaux est plus bas (variant entre 3 et 5). Ces fluides sont riches en hydrogène sulfuré (H₂S), dihydrogène, méthane, manganèse, fer, zinc, cuivre, plomb, cobalt et aluminium. Ils sont cependant pratiquement dépourvus de magnésium et d'oxygène (Van Dover, 2000). Les fluides de température élevée sont composés d'eau de mer ayant réagi avec la roche chaude (il n'y a donc plus de magnésium et de sulfate mais d'autres éléments se sont ajoutés), de vapeur riche en gaz volatiles tels l'hydrogène sulfuré provenant de la séparation de phases et de saumure riche en métaux et dépourvue de gaz. Les variations de composition entre les fluides de différentes sources se trouvent au niveau des proportions de ces trois composantes (Edmonds et Edmond, 1995).

1.1.3 Chimiolithoautotrophie

Dans les environnements de sources hydrothermales, les substances réductrices sont produites par des réactions entre la roche et l'eau chaude lorsque l'eau de mer circule dans la croûte océanique. Les bactéries catalysent l'oxydation de l'hydrogène sulfuré (H₂S) et

d'autres substances réductrices provenant des fluides hydrothermaux, produisant de l'énergie chimique qui est utilisée pour former l'ATP (Adénosine Triphosphate) nécessaire à la chimiosynthèse. L'utilisation de l'énergie chimique dérivée des réductions ou oxydations de composés inorganiques est appelée chimiolithoautotrophie. Elle produit des composés carbonés organiques. Toutefois, bien que les organismes des sources dépendent surtout de l'énergie chimique primaire, l'oxygène dissout (produit par la photosynthèse) est essentiel à la vie animale et à plusieurs processus respiratoires microbiens.

1.1.4 Les assemblages hydrothermaux et l'habitat

Il existe deux principaux types de sources: les sources diffuses qui proviennent de fissures dans la croûte océanique basaltique, et les cheminées hydrothermales minérales qui peuvent atteindre plus d'une vingtaine de mètres de hauteur. L'hétérogénéité et la diversité des formes des édifices sont relativement grandes : certains sont plus hauts et minces, d'autres plus bas et étendus (pour des exemples, consulter la section 3.2). La répartition des espèces varie elle aussi beaucoup selon le type d'édifice. Plusieurs assemblages d'espèces ont été repérés sur et à proximité des sources hydrothermales de la dorsale Juan de Fuca. Nous entendons par «assemblages» les différents stades de succession des communautés fauniques qui colonisent les édifices hydrothermaux (Sarrazin et al., 2002). À présent, six types d'assemblages ont été identifiés et sont typiques des structures hydrothermales des dorsales d'accrétion du Pacifique nord-est (Sarrazin *et al.*, 1999). Les deux premiers, composés majoritairement de vers polychètes, sont trouvés dans les conditions physiques les plus extrêmes (fort flux acide et températures les plus élevées). Ils sont généralement vus sur les portions des cheminées plus jeunes et en pleine croissance. Dans les assemblages III et IV, quelques gastéropodes et vers vestimentifères apparaissent aux côtés des polychètes. Les gastéropodes et vers vestimentifères colonisent généralement des habitats moins sévères que les polychètes et sont principalement trouvés sur les parois des cheminées (Sarrazin *et al.*, 1999). L'assemblage V est dominé par les vestimentifères. Enfin, l'assemblage VI, visiblement dominé par des vestimentifères sénescents, se retrouve souvent à la base (la plus vieille partie de la structure) de cheminées matures ou là où le flux est amoindri par la minéralisation des conduits internes (Sarrazin *et al.*, 1999).

La colonisation de nouveaux sites hydrothermaux est très rapide car les espèces hydrothermales sont adaptées à des habitats changeants et éphémères. Ainsi, sept mois après l'éruption du volcan sous-marin Axial de la dorsale Juan de Fuca en 1998, les sites hydrothermaux commençaient déjà à être colonisés. Les premiers colonisateurs, les vers polychètes *Paralvinella sulfincola* Desbruyères et Laubier, 1993, apparaissent sur le substrat nouvellement formé des cheminées quand les températures et concentrations en toxines baissent suffisamment pour atteindre des niveaux tolérables (Grelon *et al.*, 2006). Cela est permis par la diminution de la diffusion horizontale de fluides chauds vers l'extérieur. Les vers migrent sur les édifices sulfureux et construisent de nouveaux tubes afin de rester près de l'extrémité des cheminées (Juniper *et al.*, 1992).

Les transitions d'un assemblage à l'autre sont induites par des variations de flux et des processus biologiques (Sarrazin *et al.*, 1999). Ce système de classification est pratique et permet la distinction visuelle des communautés à partir de bandes vidéo et de photos. La macrofaune et le type d'environnement physique ainsi reconnus permettent de déduire la microfaune et les autres organismes qui sont associés à cette macrofaune et qui auraient échappé à l'examen visuel.

1.1.5 Relation entre l'habitat et l'espèce

Sarrazin *et al.*, (1999) ont découvert que la distribution des espèces autour de la dorsale Juan de Fuca était grandement déterminée par les conditions physique et chimique locales. Les résultats de leur étude ont démontré l'influence de l'hydrogène sulfuré, de l'intensité visible du flux et du type de substrat sur la distribution des espèces hydrothermales. Certaines espèces apparaissent dans des niches physique et chimique bien définies. Karl (1995) a aussi observé que la température peut limiter la présence des espèces et qu'elle a un effet sélectif sur la composition des communautés microbiennes. La température est fortement positivement corrélée avec les teneurs en H₂S et négativement corrélée avec les teneurs en O₂.

La croissance des organismes hydrothermaux est rapide et la maturité sexuelle est atteinte tôt, même chez les petits individus des grosses espèces car ce sont des traits

métaboliques et de cycle biologique qui sont favorables à la vie dans les habitats insulaires et de transition que sont les sources hydrothermales (Tunnicliffe, 1991).

1.1.6 Assemblages et espèces indicatrices

Paralvinella sulfincola Desbruyères et Laubier, 1993, est un des premiers métazoaires à coloniser le substrat minéral fraîchement formé des édifices sulfureux des sources hydrothermales de la dorsale Juan de Fuca (Juniper, 1994). Il est caractéristique de l'assemblage I (fig. 1.1). Ce polychète se retrouve souvent sur les surfaces exposées à des flux intenses de fluide hydrothermal. Il forme une couche qui permet d'atteindre des conditions physicochimiques tolérables pour les autres espèces. Sans sa présence, les surfaces se trouveraient exposées à des conditions trop sévères pour la colonisation (Sarrazin *et al.*, 1997). Il est dépositif et ingère des particules (bactéries et détritiques non-vivants) sur les surfaces minérales avoisinant l'entrée de son tube (Juniper, 1994 et Grelon, 2001). Il est souvent trouvé sur les parois et les sommets des structures (Sarrazin *et al.*, 1999) et fait généralement partie de populations monospécifiques (Sarrazin *et al.*, 1997).

Au fur et à mesure que la température se refroidit et que le flux de fluide ralentit, se développent les populations du polychète *Paralvinella palmiformis* Desbruyères et Laubier, 1986. Ceci marque la transition à l'assemblage II.

Lorsque les populations de *P. palmiformis* sont partiellement déplacées par le recrutement de mollusques gastéropodes prosobranches (*Lepetodrilus fucensis* McLean, 1988 et *Drepressigyra globulus* Warén et Bouchet, 1988) ceci forme l'assemblage III. La liste d'espèces incluses dans l'assemblage III que Sarrazin et Juniper (1999) ont rédigée n'inclut pas *Ridgeia piscesae* mais Sarrazin *et al.* (1997) ont reconnu pour leur part l'occurrence occasionnelle de petits *R. piscesae* dans ce type d'assemblage. Dans ce travail, les assemblages III et IV ont été regroupés en une seule catégorie à cause de cette incertitude et de la mauvaise résolution des images obtenues (fig. 1.1).

La biomasse totale des sources de la dorsale Juan de Fuca peut être composée jusqu'à 50% de *Lepetodrilus fucensis* (Sarrazin, 1999). Considéré comme un suspensivore par

Tunnicliffe (1991), son anatomie suggère également des comportements de brouteur sur les vestimentifères et les surfaces rocheuses qu'il colonise (Fretter, 1988). Fox *et al.* (2002) ont proposé que les bactéries branchiales de *L. fucensis* pourraient servir de source importante de nutrition pour l'animal par endocytose. Cette patelle dégraderait les bactéries directement dans l'épithélium de ses branchies. En fait, son succès écologique dans les sources hydrothermales pourrait être influencé par sa capacité à utiliser de multiples méthodes d'acquisition de nourriture tels le broutage, la filtration et l'alimentation par les bactéries branchiales.

Avec le temps et alors que le flux et la température diminuent, *R. piscesae* émerge au travers des gastéropodes et en vient à dominer la composition de l'assemblage, que l'on appelle maintenant V Low-flow (fig. 1.1). Ce ver vestimentifère des sources hydrothermales peut croître de près d'un mètre par année lorsqu'il se trouve dans les conditions optimales de colonisation de nouvelles sources (Tunnicliffe *et al.*, 1997).

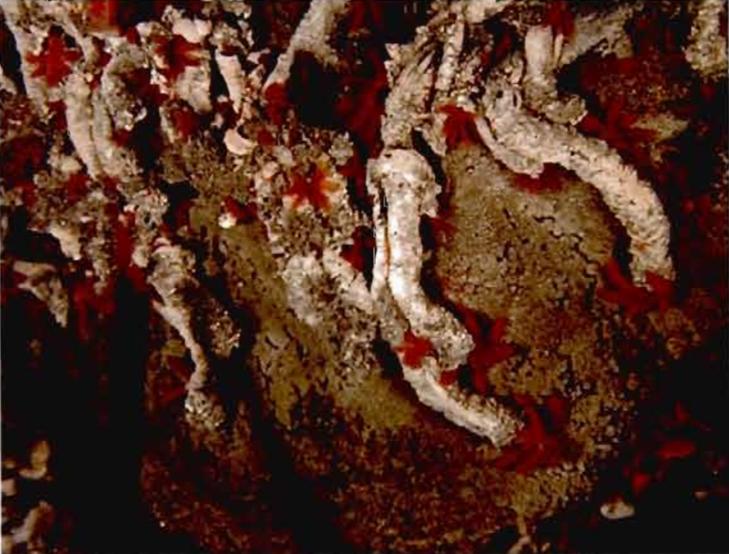
Govenar *et al.* (2002) pensent que si le flux augmente (résultant d'une modification tectonique, par exemple), l'assemblage V High-Flow peut directement succéder à l'assemblage IV (sans passer par l'assemblage V Low-flow). Les gastéropodes meurent ou migrent, diminuant leur densité. Dans l'assemblage V High-flow, il n'est pas rare d'observer la présence de *P. palmiformis* aux côtés *R. piscesae*, étant donné que le flux hydrothermal est plus actif (fig. 1.1).

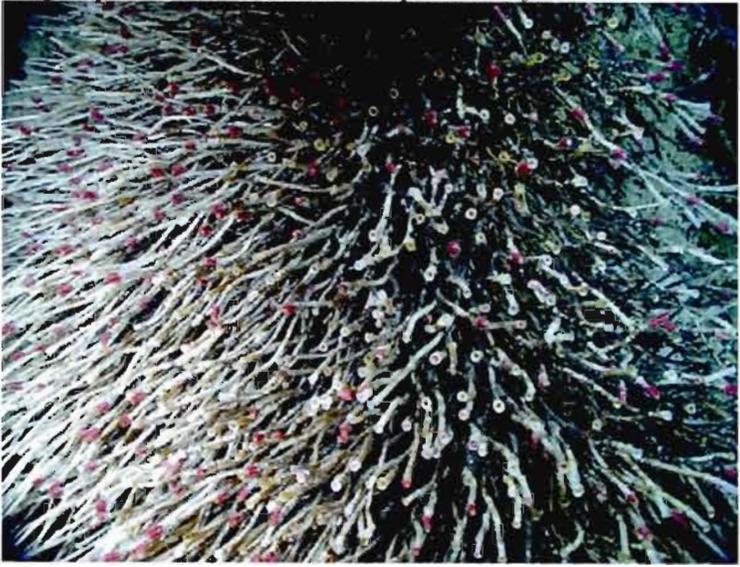
Lorsque *R. piscesae* décatit, il est souvent associé à un flux hydrothermal faible à la base des édifices. Il forme alors l'assemblage VI (fig. 1.1).

Lorsqu'une source cesse d'émettre son flux, la communauté hydrothermale sénescence est envahie par des détritivores tels que les gastéropodes, décapodes et copépodes.

Au cours de notre étude, un autre assemblage faunique hydrothermal, non mentionné dans la littérature, a été observé. Il se composait majoritairement de fins tapis bactériens et de gastéropodes buccinidés. Cet assemblage a été identifié comme l'assemblage VII (fig.

1.1) parce qu'il semblait représenter l'étape ultime de la colonisation après que les vers soient disparus (étape représentée par l'assemblage VI).

<u>Assemblages</u>	<u>Espèces indicatrices</u>
I	<p><i>Paralvinella sulfincola</i> Desbruyères et Laubier, 1993 – parois et sommets</p>  A close-up photograph showing several white, branching, tube-like structures of the polychaete worm Paralvinella sulfincola. The tubes are attached to a dark, textured substrate, likely a rock or coral. Small red and green organisms are visible on the surface of the tubes.
III-4	<p><i>Paralvinella palmiformis</i> et <i>Lepedodrilus fucensis</i> McLean, 1988</p>  A close-up photograph showing a dense cluster of white, branching, tube-like structures. The tubes are attached to a dark, textured substrate. Small red and green organisms are visible on the surface of the tubes.

<p>V LF</p>	<p><i>Ridgeia piscesae</i> Jones, 1985 et <i>Lepetodrilus fucensis</i></p> 
<p>V HF</p>	<p><i>R. piscesae</i> et <i>P. palmiformis</i> dans un flux hydrothermal plus actif</p> 

VI	<p><i>R. piscesae</i> sénescents</p> 
VII	<p>Principalement de fins tapis bactériens et des gastéropodes buccinidés (<i>Buccinum</i> sp.).</p>

Figure 1.1 Assemblages hydrothermaux retrouvés dans la ZPM Endeavour.

1.1.7 Communautés en mosaïques

Les conditions physiques et chimiques d'une même structure hydrothermale varient considérablement. Selon Sarrazin *et al.* (1997), cette hétérogénéité engendre une mosaïque faunique sur les surfaces des édifices hydrothermaux. Leur étude suggère que les transitions de communautés hydrothermales sont induites par des fluctuations de flux et des processus biologiques se produisant à des échelles temporelles sub-annuelles. Ces transitions de communautés résulteraient de changements environnementaux graduels, de perturbations et de processus biologiques, agissant de façon imprévisible et hétérogène (Sarrazin *et al.*, 1997).

1.1.8 Transitions de communautés par processus biologiques

Le modèle de Sarrazin *et al.* (1997) identifie deux transitions par biofacilitation qui changent les conditions de l'habitat, principalement en modifiant ou en faisant apparaître un nouveau substrat. Un de ces procédés biologiques apparaît entre les assemblages I et II alors que la construction du tube et la biominéralisation effectués par *P. sulfincola* permettent à *P. palmiformis* de coloniser. L'autre transition biologique s'effectue entre les assemblages IV et V : la croissance du tube de *R. piscisae* crée un environnement tridimensionnel complexe pour les plus petites espèces (Sarrazin et Juniper, 1999).

1.1.9 La biodiversité aux sources et à leur périphérie

Les assemblages d'animaux de la périphérie des sources (d'environ 0.5m à 6m de l'aire de flux visible) et de sources sénescents (là où le flux de fluide n'est plus visible et que les vestimentifères sont en mauvaise condition) sont similaires. Dans ces deux habitats, l'homogénéité de répartition des espèces est plus grande. On y retrouve des taxons d'eau profonde et la densité d'individus de chaque espèce est faible comparativement aux habitats des sources de flux intense bien que la biodiversité générale soit bonne. Marcus et Tunnicliffe (2002) ont suggéré que l'évolution à travers le temps d'un habitat spécifique pourrait présenter des analogies avec l'évolution spatiale des espèces en partant d'une source et en allant vers sa périphérie. Les grosses espèces mobiles telles que les poissons des sources (fig. 1.2), les crabes-araignée, les crevettes et les pycnogonides sont associées à des concentrations d'éléments chimiques plus basses et à une faible intensité de flux. Ils semblent préférer la base des édifices.



Figure 1.2 Poisson des sources à la base de la Cheminée Notre-Dame, mission NeMO, été 2006.

Sarrazin et Juniper (1999) ont observé que la densité faunique et la biomasse étaient généralement plus importantes dans les assemblages où le flux et la température étaient moindres. Dans les sites V High-flow cependant, alors que le flux est plus fort, il y a une grande biomasse bien que la richesse en espèce soit faible. En effet, moins d'espèces possèdent les adaptations physiologiques pour résister aux rudes conditions (exposition au H_2S , hypoxie, haute température et concentrations élevées en métaux) des sources de flux intense. La richesse en espèces est donc moins élevée dans des conditions plus sévères et elle est plus élevée dans des conditions modérées. Ceci correspond bien à l'hypothèse de l'«Intermediate Disturbance» (perturbation intermédiaire) de Connell (1978) selon laquelle un écosystème composé de communautés d'organismes sessiles atteint une diversité maximale en espèces lorsqu'il est soumis à un régime de perturbations de fréquence et d'intensité moyennes.

1.1.10 Bactéries des sources et de leurs environs

La production primaire microbienne des sources hydrothermales est soutenue par des formes libres et par des endosymbiotes associés à leurs hôtes métazoaires (Karl, 1995). La faune non-symbiotique peut dominer la biomasse hydrothermale (Sarrazin et Juniper, 1999). Elle consomme de la matière organique, soit en se nourrissant de matière en suspension et de dépôts, soit par prédation. Les sources potentielles de matière organique particulière

(MOP) incluent des bactéries libres, des protozoaires, la méiofaune et des détritiques d'origine non organique provenant de l'habitat des sources et de la zone pélagique. La composition biochimique des sources de nourriture particulière disponible pour les consommateurs varie sûrement en fonction des caractéristiques et de la composition des communautés de cet habitat très dynamique (Levesque et Juniper, 2002). Ces auteurs ont également observé une augmentation de l'apport des déchets dans le régime des consommateurs au long de la vie des sources, phénomène décrit comme l'hétérotrophisation de la chaîne alimentaire.

Les dépôts sulfureux nouvellement formés sont également colonisés par une variété de microorganismes. Ces derniers forment souvent des films étendus et des tapis directement sur le substrat sulfureux (Karl, 1995).

1.1.11 Relations symbiotiques aux sources hydrothermales

Les vers vestimentifères ont la particularité d'être endosymbiotiques obligatoires : ils n'ont pas d'intestin fonctionnel, et doivent donc se procurer leurs nutriments auprès des bactéries qui vivent en eux. Les palourdes et moules ont également développé des endosymbioses, mais elles possèdent toujours un intestin fonctionnel et ont la capacité de se nourrir par filtration (Felbeck *et al.*, 1981). Sarrazin et Juniper (1999) ont remarqué qu'en milieu hydrothermal, on trouve moins d'animaux hôtes de symbiotes là où les températures sont les plus élevées.

1.1.12 Importance des aires de reproduction pour la survie des espèces

Macdonald *et al.* (2002) suggèrent que le vestimentifère *Ridgeia piscesae* est seulement capable de se reproduire dans l'assemblage V High-flow, alors que le flux intense exclut d'autres espèces prédatrices qui autrement broutent leurs branchies. Si cette hypothèse est vraie, ce rare assemblage est essentiel à la survie de l'espèce. Cette information a des implications importantes quant à la gestion des perturbations humaines en milieu hydrothermal en général, et à l'APM Endeavour, en ce qui concerne notre étude.

La plupart des autres habitants des sources se dispersent par des larves pélagiques, comme la majorité des invertébrés marins. Quelques-unes de ces larves peuvent vivre des mois dans l'eau et voyager très loin, grâce aux courants océaniques (Tunnicliffe *et al.*, 2003).

1.1.13 La distribution du fluide hydrothermal

Butterfield *et al.* (1994) ont remarqué que chaque édifice sulfureux rejette un fluide dont la composition varie très peu de l'orifice d'une source à l'autre, d'année en année. Néanmoins, il existe de grandes variations de la composition des fluides à travers le champ hydrothermal.

Ils ont aussi enregistré des températures de flux augmentant du nord-est au sud-ouest du champ hydrothermal Endeavour. La solubilité des minéraux, les concentrations de H₂S et celles de CO₂ suivaient le gradient de température. L'hypothèse que ces chercheurs fournissent afin d'expliquer un tel gradient est qu'il existerait un gradient de composition du fluide sous le champ hydrothermal. Les différentes structures sulfureuses seraient les terminaisons dans la croûte océanique de plans ou conduits de la faille s'étendant vers la source du fluide de haute température (Butterfield *et al.*, 1994). Il serait intéressant de tenir compte de ces informations lors de la planification future des échantillonnages afin que ce ne soient pas toujours les édifices de la même zone (qui ont possiblement le même type de flux, de propriété physico-chimiques et de faune) qui soient touchés par les activités scientifiques. Il y aurait donc possibilité que la pression anthropogénique soit plus répartie et moins intense sur certains sites.

1.1.14 Impact de l'utilisateur sur l'environnement

L'impact de l'utilisateur sur les environnements marins a souvent été étudié dans les récifs coralliens. Barker et Roberts (2004) et Tratalos et Austin (2001) ont trouvé que la plongée récréative a un impact notable sur les sites fréquemment visités. Les impacts étudiés par Barker et Roberts (2004) se situaient au niveau des contacts entre les plongeurs et les

récifs. L'influence de l'utilisation de caméras, du point de départ de la plongée et de l'heure de la journée étaient les variables considérées comme pouvant produire un impact. Tratalos et Austin (2001) ont quant à eux étudié les effets du nombre de plongeurs sur l'état des récifs et les effets de la distance entre leurs activités et un site donné sur l'intégrité des récifs de ce site.

En milieu hydrothermal, Tunnicliffe (1990) a conclu que certains animaux des sources sont très sensibles aux perturbations, bien qu'ils vivent dans un habitat naturellement instable. Les observations de Tunnicliffe ont pointé le fait que les méthodes d'échantillonnage par la manipulation d'outils lourds et encombrants pouvait endommager et parfois complètement détruire les habitats échantillonnés, alors que les zones restées intouchées par les chercheurs lors de leurs plongées restaient intactes (Tunnicliffe, 1990).

1.1.15 Types de valeurs des sources hydrothermales

Un atelier de l'organisation internationale InterRidge sur la gestion et la conservation des écosystèmes des sources hydrothermales (Dando et Juniper, 2001) a attribué différents types de valeurs à la biodiversité des écosystèmes. Une des valeurs de non-usage (ie. la valeur économique attribuée par les individus à la connaissance que la ressource existe dans la nature, même si elle n'est jamais utilisée, ni dans le présent ni dans le futur (Revéret et Webster, 2002)) était l'éducation. Elle peut s'apprécier lorsque des sites éloignés sont étudiés par les chercheurs qui transmettent leur savoir au grand public par le biais de conférences, articles ou sites internet. L'autre valeur de non-usage était de laisser des aires ou des ressources vierges aux générations à venir. Il peut y avoir des valeurs d'option (ie. le prix que les gens sont prêts à payer pour préserver un accès futur à un bien environnemental (Revéret et Webster, 2002)), comme l'importance que certaines espèces pourraient présenter pour les sciences biotechnologiques. Enfin, les valeurs directes (ie. tous les bénéfices provenant de l'utilisation actuelle d'une ressource, que ce soit dans un contexte commercial, récréatif ou pour une activité de subsistance (Revéret et Webster, 2002)), peuvent être représentées par les précieuses informations géologiques et biologiques que fournit l'étude des sources hydrothermales. L'éducation au public est aussi de grande valeur, que ce soit

lorsque les intéressés peuvent accéder à des sites hydrothermaux ou s'ils peuvent toucher ou regarder des objets et organismes que les scientifiques ont rapportés de leurs missions. Les valeurs d'usage indirect pourraient être représentées par l'importance d'une espèce pour le cycle géologique, ou par celle d'un habitat comme refuge. Les connaissances des milieux qui permettent l'amélioration de la compréhension des changements climatiques font aussi partie de cette dernière catégorie de valeurs (Dando et Juniper, 2001).

À la lumière des informations de la précédente section, il apparaît clair que l'environnement hydrothermal est unique et peuplé d'espèces endémiques qu'il faut préserver tant pour leur valeur intrinsèque que pour leur intérêt scientifique, esthétique et éducationnel. Aussi, il faut porter une attention particulière à la préservation de l'assemblage V High-flow qui permet la reproduction du vers tubicole vestimentifère *Ridgeia piscesae*. Il en ressort également que la recherche scientifique menée autour des sources hydrothermales avec des outils d'échantillonnage lourds et encombrants peut avoir des impacts importants sur l'évolution des espèces dans ces milieux par la destruction de leur habitat. Il sera donc intéressant d'analyser plus loin la répartition des différents assemblages aux sites étudiés en portant une attention particulière à l'assemblage V High-flow et de tenter de distinguer quelles activités scientifiques ont les impacts les plus marquants. Afin de mieux comprendre de quelle façon les sous-marins peuvent altérer le milieu, voici un petit historique des missions scientifiques et la description de quelques engins ayant servi à étudier les fonds océaniques profonds.

1.2 Réalité technologique de l'exploration des sources hydrothermales

Même dans les zones où l'activité industrielle n'est pas permise, comme dans la Zone de Protection Marine Endeavour, la vie hydrothermale peut être menacée par d'autres types d'activités. En fait, les scientifiques peuvent affecter les communautés fauniques par leurs méthodes d'observation et de prélèvement des données (échantillonnage) (Mullineaux *et al.*, 1998). Comme il est souvent plus intéressant d'un point de vue scientifique de retourner à quelques sites bien connus pour suivre leur évolution, plusieurs sites sont maintenant exploités intensivement par les scientifiques (Dando et Juniper, 2001). Aussi, on ne sait plus

si on y observe l'évolution naturelle du site ou le résultat des perturbations engendrées par l'activité humaine, ces différents types de perturbations étant difficiles à distinguer uniquement d'après les traces qu'ils laissent.

Au milieu du XIX^{ème} siècle, Edward Forbes émettait la théorie selon laquelle la faune des océans se raréfiait de façon linéaire en fonction de la profondeur. Ainsi, dès que l'on dépasserait environ 550 mètres, on se trouverait dans une zone sans faune (Anderson et Rice, 2006). L'année 1977 marque donc une date décisive dans l'histoire de l'écologie et de notre compréhension du monde vivant : cette année-là, l'équipage du sous-marin *Alvin* découvrit des peuplements abondants d'animaux à la sortie de fluides hydrothermaux, sur la dorsale des Galapagos, 2500 mètres sous la surface de l'eau.

Alors que jusque là, la croyance générale voulait que l'océan profond soit très pauvre car son unique apport de nourriture provenait de la zone euphotique et du flux organo-minéral en résultant, la découverte de peuplements indépendants de la production photosynthétique de surface fut une véritable révélation. En effet, ces communautés contrastent avec les peuplements macrofauniques clairsemés de l'océan profond ordinaire. Les biomasses des peuplements hydrothermaux sont pour leur part bien plus élevées, mais limitées à des surfaces très réduites. Suite à cette découverte, de nombreuses expéditions sous-marines visèrent à trouver de nouveaux sites hydrothermaux et d'en étudier l'écologie. En 1983, les Canadiens explorèrent la dorsale Juan de Fuca avec le sous-marin *Pisces IV*. Au sommet du mont sous-marin Axial, ils observèrent des communautés biologiques dominées par des vestimentifères d'un nouveau genre, *Ridgeia*, et des vers polychètes de la famille des alvinellidés.

Les premières explorations des grandes profondeurs se firent en bathyscaphe, à partir de 1948 et jusqu'en 1982. Cette invention d'Auguste Piccard ne se déplaçait cependant qu'à la verticale, s'enfonçant par gravité dans le fond des mers et devant être remorquée par le navire qui l'accompagnait. Les bathyscaphes purent tout de même atteindre 10 900 mètres de profondeur en 1960 avec le célèbre *Trieste*. D'un point de vue scientifique, on observait

des fonds océaniques qui paraissaient monotones, voire désertiques. Les submersibles, premiers sous-marins dont l'autonomie de plongée est faible, montrèrent par la suite qu'il était possible de se déplacer en trois dimensions dans le fond de l'eau. Les premiers sous-marins profonds apparurent par la suite. Parmi les submersibles habités de grand fond, l'Alvin a été construit en 1964 et a été paré d'une nouvelle coque en 1973. Il pouvait se rendre à 4500 mètres de profondeur. Le Cyana, construit en 1970, se rendait à trois kilomètres et le Pisces IV et d'autres Pisces (milieu des années 1970) plongeaient à 2000 mètres sous la surface de l'eau. Le *Nautilus* de l'Ifremer pouvait aller à 6000 mètres de profondeur en 1984. Ce type de véhicule est transporté sur les lieux des missions par un navire, en surface. Les sous-marins profonds ont en moyenne dix heures d'autonomie. La capacité d'atteindre 6000 mètres de profondeur permet de couvrir 98% des fonds océaniques. Cela n'exclut que les fosses les plus profondes.

Les premiers sous-marins étaient uniquement considérés comme des plates-formes d'observation où l'on ne prenait même pas de photos. Avec la technologie, l'échantillonnage s'est intensifié. Aujourd'hui, les données sont davantage prises par vidéographie et photographie, mais les échantillonnages biologique et géologique ont toujours cours. Dans le futur, on pourrait croire que les méthodes d'observation du milieu seront de plus en plus préconisées au détriment de celles qui perturbent le milieu, dans un objectif de meilleure conservation de ces écosystèmes uniques. Cependant, certaines informations ne peuvent actuellement qu'être recueillies par l'échantillonnage pour des raisons techniques.

Les véhicules commandés à distance, ou ROV pour *Remote Operated Vehicle*, n'ont pas de pilote à bord. Ils envoient leurs informations, images et mesures diverses à la surface, en temps réel. Leur principal avantage est qu'ils peuvent travailler 24 heures sur 24 pendant de longues périodes. Le ROV Canadien *ROPOS* (Remotely Operated Platform for Ocean Sciences) fait partie de cette catégorie de sous-marins (fig. 1.3).



Figure 1.3 Le ROPOS lors de sa sortie de l'eau.

D'un point de vue technique, le *ROPOS* est équipé pour plonger à différentes profondeurs, pouvant atteindre 5000 mètres au maximum. Il est muni de trois ou quatre caméras reliées à l'équipement vidéo qui permet de visionner ce qui se passe sous l'eau à partir de l'intérieur du navire.

Le ROPOS possède deux bras de manipulation pouvant supporter jusqu'à 300 kilogrammes et qui peuvent être modifiés par les différents outils d'échantillonnage que les chercheurs souhaitent utiliser. Ils peuvent donc être tantôt coiffés de mâchoires en inox, de capteurs, de ciseaux à corde, de crochets, de pinces (fig. 1.5b) ou encore servir à tenir les tubes de carottage. En plus, le ROPOS possède une boîte conçue pour rapporter des échantillonnages biologiques ou géologiques et il est muni d'un échantillonneur par suction («suction sampler») (fig. 1.5a et d). Finalement, des capteurs chimiques, une perceuse et une scie pour la roche et un sonar peuvent être intégrés à l'engin. Les lasers fixés à la caméra permettent d'évaluer la taille des spécimens et des populations. Les trois sondes de températures (fig. 1.5c) peuvent supporter jusqu'à 400 °C. Le poids du sous-marin varie en fonction de la profondeur à laquelle il doit plonger, mais il varie entre 2110 et 2630 kilogrammes. Sa longueur est d'environ 3 mètres, sa largeur est de 1,77 mètres et il est haut de 1,64 à 2,23 mètres. Le ROPOS est relié au navire par un câble optico-électrique de 5500 mètres. Le pilote, installé dans le navire, reçoit les données de positionnement du navire, du sous-marin et du point qu'il vise. Le calcul de la position est fait par un système de traçage acoustique aidé d'un GPS. Les autres informations sont gérées par le scientifique,

l'opérateur manipulateur et la personne qui enregistre les événements importants de la mission (les «logs»). À chaque plongée, le scientifique donne des indications aux pilotes et aux manipulateurs du ROPOS (fig. 1.4) et il prend des notes orales enregistrées sur la vidéo. Le scientifique doit être clair et compréhensif des enjeux techniques, et l'opérateur doit être efficace et habile pour manipuler les outils du ROPOS en fonction des besoins des scientifiques.

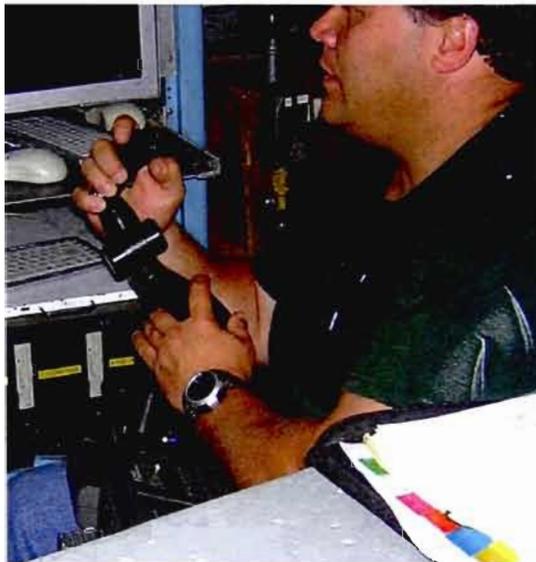


Figure 1.4 Manipulation d'un bras du ROPOS.



Figure 1.5a



Figure 1.5b



Figure 1.5c



Figure 1.5d

- a) Échantillonnages de flux et par succion avec appui grâce aux pinces;
- b) Échantillonnage géologique avec les pinces;
- c) Sonde de température déposée sur une cheminée hydrothermale;
- d) Échantillonnage de flux. Le sous-marin tient en équilibre par sa prise sur la cheminée.

L'Alvin est entré en opération en 1964 et ce fut le premier sous-marin capable de transporter des passagers. Il peut plonger à 4 500 mètres. Il peut rester submergé jusqu'à dix heures dans des conditions normales. Habituellement, une plongée typique durera autour de huit heures, incluant deux heures pour la descente au fond de l'eau, quatre heures de recherche et deux heures de remontée. Il peut manoeuvrer sur des terrains accidentés et peut errer à mi-eau pour accomplir ses tâches scientifiques ou prendre des photos et des vidéos. Il pèse 16 964 kilogrammes et mesure 7 mètres de long, 2,44 de large et 3,35 de hauteur. Sa vitesse de croisière est de un noeud, mais il peut aller jusqu'à deux noeuds. Il est propulsé par cinq propulseurs hydrauliques et est aussi muni d'un système électrique de batteries de

type acide-plomb. Tout comme le ROPOS, des caméras photo et vidéo sont fixées à l'extérieur du sous-marin. Il possède deux bras hydrauliques manipulateurs à l'avant qui peuvent supporter 91 kilogrammes chacun. L'un a une plus grande dextérité, pour les opérations délicates, et l'autre sert davantage de force brute. L'Alvin a aussi un panier pour l'échantillonnage biologique et géologique, des capteurs chimiques et des lumières extérieures. L'intérieur du sous-marin renferme un ordinateur et on peut y voir les données de navigation. Il y a également un sonar. Des sondes de température et de flux sont présentes, ainsi qu'un magnétomètre et un CTD (un groupe d'instruments qui inclut des capteurs mesurant la Conductivité, la Température et la Profondeur de l'eau de mer). L'*Alvin* plonge et refait surface par simple gravité et flottaison. Des ballasts d'eau et des poids d'acier (poids de plongée, ou dive weights) font descendre le sous-marin et les poids en surplus sont relâchés au fond quand les scientifiques veulent remonter à la surface. Il s'agit donc de un à quatre jeux de poids d'environ 94 kilogrammes chacun qui sont abandonnés au fond des océans lors d'une plongée de l'*Alvin*.

Ainsi, bien que le milieu hydrothermal soit moins échantillonné qu'à une certaine époque, les missions sous-marines scientifiques continuent d'y avoir cours régulièrement. Les sous-marins utilisés peuvent être habités, comme l'Alvin, ou non, comme le ROPOS, le premier étant plus grand et lourd, mais potentiellement plus facilement manoeuvré du fait que le pilote se trouve à bord, et le deuxième étant plus petit et léger, mais contrôlé à distance. Il reste maintenant à comparer ces deux types de missions afin de voir si l'un des deux modèles de sous-marins engendre plus d'impacts dans le milieu hydrothermal que l'autre... Avant d'arriver à la méthode puis à nos résultats, il est nécessaire de survoler le cadre réglementaire dans lequel la ZPM Endeavour se trouve ainsi que normes qui régissent le milieu océanique profond et que le Canada doit respecter. Nous verrons aussi dans la section suivante de quel site exactement il est question lorsque l'on parle de la ZPM Endeavour et comment il est gouverné.

1.3 La ZPM Endeavour : gouvernance par la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et Le Droit de la Mer (UNCLOS)

Afin de prévenir l'extinction des espèces et la perte des écosystèmes océaniques s'est ajoutée aux méthodes adoucies d'observation sous-marine la création de Zones de Protection Marine (ZPM). Les chercheurs du groupe d'étude réunis à l'atelier d'InterRidge ont aussi élaboré des codes de conduite pour atténuer leur effet sur l'environnement hydrothermal, comme en témoigne le rapport de l'atelier de l'organisation internationale InterRidge (Dando et Juniper, 2000).

Le Ministère des Pêches et des Océans du Canada a choisi en 2003 le champ hydrothermal *Endeavour*, au large de l'île de Vancouver, pour première Zone de Protection Marine en milieu profond. Le site englobe quatre champs hydrothermaux et se situe sur le segment Endeavour de la dorsale océanique Juan de Fuca. Il a été créé pour protéger cet écosystème unique. Actuellement, les seuls usagers de la zone de protection sont les chercheurs qui en étudient la biologie et la géologie. Le site se divise en deux parties: au nord, les activités scientifiques sont limitées alors qu'au sud, la recherche se poursuit. Ce zonage est plus historique que biologique, étant donné que les expéditions se sont toujours surtout faites au sud.

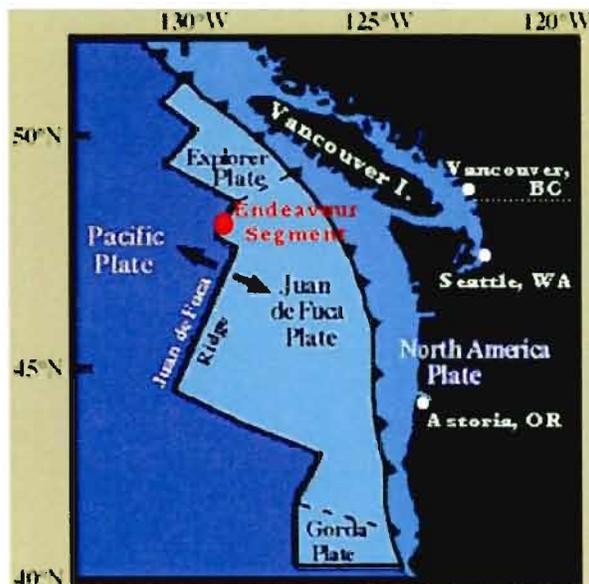


Figure 1.6a

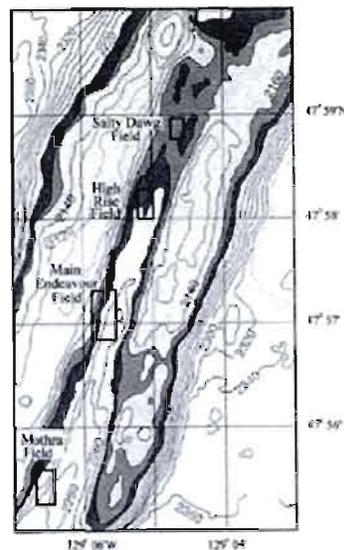


Figure 1.6b

- a) Carte des plaques tectoniques du Pacifique est et dorsale Juan de Fuca;
 b) Carte des quatre champs hydrothermaux de la ZPM Endeavour.
 (Images tirées de Tunnicliffe et Thomson, 1999)

Le site qui intéresse notre étude est la Zone de Protection Marine (ZPM) Endeavour, située à 250km au sud-ouest de l'Île de Vancouver. À l'intérieur des frontières de la ZPM, la pêche et l'extraction minière sont interdites. La pêche d'espèces de poissons chevauchants (les thons et calmars sont connus pour leurs passages dans l'aire) peut encore être pratiquée de façon occasionnelle. Le ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) ne régule normalement pas la pêche dans cette zone, car cette activité n'est pas considérée comme produisant des impacts directement sur les écosystèmes des sources hydrothermales (DFO Canada, 2006). Les extractions minière et d'énergie thermique posent cependant une menace potentielle dans un futur proche pour les sources hydrothermales (Mullineaux *et al.*, 1998).

Pour la gestion des activités scientifiques, le site est divisé en deux zones : au nord (champs hydrothermaux Salty Dawg et High Rise), les activités sont limitées et la protection est meilleure alors qu'au sud (champs Mothra et Main Endeavour), la recherche se poursuit comme de coutume, excepté pour ce qui est des interventions majeures (DFO Canada,

2006). Il y a eu de nombreuses expéditions de recherche aux sources hydrothermales Endeavour depuis que l'aire a été découverte dans les années 1980. Le projet d'observatoire câblé de l'Océan Pacifique *North-East Pacific Time-Series Undersea Networked Experiments* (NEPTUNE) a choisi cette zone pour la mise en place d'un noeud de recherche en 2008. Par ces noeuds interactifs, les scientifiques pourront contrôler et utiliser les instruments d'échantillonnage, les caméras vidéo et les véhicules téléguidés du continent. Ils recueilleront les données provenant tant de la surface de l'océan que de la croûte océanique. L'installation de ces câbles risque peu de perturber l'habitat des organismes hydrothermaux car ces derniers sont posés le plus loin possible de l'influence directe des sources hydrothermales. Cependant, les activités associées à l'utilisation des noeuds pourraient altérer le milieu par la manipulation des instruments, par les lumières qui y sont associées, et surtout, par l'entretien qui devra être fait sur une base régulière afin de s'assurer que tout fonctionne correctement. Le projet NEPTUNE résultera probablement en l'intensification des activités de recherche dans l'aire au cours de la prochaine décennie. C'est pourquoi il faut s'assurer que les activités scientifiques n'ont pas d'impacts majeurs sur les écosystèmes d'Endeavour avant l'intensification de la recherche.

La zone protégée des sources hydrothermales à *Endeavour*, créée en 2003 par le Gouvernement du Canada, fait partie des procédures mises en place afin d'honorer notre engagement au sein de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), entrée en vigueur le 29 décembre 1993. Une zone protégée est en fait «toute zone géographiquement délimitée qui est désignée, ou réglementée, et gérée dans des buts spécifiques de conservation» (Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2001). La CDB est fondée sur l'idée que «la diversité biologique est un atout universel, d'une valeur inestimable pour les générations présentes et futures». Elle vise principalement la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Elle a vu le jour car la perte de la biodiversité due aux activités de l'Homme préoccupait les parties contractantes et parce que ces dernières s'entendaient sur le fait que les États sont responsables de la conservation de leur diversité biologique. Elles étaient toutefois conscientes que le savoir n'est souvent pas adéquat pour assurer cet objectif. Aussi, elles promouvaient une approche préventive en absence ou en cas de manque de connaissances sur la biodiversité et sur son éventuel déclin (PNUE, 2001).

La Zone de Protection Marine des Sources Hydrothermales *Endeavour* est un cas de conservation *in situ* car on cherche à y protéger des écosystèmes et des habitats naturels choisis pour le nombre important de leurs espèces endémiques et pour leur intérêt scientifique. Ces écosystèmes et leurs espèces sont aussi associés à des processus d'évolution (comme la chimiosynthèse) et biologiques (tels que les symbioses) essentiels. Le site possède donc les caractéristiques d'écosystème, habitats, espèces, communautés, génomes et gènes à identifier et à surveiller selon la Convention sur la Diversité Biologique (PNUE, 2001).

Tel qu'énoncé à l'article 22, la CDB doit être appliquée dans le milieu marin de façon conforme aux droits et obligations des États selon la Convention sur le droit de la mer (PNUE, 2001). Voici donc les points importants du Droit de la Mer (Canada, 1993) qui concernent notre étude :

La Convention sur le droit de la mer est fondée sur trois principes. Premièrement, les États ont certains droits souverains à une partie de la mer qui borde leur côte. Cette portion dépend des frontières avec les autres pays, et va du littoral jusqu'au bout de la Zone Économique Exclusive (ZEE) – soit jusqu'à 200 milles de la côte. C'est donc à l'intérieur de la ZEE du Canada que se trouve la ZPM *Endeavour* et c'est la raison pour laquelle elle est sous la juridiction du ministère des Pêches et des Océans du Canada. Deuxièmement, le fond de la mer et les grands fonds océaniques sont partagés en tant que «patrimoine commun de l'humanité». Troisièmement, les États ont l'obligation de préserver les mers et de tenir compte des besoins des autres États (Canada, 1993). Le Canada répondait donc à cette obligation de protection dictée par l'UNCLOS en plus de suivre les recommandations de la CDB lors de la création de la Zone de Protection Marine *Endeavour*.

Selon l'UNCLOS (Canada, 1993) les états doivent surveiller la pollution de l'environnement marin.

(...) Introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin... lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marine, risques pour la santé de l'homme, entrave aux activités maritimes..., *altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément* (c'est nous qui soulignons).

On peut logiquement inclure dans la dégradation des valeurs d'agrément, la dégradation de la valeur esthétique d'un site marin, pouvant être engendrée par l'encombrement dû aux déchets laissés au fond de l'océan. En général, il semblerait toutefois que les États n'exercent qu'une surveillance relativement faible, dans la mesure de leurs moyens pratiques, souvent limités. Ils doivent aussi en principe évaluer scientifiquement les risques et les effets de la pollution marine. Une étude plus poussée sur les risques relatifs aux déchets des navires et de l'échantillonnage pourrait combler cette responsabilité qui paraît d'autant plus importante dans une Zone de Protection Marine.

L'État du pavillon, l'état côtier et l'État portuaire doivent tous «adopter des lois et des règlements visant à prévenir, réduire et contrôler la pollution de l'environnement marin... (qui) ne doivent pas être moins efficaces que les règles et normes internationales généralement acceptées...» (Canada, 1993). Il est probablement ici question des autres traités multilatéraux concernant la pollution marine auxquels un état a adhéré, et des normes qu'il doit respecter en vertu de ces accords. Ainsi, si le Canada est partie de la CDB (ou d'un autre accord international) et que celle-ci a des normes plus strictes que le Droit de la mer en ce qui a trait à la pollution marine, il doit en premier lieu se plier à ses engagements envers la CDB.

L'UNCLOS stipule que, pour prévenir la pollution, les États doivent prendre toutes les mesures nécessaires qui sont compatibles avec la Convention. On peut faire valoir que l'obligation de «prendre toutes les mesures nécessaires» comprend celle d'adopter des règles visant à protéger l'environnement marin avant que la pollution ne survienne. C'est en cela de plus que s'accorde avec le Droit de la mer la création de la ZPM Endeavour, par laquelle un site biologiquement et géologiquement unique est protégé des dommages potentiels autres que ceux causés par la recherche scientifique.

Le fait que les sources hydrothermales d'Endeavour soient protégées par une ZPM en plus des Conventions sur le droit de la mer et sur la Diversité Biologique est positif pour la préservation des espèces de cet écosystème. Toutefois, il est légitime de se demander si ces mesures suffisent à protéger ces milieux uniques, étant donné que les sous-marins

scientifiques y ont encore accès et que différents types d'échantillonnage sont encore pratiqués régulièrement autour des sources.

Les écosystèmes hydrothermaux possèdent des caractéristiques géologiques et biologiques exceptionnelles. Malheureusement, même quand les autres activités d'exploitation sont interdites, les scientifiques, premiers intéressés par la préservation de ces fragiles biotopes car leurs recherches en dépendent, peuvent les altérer. Afin de constater la situation réelle qui prévaut dans le sud de la ZPM Endeavour (portion dans laquelle les activités scientifiques sont moins restreintes), il fallait premièrement étudier la répartition des espèces autour des sources hydrothermales pour les champs hydrothermaux Mothra et Main Endeavour. La fréquence de représentation et l'abondance de chaque assemblage ont donc été analysées avant de déterminer la nature des activités scientifiques qui y sont menées et si elles semblent engendrer des impacts négatifs sur le milieu. Les activités et les impacts potentiels des sous-marins ROPOS, représentant des ROV et du sous-marin habité Alvin ont alors été comparés dans le but de savoir si un type spécifique de sous-marin risque d'engendrer certains impacts particuliers, et suite à quelles activités cela se produit-il. Enfin, une brève réflexion sur d'autres impacts environnementaux que ceux causés directement par l'échantillonnage scientifique a été faite afin d'avoir une idée des réussites et des limites de la gouvernance actuelle de la ZPM, gérée par Pêches et Océans Canada et devant respecter les normes de la Convention sur le Droit de la mer et de celle sur la Diversité Marine. Dans la section suivante, notre méthodologie de recherche pour répondre à chaque objectif sera détaillée.

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

En plus de résumer l'état des connaissances actuelles sur les habitats hydrothermaux dans la Zone de Protection Marine Endeavour, cette étude vise à identifier les assemblages présents dans certains sites de cette zone et à documenter les perturbations de l'habitat hydrothermal causées par la recherche scientifique en sous-marins. Pour répondre à ces objectifs, certaines questions ont été mises de l'avant. Dans des études plus approfondies, ces questions pourraient être posées comme des hypothèses qu'une méthodologie rigoureuse permettrait de développer tel qu'il se doit (comme dans un cadre expérimental où l'on testerait véritablement les paramètres étudiés). Voici donc les questions qui ont été posées dans le cadre de notre étude :

- Quelle est la répartition spatiale des différents habitats et communautés hydrothermaux aux champs Main Endeavour et Mothra?
- Quelles activités scientifiques laissent le plus d'impacts visibles dans ces zones?
- Certaines activités laissent-elles plus d'impacts sur un type particulier d'habitat ou d'assemblage faunique?
- Est-ce que certains assemblages se retrouvent plus souvent dans certains types d'habitats?
- Comment se comparent les perturbations causées par les deux types de sous-marins (téléguidé versus habité)?

- Comment les participants aux missions scientifiques en milieu hydrothermal (tant les scientifiques que l'équipe du sous-marin) perçoivent-ils les activités qu'ils mènent lors des plongées et que considèrent-ils lorsqu'ils planifient une plongée?
- Quels sont les corridors de déplacement des sous-marins et les sites les plus visités dans ces deux champs hydrothermaux?

Afin de répondre à ces questions de recherche, plusieurs étapes ont dû être réalisées : il y a d'abord eu de la recherche documentaire dont l'essentiel a été résumé dans le Chapitre 1 du mémoire, un recensement des habitats et assemblages hydrothermaux des champs Mothra et Main Endeavour, un budget-temps des activités qui peuvent se dérouler dans une mission scientifique en mer et une analyse préliminaire de l'impact potentiel de ces activités sur les assemblages biologiques. Cette dernière étape s'est divisée en trois parties : le visionnement de bandes vidéos, l'analyse de questionnaires passés aux scientifiques et la production de cartes représentant les corridors de déplacement des sous-marins.

2.1 Méthode de travail

Des articles scientifiques et rapports universitaires, des papiers officiels sur les aires de protection marine et, surtout, des bandes vidéo et des photographies des missions NeMO 2006 et Atlantis-Alvin 2004 représentent les différents types de documents qui ont été consultés. Les bandes vidéo constituent la principale source d'informations sur les perturbations associées aux différents types d'activités scientifiques. Le visionnement de vidéos a été privilégié au détriment de l'échantillonnage biologique, comme méthode de collecte de données, car il n'est pas invasif (Sarrazin et Juniper, 1999). Des fichiers de données sur la navigation des sous-marins ont permis de créer des cartes représentant l'itinéraire des submersibles lors de quelques missions. Un questionnaire a été créé avant de participer à la mission NeMO 2006, il a été distribué sur le navire et les résultats ont été compilés au retour de la mission.

2.1.1 Création de cartes verticales

Pour la création de cartes verticales visant l'identification de la répartition des assemblages sur les édifices hydrothermaux, nous nous sommes inspirés des méthodes de cartographie de Delaney *et al.* (1992); Sarrazin *et al.* (1997) et Sarrazin et Juniper (1998). Cette étape étant longue et ne constituant pas l'unique but de notre projet, nous nous sommes limités à l'analyse des assemblages observés lors de la mission NeMO 2006 (à laquelle nous avons participé) et au visionnement des plongées de cette mission qui se sont déroulées dans la ZPM. Les plongées 1008 et 1009 sont donc celles qui correspondaient respectivement à de la recherche au champ Mothra et au champ Main Endeavour.

Des cartes des cheminées et des structures de flux diffus dessinées à la main ont été produites lors du visionnement des bandes vidéos, en indiquant lorsque possible les assemblages dominants à l'aide des logs et des photos pris par le sous-marin ROPOS. La paire de pointeurs laser (espacés de 10cm) a été utile pour déterminer l'échelle des images. L'information concernant le cap du véhicule était superposée à l'image vidéo. Elle a servi à s'orienter en reconstituant les édifices. La hauteur des différentes structures a été estimée en prenant pour repère le temps donné par les bandes vidéos à des moments où le sous-marin était près du sommet des édifices : en allant chercher le même temps dans les logs et bases de données de navigation, l'altitude du véhicule devint accessible.

Il a fallu regrouper certaines catégories d'assemblages pour réaliser les cartes car il était difficile, à partir des enregistrements vidéo souvent mal éclairés, d'en distinguer quelques-uns qui étaient trop similaires à d'autres. Dans les cartes des structures, les assemblage I, III-IV, V LF, V HF, VI et VII ont été identifiés. L'assemblage II, assez rare (Sarrazin *et al.*, 1997), n'a pas été remarqué.

Après avoir complété à la main les esquisses des édifices pour chacun des sites, ces dernières ont été numérisées par balayage («scannées») et importées en fichiers Adobe Illustrator. Les structures y ont été redessinées en calque, une échelle a été établie et une grille d'un mètre par un mètre a été apposée sur chaque structure afin de permettre la

quantification de la surface couverte par chaque assemblage et la surface affectée par les activités scientifiques.

2.1.2 Création d'un fichier d'«activités et impacts»

Le temps alloué à chaque activité scientifique a été calculé lors du visionnement des vidéos. Il a été compilé dans un logiciel tableur (Excel) pour établir un budget-temps (sensu Zuzanek 1980). Un budget-temps est en fait une méthode de mesure de la durée et de la séquence des activités engagées par un individu (ici, par un sous-marin) pendant une certaine période de temps. L'information pertinente provenant des bandes vidéo a été classifiée en huit colonnes : le temps UTC; le site; l'habitat; l'activité; l'impact; l'assemblage; la surface couverte par l'impact; et s'il y a eu accident ou non. La colonne «habitat» indique l'endroit où l'on se trouve sur la structure : les parois, un surplomb, la base ou le sommet de l'édifice (typologie inspirée de Sarrazin *et al.*, 1999).

2.1.3 Impacts potentiels sur les sources hydrothermales

Le rapport d'InterRidge (Dando et Juniper, 2001) fait ressortir les impacts potentiels suivants: saisie de cheminées ou roches; manipulations environnementales; récolte de faune; transplantation de faune; installation d'instruments; observations et atterrissage et propulsion du sous-marin. À notre connaissance, il n'y a pas eu de transplantation de faune tentée dans les plongées des deux missions analysées. Nous avons aussi reformulé ces différents éléments afin de distinguer les activités des impacts. Les activités scientifiques observées ont donc été classées en neuf catégories: échantillonnage de flux, échantillonnage biologique avec les pinces, mouvements du sous-marin à une altitude supérieure à 5m du fond, mouvements au fond (moins de 5m), installation/récupération d'instruments, attente au fond, succion, tentative de stabilisation dans la colonne d'eau et échantillonnage géologique avec les pinces (tabl. 2.1). Le rapport d'InterRidge identifiait aussi des effets biologiques de second ordre: diminution des populations, extinction locale d'espèces, changements dans la structure des communautés et introduction d'espèces exotiques (Dando et Juniper, 2001). Dans les cas qui nous intéressent, nous n'avons pu identifier quelles seraient les conséquences (ou : effets biologiques de second ordre) des impacts engendrés par les

différentes activités. Nous nous en sommes donc tenus à l'inventaire des impacts visibles (ou : traces) des perturbations scientifiques sur le milieu. Les cinq types de traces laissées par des impacts sont : briser une cheminée, toucher une cheminée, déloger ou prendre des organismes, remettre en suspension des sédiments et aucun effet (tabl. 2.1). Extraire des organismes (par exemple, par succion) a été placé dans la même catégorie que de déloger ou prendre des organismes : comme la plupart de ces organismes sont sessiles, ils meurent s'ils sont déplacés, que cela implique de l'échantillonnage ou non.

Tableau 2.1

Légende servant à la classification des habitats, activités et impacts visionnés sur les vidéos

Légende			
habitat	activité	impact	
1 parois	1 éch. de fluide	1 casser une cheminée	
2 surplombs	2 éch. biologique (pinces)	2 toucher une cheminée	
3 base	3 déplacement hauteur	3 déloger ou prendre des organismes	
4 sommet	4 déplacement fond	4 remise en suspension de sédiments	
	5 installation/désinstallation d'outils	5 aucun effet	
	6 Ropos déposé en attente		
	7 succion		
	8 sur place dans colonne d'eau		
	9 éch. géologique (pinces)		
accident	oui = 1	non = 0	

2.1.4 Création d'un questionnaire, compilation des données et analyse des résultats obtenus

Un questionnaire a été remis à tous les participants à la mission NeMO 2006, afin d'obtenir de plus amples informations sur leur perception de leurs activités et des impacts qu'elles peuvent engendrer. Il a été distribué à l'ensemble de l'équipe scientifique composant la mission, incluant les pilotes du sous-marin, qui ont des interactions directes avec les chercheurs, mais excluant l'équipage du navire comme tel. Ce questionnaire visait également à saisir la façon dont les participants percevaient le milieu hydrothermal et les différents points qu'ils considéraient lorsqu'ils planifient leurs plongées. Dix-neuf des vingt-six participants ciblés ont répondu au questionnaire. Voici le questionnaire qui leur a été distribué.

For the scientists and for the ROPOS team:

The following questionnaire is meant to serve my Master's project, which is on managing scientific research activities at hydrothermal vent sites. This questionnaire will help me analyse how activities on the ship and with the submersible are planned and executed. The final goal of this work will be to determine how different members of a typical shipboard party interact to originate and manage activities that can have a potential impact on faunal populations at vents, or on the aesthetic and scientific value of vent sites.

You are assured that no names will be cited and that the information that you are providing with this document will be kept confidential and entirely anonymous. If you wish, I can provide you with copy of my final thesis, which I will send you if you contact me at the following internet address: rafalda@hotmail.com.

The same questions will be asked of other scientists involved in similar cruises and if possible other ship and submersible crew members.

Thank you very much for your collaboration.

Raphaëlle Dancette

1. Profession:

1. Scientist:

- a. Student _____
 b. Professor/Project leader _____

2. ROPOS crew:

- a. Navigation _____
 b. Pilot or manipulator operator _____

2. Number of years at this post or of study: _____

3. Sampling method most utilized:

- a. Cores _____
 b. Suction _____
 c. Biological _____
 d. Images (pictures and videos) _____
 e. Geological grabs _____
 f. Biological grabs _____
 g. Fluid sampler _____
 h. Other _____

4. When you plan a dive, do you consider the possible impacts that your activities could engender? (Answer by: a) always, b) often, c) sometimes, d) never)

a. On the species or populations? _____

b. On the scientific value of the area targeted (ie. if it could interfere with other scientific studies or activities)?

c. On the aesthetic and educational value of the area targeted (ie. if it could alter the seascape in a way that it would lose some of the public interest)?

5. How would you rate the extent of the possible impacts of the following activities?
(Answer by: a) no importance; b) minor; c) important; d) major)

- | | | |
|----|----------------------------|-------|
| a. | Sampling | _____ |
| b. | Lighting | _____ |
| c. | Noise | _____ |
| d. | Transit between work sites | _____ |
| e. | Instrument deployment | _____ |
| f. | Instrument recovery | _____ |

6. Do you plan using more or less instrumentation in the next 5 to 10 years (Scientists only)?

More____ Less____

7. Do you plan sampling more or less in the next 5 to 10 years (Scientists only)?

More____ Less____

8. Do you think that the number of dives that you are doing per year will increase or diminish in the next 5 to 10 years (Scientists only)?

Increase____ Decrease____

9. Do you consider that your attitude towards the environmental impact of research vessels, submersibles and scientific activities in the seafloor has changed?

Yes____ No____

If yes, since how long? _____
And how (facultative)? _____

10. Are you aware of the protected status of the Endeavour hydrothermal vents?

Yes____ No____

11. Do you know if there are any other protected vent sites in the Pacific Ocean?

Yes____ No____

Ce questionnaire était entièrement anonyme. Les résultats ont été compilés dans un logiciel tableur et les calculs sont restés très simples : il s'agissait généralement de dénombrement et de moyennes.

2.1.5 Création de cartes horizontales

Les données de navigation compilées dans le Système d'Informations Géographiques (SIG) peuvent être utilisées pour identifier les corridors de déplacement et les sites de travail dans les différents champs hydrothermaux. Les Systèmes d'Informations Géographiques permettent de géoréférencer, de superposer différentes couches d'informations, d'associer certaines parties de cartes à des dossiers descriptifs et de produire des cartes thématiques (Côté, 1996).

Une carte des principales structures d'édifices avait déjà été créée pour le champ hydrothermal Main Endeavour (carte de Robigou, dans Sarrazin *et al.*, 1997). Nous l'avons donc utilisée afin de former une carte hybride représentant les structures, mais sur la bathymétrie du champ, qui avait été préalablement prise par le véhicule sous-marin autonome ABE (pour : Autonomous Benthic Explorer) par un système de faisceaux multiples. Malheureusement, l'équivalent de la carte Robigou n'a pas été trouvé pour le champ Mothra. C'est donc directement sur la carte bathymétrique que les trajectoires ont été intégrées, sans indice supplémentaire afin d'évaluer si les trajets des vidéos et des cartes concordent (ce qui est plus facile à évaluer si le sous-marin se trouve proche des cheminées). Pour Mothra, les informations bathymétriques provenaient de la mission de recherche SeaBreeze 2004, s'étant déroulée du 14 juin au 13 juillet 2004, sur le navire Atlantis. Pour MEF, les données bathymétriques provenaient de la mission de recherche VISIONS 2005, ayant eu cours du 1er septembre au 4 octobre 2005, sur le navire Thompson. Par-dessus ces couches de fond, nous avons ensuite ajouté différentes couches ARCMAP, en fonction des résultats que l'on souhaitait obtenir. Les couches ARCMAP illustrent les trajectoires de différents sous-marins (les ROV ROPOS et Jason 2) lors de différentes missions (respectivement celle de NeMO 2006 et de Visions 2005) et plongées choisies en fonction de ce qu'elles se déroulaient à l'intérieur des deux champs hydrothermaux qui nous intéressent. Les trajectoires de la mission NeMO 2006 ont bien sûr été illustrées, mais aussi des trajectoires d'autres missions et plongées s'étant déroulées à Mothra et à Main Endeavour. Les données numériques de navigation (coordonnées géographiques, altitude, heure et cap) proviennent de fichiers produits pendant les missions par les équipes des sous-marins. Ce sont ces données numériques des trajectoires qui ont par

la suite été transférées dans le logiciel ARCGIS avant d'être apposées sur les cartes bathymétriques produites. Outre les données de la mission NeMO 2006 (copie de Raphaëlle Dancette), les autres données étudiées furent celles qui étaient disponibles à l'Université de Washington, courtoisie de Madame Debra Kelley, Chef de mission.

2.1.6 Observation directe à bord

L'observation des équipes de scientifiques et du submersible et l'examen de leurs échanges sur le navire peuvent fournir beaucoup d'informations sur les interactions et attitudes menant à des perturbations du plancher océanique. Cette étape a été réalisée par la simple assistance au déroulement des deux plongées de la Zone de Protection Marine Endeavour (1008 et 1009) dans le laboratoire principal, où les scientifiques donnent leurs directives aux pilotes et où ces derniers commandent le sous-marin et procèdent aux activités scientifiques demandées. Leurs interactions lors des différentes activités ont été observées. Les données relatives à cette partie du travail sont qualitatives et se présentent sous forme de notes regroupées dans un cahier de bord qui a servi tout au long de l'élaboration et du déroulement de la recherche. Ces informations sont en relation directe avec celles dont le questionnaire était l'objet. Alors que le questionnaire visait à recueillir les attitudes (dispositions) des scientifiques et des pilotes du sous-marin, les observations directes ont permis de constater leurs comportements (conduites). Elles concernent des gens dont le comportement était pertinent pour l'étude.

2.2 Destination parallèle du mémoire

Ce mémoire se fonde sur un rapport (Dancette et Juniper) remis en mars 2007 au Ministère des Pêches et des Océans (MPO) du Canada, qui se voulait une aide pour que le Canada respecte ses obligations vis-à-vis de la Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer (UNCLOS) et de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) par une évaluation préliminaire des impacts potentiels de la recherche dans la Zone de Protection Marine Endeavour. On y retrouve une identification des communautés biologiques hydrothermales associées à certains sites sous la juridiction du MPO dans la ZPM Endeavour. Les résultats concernant les activités scientifiques effectuées autour des sources

hydrothermales et les cartes des déplacements des sous-marins dans cette zone y ont aussi été intégrés. Le rapport visait ultimement à aider la planification des activités scientifiques afin de minimiser les impacts sur la biodiversité hydrothermale. Ces engagements étaient d'ailleurs soulignés dans le rapport d'InterRidge sur la gestion et la protection des écosystèmes hydrothermaux (Dando et Juniper, 2001). La présente étude contribue donc à améliorer notre connaissance de la nature et de la taille des populations des sources hydrothermales d'Endeavour, ce qui, ajouté à l'information sur la dynamique et la génétique des populations, pourrait aider à définir des niveaux acceptables de récolte d'organismes vivants et à la délimitation des aires d'études scientifiques. Il serait profitable que la méthodologie et les résultats de cette étude soient communiqués aux autres organismes gestionnaires de sources hydrothermales, ailleurs dans le monde, afin que les informations circulent et que partout, on mette en place des mesures de conservation de la biodiversité hydrothermale plus adéquates. Un tel partage d'informations répondrait d'ailleurs à l'objectif c) de l'article 14 de la CDB (PNUE, 2001), concernant l'échange des renseignements sur la diversité biologique et sur les activités susceptibles de nuire sensiblement à la diversité biologique.

Dans le prochain chapitre, les résultats des différentes étapes expliquées ci-haut seront présentés et discutés. Il sera ainsi possible de constater en quoi la méthodologie a pu répondre aux objectifs de l'étude, c'est à dire : repérer les assemblages fauniques présents autour des sources hydrothermales des champs Main Endeavour et Mothra et identifier quelles activités scientifiques sont potentiellement à l'origine de perturbations pour ces organismes et leur habitat. Tel que mentionné plus tôt, la plupart de ces résultats a été préalablement transmise au Ministère des Pêches et des Océans du Canada (Dancette et Juniper, 2007) afin de lui fournir de plus amples informations sur la ZPM Endeavour qu'il gère et sur les activités de recherche qui s'y déroulent.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans cette section, l'identification des assemblages de la ZPM Endeavour et la documentation des perturbations potentiellement engendrées par la recherche scientifique sont davantage élaborées. Les résultats liés au premier grand objectif ont été trouvés grâce à l'analyse de cartes verticales, un outil très efficace, quoique long à produire. Les résultats du deuxième grand objectif découlent d'une part de l'analyse de vidéos et d'autre part de l'analyse de cartes horizontales produites à l'aide du programme ArcMap. Plusieurs informations ont pu être tirées des vidéos, mais malheureusement, les cartes horizontales se sont avérées invalides, car trop d'éléments entrant dans leur confection n'ont pu être contrôlés.

Voici donc les aboutissements de notre recherche à propos de la répartition des assemblages fauniques; de la relation entre l'habitat et les assemblages observés par lien visuel; des activités scientifiques effectuées lors de recherches en milieu hydrothermal; des impacts potentiels de ces dernières; des impacts comparés des sous-marins habité versus téléguidé; des assemblages les plus touchés par ces activités; de la perception des différents acteurs d'une mission quand aux impacts qu'ils peuvent engendrer et quant à l'importance du milieu qu'ils étudient; des corridors les plus empruntés dans la ZPM et des sites les plus

visités; et enfin, d'autres considérations environnementales liées à la recherche autour des sources hydrothermales et qui ont attiré notre attention lors de la mission NeMO 2006.

3.1 Répartition des assemblages fauniques

L'analyse de la biodiversité à travers l'examen de la structure des assemblages a été faite pour les plongées 1008, pour le champ hydrothermal Mothra et 1009, pour le champ Main Endeavour. Elle est partielle pour chaque site car habituellement, seule une portion des cheminées était visitée pour les fins de la mission. Les résultats pour chaque cheminée se rapportent donc à la face observée plutôt qu'à l'ensemble de l'édifice, mais lorsqu'on les considère pour l'ensemble d'un champ hydrothermal, ils donnent une idée de la proportion de l'espace occupée par chaque assemblage. Pour le champ hydrothermal Mothra, deux cheminées ont été visitées alors que pour le champ Main Endeavour, cinq édifices ont été étudiés.

L'analyse de la biodiversité sur les cartes verticales indique que l'assemblage V à flux intense est peu représenté, lorsque non absent, sur presque toutes les structures des deux champs hydrothermaux. Il couvre moins de 2% de l'aire totale colonisée (fig. 3.1a et b), excepté au site du RAS 2005 (fig. 3.4). En cette zone, il colonise jusqu'à 24% de la surface cartographiée de l'édifice, profitant probablement des nombreuses sources diffuses et fumeurs noirs présents dans ce site très actif.

L'assemblage I, qui colonise des portions de cheminées en croissance, n'occupe que de petites portions de toutes les structures vues.

Les assemblages VII, V à flux faible et III-IV sont les communautés les plus observées, tant à Mothra qu'à Main Endeavour Field (MEF). L'assemblage VII est dominant presque partout, suivi en importance par l'assemblage III-IV à Mothra et V LF à MEF.

On peut voir dans les figures 3.1a et b la répartition des différents assemblages, illustrée dans des graphiques en pointe de tarte. On y remarque l'abondance des assemblages VII et III-IV dans les deux champs hydrothermaux, et la rareté des assemblages I et V Low-flow.

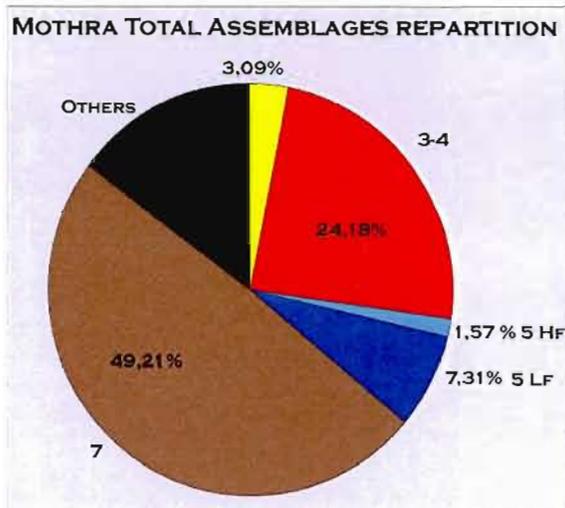


Figure 3.1a

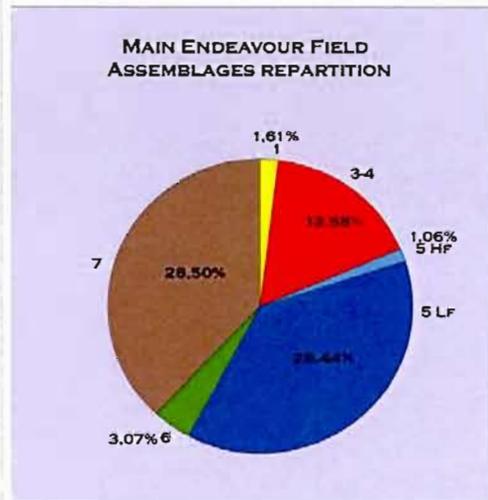


Figure 3.1b

Graphiques en pointe de tarte représentant la surface couverte par les différents assemblages biologiques (images tirées de Dancette et Juniper 2007)

- a) au champ hydrothermal Mothra
- b) au champ hydrothermal Main Endeavour

Voici également un aperçu d'une carte verticale, suite au transfert d'un croquis fait à la main dans le logiciel Illustrator. Celle-ci représente la cheminée Hulk, sur sa face sud-ouest. Toutes les structures visitées ont suivi le même type de traitement d'image. Les différents assemblages sont représentés par différentes couleurs, les fumeurs noirs par des flammes et les sources diffuses par des nuages. C'est à partir d'images comme celle-ci que la surface couverte par chaque assemblage a pu être évaluée. Les cartes des autres sites visités sont disponibles à l'Appendice A. Sur cette structure en particulier (fig. 3.2), on remarque l'abondance des assemblages V Low-flow et III-IV, la très faible surface couverte par l'assemblage I et l'absence potentielle d'assemblage V High-flow.

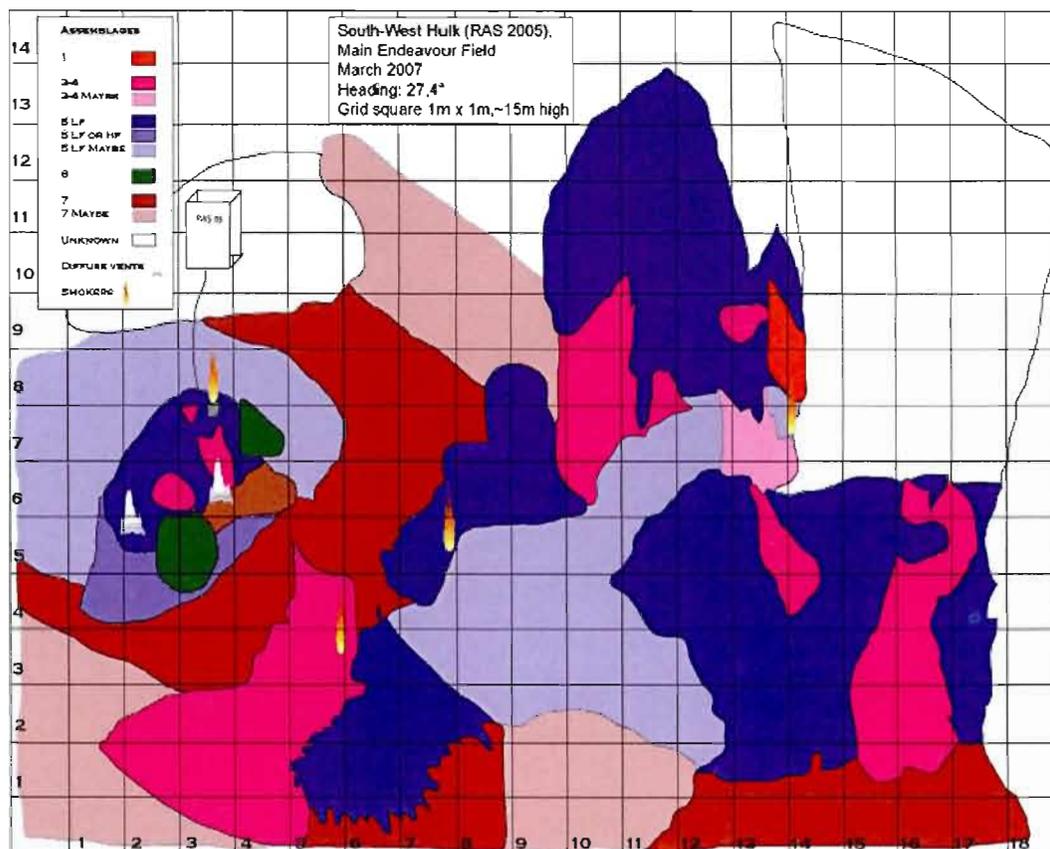


Figure 3.2 Carte verticale de la cheminée Hulk (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

Les pourcentages de couverture de chaque assemblage pour chaque cheminée ont été calculés, mais moins d'importance leur est accordée ici car souvent, seule une face de ces cheminées a été visitée lors de la mission (d'où l'importance d'indiquer le cap et de reconnaître la forme des structures), et les résultats se rapportent donc uniquement à la face observée plutôt qu'à l'ensemble de l'édifice. Cependant, si des études à venir souhaitaient effectuer le suivi des communautés hydrothermales pour les faces des cheminées ainsi analysées, ces résultats pourraient être un bon point de repère pour l'été 2006 (fig. 3.3 et 3.4). Voici donc les graphiques de la répartition des assemblages pour les différentes cheminées visitées lors de la mission NeMO 2006, pour les deux champs hydrothermaux étudiés. Pour Mothra, seules deux cheminées ont été visitées : Notre-Dame et Hot Harold. On y remarque que l'assemblage I n'est pas si rare à Notre-Dame, mais il l'est à Hot Harold. De plus, l'assemblage V High-flow est peu représenté sur les deux structures.

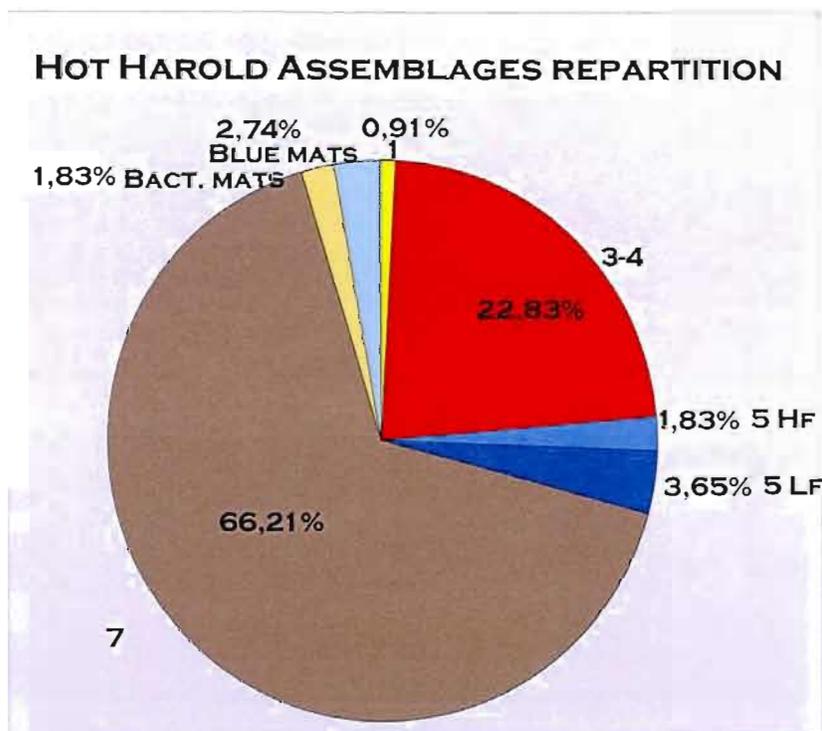
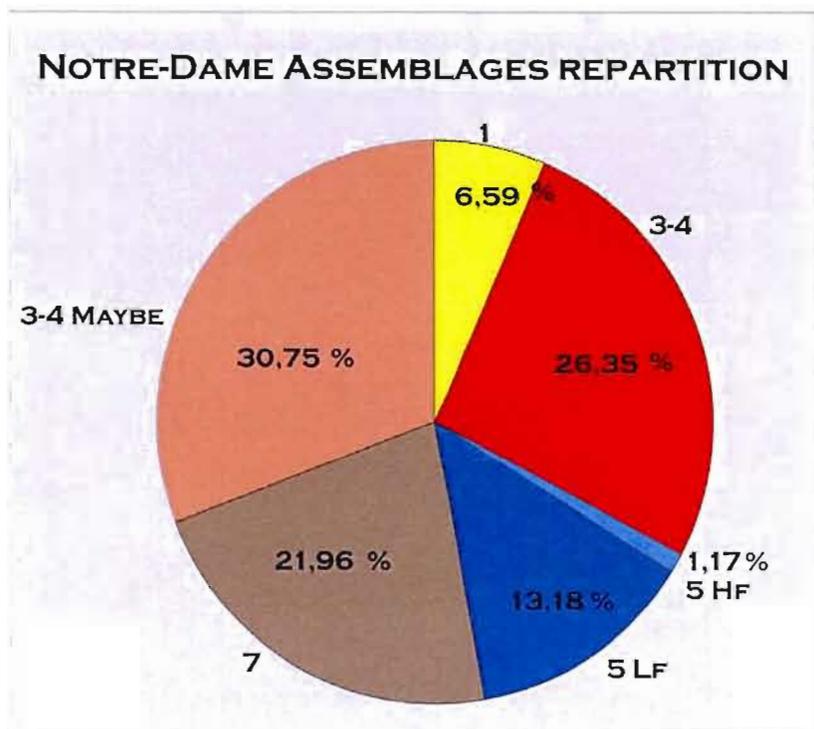


Figure 3.3 Surfaces couvertes par chaque assemblage hydrothermal en fonction du site, à Mothra (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

À Main Endeavour, plusieurs cheminées et sources ont été visitées. Voici les résultats obtenus pour les sites auxquels le sous-marin s'est plus longuement attardé (fig. 3.4). On remarque que l'assemblage V High-flow est assez abondant au site du RAS 2005, contrairement à sa très faible représentativité sur les autres structures, lorsqu'il n'est pas totalement absent. Les assemblages V Low-flow et VII sont quant à eux abondants sur toutes les structures.

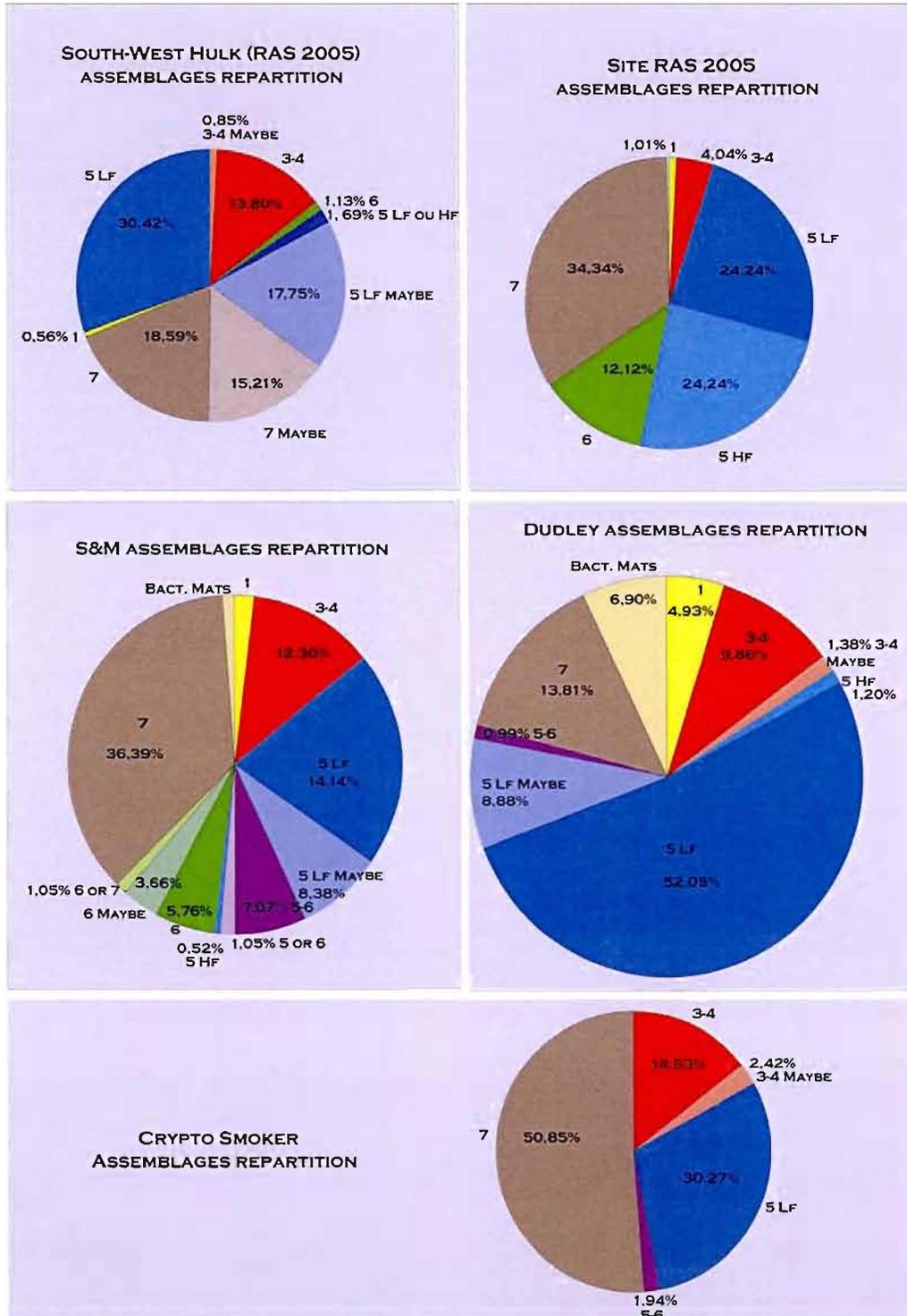


Figure 3.4 Surfaces couvertes par chaque assemblage hydrothermal en fonction du site, au champ Main Endeavour (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

Les tendances rapportées ci-dessus proviennent de l'analyse de cartes produites à partir des édifices sulfureux des champs hydrothermaux Mothra et Main Endeavour, dont la surface verticale a été cartographiée. Ces tendances ne sont pas généralisables à tous les édifices présents dans les deux champs hydrothermaux.

3.2 Corrélation habitat-assemblage faunique

Parmi les structures étudiées, la plupart des cheminées présentaient des fumeurs noirs à leurs sommets (Hot Harold, Notre-Dame, Hulk, Crypto, Dudley et Smoke and Mirror) bien que leurs hauteurs varient considérablement – soit entre 10 mètres (Crypto) et 25 mètres (Smoke and Mirror). Quelques-unes de structures montraient également des sources diffuses à leur base (Hulk, Dudley). Le site du RAS 2005, très bas (4 mètres de hauteur maximale), présentait surtout des sources diffuses, mais aussi des fumeurs noirs, sans nécessairement que ces derniers se trouvent plus haut que les sources diffuses. L'évaluation visuelle de la relation pouvant exister entre l'habitat (parois, surplombs, base ou sommet de l'édifice) et les assemblages présents a donné les résultats compilés dans le tableau 3.1. On y voit que la base des édifices hydrothermaux visités lors des plongées 1008 et 1009 était toujours (7 structures sur 7) couverte par l'assemblage VII, représentant le dernier stade de succession faunique selon notre classification. Aussi, les sommets de 5 structures sur 7 étaient couverts par l'assemblage I, représentant le premier stade de colonisation des sites hydrothermaux dans la littérature. D'autres assemblages se retrouvaient aux sommets des structures, mais généralement plus en périphérie des fumeurs, comparativement à l'assemblage I qui était situé directement vis-à-vis de la sortie de flux des fumeurs noirs. L'assemblage I n'était pas nécessairement situé près des sources diffuses. Cependant, bien que l'assemblage V High-flow ait été peu représenté, il se trouvait souvent vis-à-vis de sources diffuses, quand ce n'était pas très près de fumeurs noirs. Ceci pourrait s'expliquer par l'évolution temporelle d'une portion de cheminée aux caractéristiques physiques intenses en termes de température et de composition de flux : si ces dernières sont restées intenses ou si elles se sont intensifiées au fil du temps, le cycle de succession a dû passer directement de l'assemblage IV à l'assemblage V High flow. Les parois et surplombs (lorsque présents) présentaient

principalement les mêmes assemblages : III-IV et V Low-flow, caractéristiques de conditions physiques plus accessibles pour un spectre faunique plus large.

Tableau 3.1
Habitats et assemblages aperçus lors de la mission NeMO 2006, ZPM Endeavour

<i>Structure Habitat</i>	Notre-Dame	Hot Harold	SW Hulk (RAS 05)	Autre côté site RAS 05	S & M	Dudley	Crypto
1 (parois)	3-4, 5 lf	7, 3-4	5 lf, 3-4	5lf	5lf, 6, 3-4	3-4, 5lf	5 lf, 3-4
2 (surplombs)	-	-	5 lf, 3-4	-	5lf, 3-4	1, 3-4	3-4
3 (base)	7	7, 5lf, 3-4	7	7, 5lf, 6	7	7	7
4 (sommet)	1, 5lf	1	1, 5lf	5 Hf	1, 5lf, 5 Hf, 3-4	5lf, 1	3-4, 5lf

3.3 La logistique des missions

Peu importe que le sous-marin soit habité ou téléguidé, la séquence d'activités d'une mission scientifique en milieu hydrothermal suit habituellement le cours suivant : descente au fond (comme dans le cas de la ZPM Endeavour, les sources sont en moyenne à 2500 mètres de profondeur, la descente dure généralement deux heures); déplacements et échantillonnages (variant selon les objectifs de la mission et selon l'autonomie du sous-marin – limitée dans le cas des sous-marins habités) et remontée (qui prend une heure et demie - deux heures en moyenne). Ainsi, lors de la plongée 1008 effectuée avec le ROPOS au champ hydrothermal Mothra, le temps de déplacements et d'échantillonnage au fond de l'eau fut d'environ quatre heures. On y a récupéré un RAS (Remote Access Sampler), on y a échantillonné du flux très chaud à cinq reprises et on y a fait de l'échantillonnage par succion. Les opérations se déroulèrent relativement bien et rapidement. Parfois, les échantillonnages par succion peuvent ne prendre qu'une dizaine de minutes, mais il arrive aussi que l'on s'y reprenne plusieurs fois avant d'obtenir des échantillons satisfaisants pour le requérant, ce qui peut être long. De plus, on peut décider de changer de site d'échantillonnage si le site prévu ne convient plus. Le temps d'échantillonnage de flux chaud peut aussi varier grandement. On peut par exemple vouloir recenser les températures sur une certaine période (parfois une heure et plus). Le temps de déplacement fut d'environ douze heures et demie pour la plongée 1009 dans le champ Main Endeavour, toujours avec le ROPOS. Pour cette plongée, il y eut de très longs déplacements avec le RAS 2006, des échantillons de flux très chaud ont été recueillis pour y faire des analyses chimiques et

microbiennes et nous avons tenté de remonter au bateau une trappe à sédiments qui était restée au fond de l'eau depuis trois ans. Aussi, la plongée fut longue car on s'est attardé à l'observation de structures géologiques intéressantes, des échantillonnages demandant plus de manipulation d'outils ont été effectués (comme la pose et la désinstallation d'un outil permettant de mesurer la température moyenne d'un site où il y a quelques sources diffuses) et il y a aussi eu des échantillons de température sur de longues durées.

3.4 Activités scientifiques et impacts : observations de la mission NeMO 2006

Au total, nous avons recensé 36 activités (selon notre classification) du ROPOS à Mothra et 73 activités à Main Endeavour. Sur ce total, 20 ont créé des impacts à Mothra et 24 ont créé des impacts à MEF (tabl. 3.2). Cela revient donc à dire qu'environ 55% des activités scientifiques ont causé des dommages (d'intensité, d'étendue et de durée variables) à Mothra alors que ce ratio descend à 33% environ à Main Endeavour. La plongée 1009, à Main Endeavour, comprenait un volet exploratoire (recherche de nouvelles cheminées, sans échantillonnage) alors que la plongée 1008, à Mothra, n'en comprenait pas. C'est peut-être une raison pour laquelle il y a eu beaucoup d'activités, mais avec une proportion moindre d'impacts à MEF. Voici une brève analyse des activités qui ont visiblement perturbé le milieu hydrothermal.

L'échantillonnage de flux (activité causant 3 fois le bris d'une partie de cheminée sur 5 événements au total ayant mené à cet impact) et l'échantillonnage géologique (causant le même impact 2 fois sur 5 événements totaux de la même importance) sont les activités qui eurent les plus graves conséquences visibles immédiatement, en fonction de notre classification, à Main Endeavour. L'échantillonnage de flux, de par la manière dont il se pratique, est en effet une manoeuvre risquée pour l'habitat hydrothermal : le long tube qui est inséré dans l'orifice hydrothermal est difficile à manipuler avec les bras du sous-marin, sans compter que la cheminée est souvent particulièrement friable à la sortie du flux (souvent, de longues et fines excroissances, juste assez larges pour que le tube puisse y être inséré). À Mothra, ce sont les transits par le sous-marin au fond de la mer (3 fois la cause de bris sur 6 événements de la même ampleur), l'attente dans la colonne d'eau (2 fois sur 6) et l'échantillonnage de flux (1 fois sur 6) qui ont produit les impacts les plus importants.

L'attente du sous-marin en position stationnaire est l'activité qui paraissait la moins en contrôle, lors du visionnement des vidéos, et celle pendant laquelle le plus de perturbations accidentelles sont survenues. Toutes les informations concernant les activités d'un même champ hydrothermal ont été réunies afin d'obtenir un portrait plus global des impacts engendrés (de la resuspension de sédiments au bris d'une cheminée). Il n'y avait pas suffisamment de données pour analyser individuellement chaque site (source), chaque activité, ou chaque impact. Tel qu'illustré dans les graphiques en pointes de tarte suivants, l'échantillonnage de flux et les transits ont causé le plus de perturbations visibles, tant à Main Endeavour qu'à Mothra, bien que l'échantillonnage de flux soit la première cause d'impacts totaux à MEF alors que ce sont les transits qui causent le plus de dommages visibles à Mothra (fig. 3.5) . Il faut cependant noter que la source de nos observations, la mission NeMO 2006, était menée par des géologues, qui échantillonnent plus le flux et la géologie que ne le feraient des biologistes. En effet, il n'y a pas eu d'échantillonnage biologique avec les pinces du sous-marin, et le peu d'échantillonnage par succion visait la microfaune. La raison pour laquelle il y a impact du ROPOS lorsqu'il se trouve au fond est que de reposer sur le plancher océanique, ce qui est souvent nécessaire pour l'échantillonnage, endommage la surface sur laquelle il se trouve. Il est donc important d'installer le sous-marin sur une surface présentant le moins d'organismes possible, ce qui n'est pas toujours pratique pour les activités scientifiques.

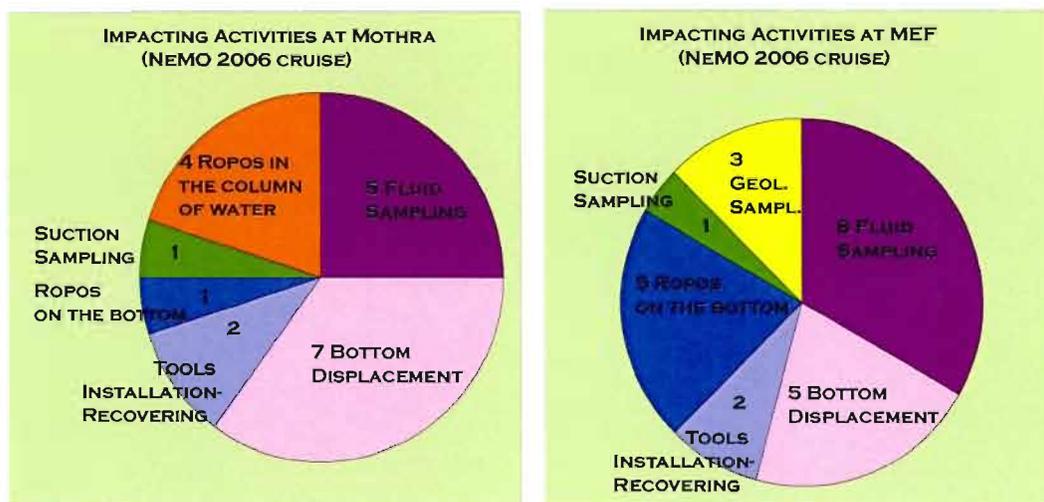


Figure 3.5 Activités ayant créé des impacts lors de la mission NeMO 2006, dans la ZPM Endeavour (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

Les activités scientifiques ont créé des impacts majoritairement sur les assemblages III-IV à Mothra (8 occurrences sur 14 assemblages touchés sur une surface mesurable). Ceci n'est pas surprenant, étant donné que l'assemblage III-IV dominait ce site si on ne compte pas l'assemblage VII. À MEF, c'est l'assemblage I qui a été le plus touché par les activités (5 occurrences sur 9 au total). Bien que cet assemblage ait été assez rare, comme la plongée étudiée comportait beaucoup d'échantillonnage de flux et d'échantillonnage géologique et que ces activités se déroulent souvent au sommet des cheminées, il est normal que l'assemblage I, dominant dans ces habitats, ait été plus souvent impacté. Il est à noter que les cheminées dont les flux sont très chauds (plus de 300 °C) peuvent croître de 5 à 10 cm par jour. Quand la croissance des cheminées est rapide, la colonisation des vers *P. sulfincola* (assemblage I) peut atteindre un taux de 1 cm ou plus par jour (Juniper *et al.*, 1992). Cela permettrait donc aussi éventuellement le renouvellement d'organismes aux sommets des édifices suite à des échantillonnages scientifiques.

3.5 Activités scientifiques et impacts : observations de la mission Atlantis-Alvin 2004

Dans la mission Atlantis-Alvin, huit activités ont créé des impacts sur un total de 17 à Mothra et 16 ont causé des perturbations visibles sur 31 activités totales à Main Endeavour

(tabl. 3.2). Cela revient à dire que 47% des activités ont eu des impacts à Mothra, alors que cette portion s'élève à 52% à MEF avec le sous-marin habité. Voici un aperçu des interprétations de certains résultats concernant les activités du sous-marin Alvin qui ont eu des impacts visibles lors de la mission de 2004.

Dans la plongée 4015 qui se déroulait dans le champ hydrothermal Mothra avec le sous-marin habité Alvin, aucune cheminée n'a été brisée. On ne peut donc pas évaluer quelles activités ont produit ce type d'impact (le plus important selon notre classification). Cependant, lors de la plongée 4018, à Main Endeavour, il y a eu une fois un bris de cheminée, causé par l'échantillonnage géologique. Sans qu'il y ait de bris en tant que tel, il y a eu beaucoup d'activités engendrant le degré d'impact 2 (toucher une cheminée) à Main Endeavour. Nous avons retenu les cas où beaucoup de faune a été arrachée d'un même coup (soit une surface minimale de 40 cm x 40 cm) et avons cherché quelles activités en avaient été responsables. Trois fois (sur 7 activités ayant causé des impacts de degré 2 sur une surface supérieure à 40x40 cm au total), la faune a été arrachée au cours de l'échantillonnage biologique. Il est à noter que le but de ce type d'activité est de prélever des organismes, mais dans ces cas, beaucoup plus de faune que ce qui a été pris dans la boîte d'échantillonnage biologique (bio-box) a été arraché. Une autre activité ayant touché à deux reprises une cheminée est l'immobilisation de l'Alvin dans la colonne d'eau. La même raison que celle imputée à l'immobilisation du ROPOS est proposée afin d'expliquer les dommages créés par cette activité : l'instabilité d'un sous-marin dans la colonne d'eau. Enfin, l'échantillonnage géologique et l'installation ou la récupération d'outils ont créé chacun une fois l'impact 2.

Dans la mission Atlantis-Alvin 2004, aucun accident majeur n'a été vu sur les vidéos provenant de la plongée 4015 à Mothra. Pour ce qui est de la plongée 4018, plusieurs événements ont semblé créer des impacts de façon accidentelle – 11 événements au total. Ainsi, trois échantillonnages biologiques ont causé des accidents, deux attentes de l'Alvin au fond de l'eau et deux déplacements à basse altitude du sous-marin. Les quatre autres activités ayant causé des accidents sont l'échantillonnage de flux, l'installation ou la récupération d'outils, que l'Alvin soit en équilibre dans la colonne d'eau et l'échantillonnage géologique avec les pinces. Il est difficile de tirer quelque conclusion que

ce soit de ces résultats, sinon que ce sont les échantillonnages biologiques qui, cette fois, ont paru nuire le plus à l'intégrité de l'habitat, tant en termes d'impacts absolus et «désirés» qu'au niveau des impacts accidentels. Il est difficile d'évaluer quels mouvements sont planifiés et lesquels sont accidentels lorsque l'on regarde des vidéos sans avoir participé à la mission. Les résultats avancés à ce sujet sont donc discutables.

Enfin, pour ce qui est des perturbations visibles totales, 6 ont été dues à l'échantillonnage de flux et 2 aux pinces (qu'elles aient servi à l'échantillonnage biologique ou géologique est impossible à dire) à Mothra (fig. 3.6a). À Main Endeavour toutefois, les activités et leurs impacts sont bien plus uniformément répartis. Les trois activités qui ont causé le plus d'impacts (trois occurrences chacune) sont l'échantillonnage biologique, l'installation ou récupération d'outils et l'immobilisation de l'Alvin dans la colonne d'eau (fig. 3.6b). Voici des graphiques en pointes de tarte représentant ces résultats.

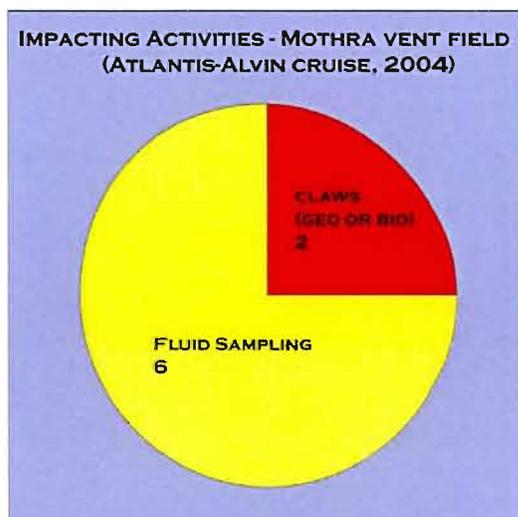


Figure 3.6a

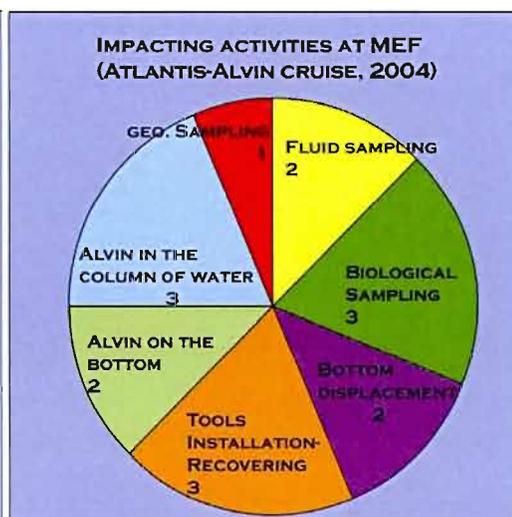


Figure 3.6b

Activités ayant engendré des impacts par le sous-marin habité Alvin dans la ZPM Endeavour à l'été 2004 (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

a) au champ Mothra, résultats de la plongée 4015

b) au champ Main Endeavour, résultats de la plongée 4018

Il est intéressant de noter qu'à Mothra, l'impact majeur a toujours été dû au fait que l'Alvin reposait au fond de l'eau. Il s'est ainsi posé une fois sur un assemblage mixte III-IV et V High-flow et une fois sur l'assemblage V High-flow uniquement.

Malheureusement, à MEF également, l'assemblage qui a été le plus touché par les différentes activités est l'assemblage V High-flow. Cela pourrait être dû à la recherche de cet assemblage et des conditions de flux qui le font survivre (les plus intenses!) pour les différents types d'échantillonnage.

3.6 Comparaison des activités et impacts des deux types de sous-marins

La compilation des résultats obtenus pour chaque activité en fonction du site (Mothra ou MEF) et du type de sous-marin (habité ou téléguidé) permet d'observer quelles activités engendrent le plus souvent des impacts, de façon un peu plus générale (bien que les résultats ne se fondent que sur quatre plongées). Ainsi, le tableau 3.2 montre que l'échantillonnage de flux (activité 1) a causé 21/27 fois des impacts; que l'échantillonnage biologique (2) a causé des impacts 3/3 fois ou 5/5 fois (le doute provient de l'identification de l'activité : c'était un échantillonnage avec des pinces, mais il était difficile de dire si le but était de ramasser des échantillons vivants ou du substrat); que les déplacements à plus de 5m d'altitude (3) n'ont jamais créé d'impact (0/14 ou 0/9, l'altitude n'ayant pu être évaluée avec précision, les données de navigations n'étant pas disponibles pour cette mission); que les déplacements à moins de 5m d'altitude (4) ont créé des impacts 14/58 (ou 14/63, encore parce que l'altitude n'était pas évidente); que l'installation ou la récupération d'outils (5) a eu des impacts 7/10 fois; que le repos du sous-marin au fond (6) a causé des impacts 8/28 fois; que l'échantillonnage par succion (7) en a engendré 2 fois sur 4 ; que l'immobilisation du sous-marin dans la colonne d'eau (8) a causé des impacts 7/10 fois et enfin, que l'échantillonnage géologique (9) a été la cause d'impacts 4/4 ou 6/6. Ainsi, il devient perceptible que les échantillonnages biologique et géologique ont laissé des traces sur l'habitat 100% du temps dans les quatre plongées analysées et que l'échantillonnage de flux laisse aussi souvent des traces sur le milieu (77,7% du temps). On peut également s'apercevoir que les déplacements en hauteur n'engendrent jamais d'impacts, et que, malgré qu'ils aient contribué pour une

part non négligeable aux impacts engendrés avec le ROPOS à Mothra (35% des impacts totaux pour cette plongée), les déplacements à faible altitude engendrent des impacts en moyenne 24% du temps. Le fait que le sous-marin repose au fond de l'océan n'engendre pas nécessairement d'impact, selon les enregistrements vidéos visionnés. Cela prouve que l'emplacement choisi et la faune qui y vit déterminent principalement si cette activité laissera des traces dans l'écosystème ou non.

Tableau 3.2

Activités et impacts aux deux champs hydrothermaux, avec les deux types de sous-marins

PLONGÉE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
MOTHRA-ROPOS	NB ACTIVITÉS	6	0	2	18	2	3	1	4	0	36
	NB ACTIVITÉS À IMPACTS	5	0	0	7	2	1	1	4	0	20
MEF-ROPOS	NB ACTIVITÉS	11	0	2	31	5	18	3	3	3	76
	NB ACTIVITÉS À IMPACTS	8	0	0	5	2	5	1	0	3	24
MOTHRA-ALVIN	NB ACTIVITÉS	7	2 (?)	5 (?)	5 (?)	0	3	0	0	2 (?)	17
	NB ACTIVITÉS À IMPACTS	6	2 (?)	0	0	0	0	0	0	2 (?)	8
MEF-ALVIN	NB ACTIVITÉS	3	3	5	9	3	4	0	3	1	31
	NB ACTIVITÉS À IMPACTS	2	3	0	2	3	2	0	3	1	16

Avec pour seule base de comparaison une plongée par site et par type de sous-marin, il paraît hardi de se lancer dans toute forme d'extrapolation des impacts causés par les deux modèles de sous-marins. En effet, le type d'activité le plus pratiqué dans chaque plongée a sûrement été davantage déterminé par les demandes inhérentes à la plongée en tant que telle que par un souci d'évaluer les impacts créés par chaque activité. Une étude ultérieure contrôlant le nombre de fois que chaque activité est pratiquée serait pertinente afin d'analyser si certaines activités créent davantage certains impacts en particulier. La présente étude ne permet pas d'évaluer une telle relation.

Toutefois, lorsque l'on compare les impacts des missions effectuées en sous-marin téléguidé par rapport à celles faites en sous-marin habité, les poids de plongée laissés au fond de l'océan présentent une source de déchets supplémentaire pour le sous-marin habité. Ainsi, l'*Alvin* peut se délester de plus de 375 kilogrammes en poids de plongée afin de remonter à la surface. D'après les résultats des questionnaires, de grandes quantités de métal sont aussi laissées au fond de l'eau par les activités du ROPOS, mais celles-ci seraient plutôt dues à l'équipement scientifique. Il faudrait pousser plus loin l'analyse afin de savoir si, pour une plongée donnée, les poids que laisse l'*Alvin* au fond de l'océan rendent ses déchets métalliques considérablement supérieurs à ceux du ROPOS.

3.7 Relation et communication scientifiques-pilotes du sous-marin

Dans la mission NeMO 2006 (la seule mentionnée dans ce travail à laquelle j'aie assisté), les deux plongées 1008 et 1009 dans la ZPM ne semblent pas avoir été particulièrement affectées par un manque ou une mauvaise communication entre les scientifiques et les pilotes du sous-marin. Cependant, une autre plongée de la même mission, effectuée à Axial (mont sous-marin) et qui avait pour but de récolter des blue mats (invertébrés de couleur bleue) aurait pu bénéficier d'une meilleure communication entre le scientifique et le pilote du sous-marin. En effet, au moment prévu de l'échantillonnage (biologique avec pinces), le scientifique désirait récolter quelques organismes, mais le pilote ne l'a pas fait là où le scientifique le voulait et a dû s'y prendre plus loin, où le sous-marin était moins stable. L'échantillon a été perdu dans l'eau car le sous-marin n'était pas suffisamment en contrôle. Le pilote a donc dû s'y reprendre une deuxième fois pour finalement recueillir ce que le scientifique demandait, mais ce n'était même plus à l'endroit ciblé à l'origine par le scientifique. Dans cette situation, si le scientifique s'était assuré dès le début que le pilote savait exactement ce qu'il désirait et que cette opération était possible, et si le pilote avait été un peu plus à l'écoute des directives du scientifiques, la frustration du scientifique et la récolte plus dommageable pour l'habitat auraient peut-être pu être évitées.

3.8 Activités scientifiques et impacts : les perceptions des chercheurs

Les résultats bruts des questionnaires ont été compilés dans le tableau C.1 de l'Appendice C.

Parmi les gens ayant répondu au questionnaire (19 au total sur 26 scientifiques et membres du ROPOS lors de l'expédition NeMO 2006) se trouvent six étudiants ou assistants de recherche; trois professeurs; un chimiste, six techniciens et trois membres de l'équipe du ROPOS. Les méthodes d'échantillonnage les plus employées par les répondants sont l'échantillonnage de flux (utilisé par 10 personnes); la suction; la prise d'image (chacune utilisée par 6 personnes) et la prise d'échantillons géologiques avec les pinces du sous-marin (5 personnes). Ceci paraît logique, le chef de mission étant géologue et la plupart des participants provenant de ce domaine.

En révisant le questionnaire, il a été remarqué que les méthodes d'échantillonnage c) (biologique) et f) (biologique avec pinces) se recoupaient grandement. Il a donc été décidé de regrouper ces deux catégories en une seule. Les questionnaires ont été re-traités afin que si des répondants avaient coché les deux méthodes, ceci ne compterait que pour de l'«échantillonnage biologique». En enlevant les 3 dédoublements qui existaient pour ces réponses, nous sommes arrivés à (7-3) 4 individus faisant de l'échantillonnage biologique. Les autres méthodes d'échantillonnage (carottes, acoustique, bouteilles imperméables au gaz et «autres») n'étaient utilisées que par deux ou trois personnes. Il faudrait comparer avec les recherches d'autres équipes de missions en mer pour savoir si ceci est dû à la moindre utilisation générale de ces méthodes, ou simplement à la composition spécifique de l'équipe de la mission NeMO 2006.

La question 4 a été sujette à des analyses un peu plus poussées que les questions précédentes. Si l'on observe uniquement les résultats bruts, la majorité des répondants a dit souvent considérer les impacts de leurs activités sur les espèces et populations; parfois considérer leurs impacts sur la valeur scientifique de l'aire ciblée et parfois également (mais en plus grande proportion) considérer leur impact sur les valeurs esthétique et éducationnelle. On pourrait donc en déduire que les répondants font généralement plus

attention à la valeur «biologique» qu'aux autres types de valeurs lors de leurs activités scientifiques.

Lorsque l'on tente de tracer une correspondance entre la profession et l'attitude des scientifiques, on observe que, dans l'ordre, les équipiers du ROPOS sont ceux qui considèrent le plus les impacts sur l'écosystème lorsqu'ils planifient une plongée (Q. 4a, lettre e), suivis par les étudiants (lettre a), les techniciens (lettre d) et finalement les professeurs (lettre b) qui disent «parfois» considérer les impacts potentiels de leurs activités sur la faune lorsqu'ils planifient une plongée. Quant à la considération préalable aux plongées des impacts sur la valeur scientifique (Q. 4b), les trois professeurs sont ceux qui les considèrent le plus souvent (presque toujours!); viennent ensuite les trois membres du ROPOS, les six étudiants et finalement les six techniciens qui n'en tiennent compte que parfois. Enfin, les valeurs esthétique et éducationnelle des aires visitées (Q. 4c) sont considérées davantage par les professeurs, l'équipe du ROPOS, les étudiants, et très peu (moins que parfois) par les techniciens avant d'effectuer une plongée (tabl. 3.3).

Tableau 3.3

Moyennes des questions sur la considération des valeurs en fonction de la profession

Questions		4a	4b	4c
Valeurs		écosystémique	scientifique	esthétique et éducationnelle
Professions	Nb.			
a) Étudiant	5	1.8	1.6	1
b) Professeur	3	1	2.67	2
c) Chimiste	1	sans réponse	sans réponse	sans réponse
d) Technicien(ne)s	6	1.33	1	0.5
e) Membre Ropos	3	2.33	2	1.67

En ce qui a trait à la moyenne des impacts totaux (sur les trois types de valeurs du milieu identifiées) en fonction de la profession, l'équipe du sous-marin téléguidé semble être celle qui planifie le plus ses impacts potentiels, viennent ensuite les professeurs, les étudiants et enfin les techniciens (ce qui paraît compréhensible, puisque ces derniers travaillent davantage en laboratoire avec le matériel biologique ou géologique préalablement récolté) (fig.3.7). La classe «techniciens» inclut également les responsables de certains appareils, donc des techniciens qui ne sont pas liés aux études scientifiques directement, mais

davantage aux outils utilisés par les scientifiques lors de leurs expérimentations et à leur bon fonctionnement.

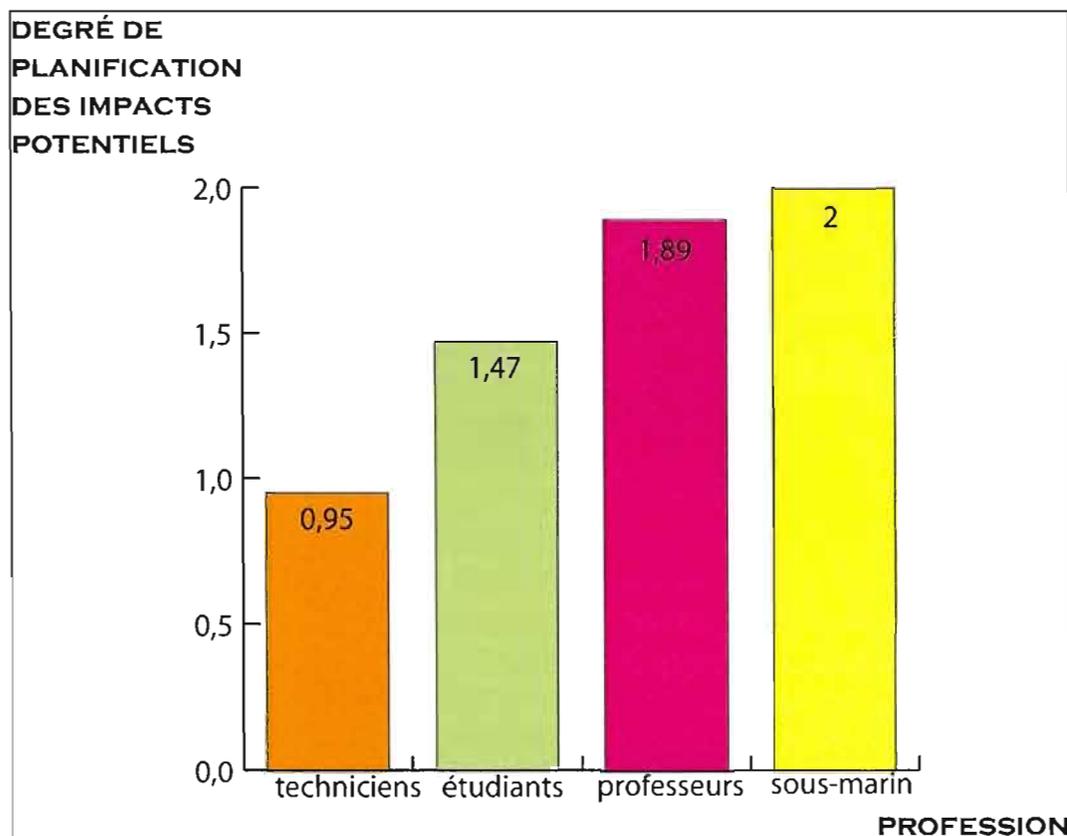


Figure 3.7 Moyennes de l'ensemble des questions 4a, b et c en fonction de la profession.

Les résultats généraux de la question 5 (tabl. C.1) indiquent que selon la majorité des répondants, l'échantillonnage a un impact mineur ou important (7 par catégorie). Pour 4 personnes, ses impacts potentiels seraient majeurs alors que pour 2 autres personnes, il ne représenterait qu'un impact sans importance. L'éclairage est considéré pour la plupart (10/20) comme ayant un impact mineur, mais 3 personnes le considèrent important et une, majeur. Quatre personnes sur 19 croient que l'éclairage ne représente pas d'impact. Le bruit suit sensiblement la même tendance que l'éclairage, avec 12 répondants qui situent son impact potentiel dans la catégorie «impact potentiel mineur»; 5 «sans importance» et une «impact potentiel important». Les transits semblent être l'activité qui inquiète le moins les scientifiques : 10 n'y voient pas d'important impact, 7 que des impacts mineurs et une

personne y voit des impacts potentiels majeurs. L'installation et la récupération d'outils suivent la même tendance : la plupart des répondants y voient un impact important (respectivement 10 et 9 sur 20); 4 (pour chaque type d'activité) un impact mineur, deux un impact majeur et respectivement 2 et 3 personnes un impact sans importance.

L'équipe du ROPOS (e) considère les impacts de l'échantillonnage (Q.5a) comme étant importants à majeurs (tabl. 3.4). Les étudiants (a) et professeurs (b) ont une vision similaire, quoique moins sombre que celle du ROPOS, et le ou la chimiste (c) et les techniciens (d) perçoivent que les impacts de l'échantillonnage sont mineurs. Concernant les impacts causés par l'éclairage (Q.5b), le chimiste les considère comme importants et l'équipe du ROPOS les situe aussi près d'«importants», alors que les étudiants les voient comme pratiquement mineurs, les professeurs comme mineurs et les techniciens entre «sans importance» et «mineurs». Le bruit (Q.5c) est considéré comme ayant un impact mineur par les membres du ROPOS et par les professeurs, et les étudiants et les techniciens y voient des impacts encore plus faibles. Le chimiste n'y voit aucun impact. Les membres du ROPOS attribuent un impact mineur aux transits (Q.5d), les techniciens, les étudiants et les professeurs y attribuent des impacts moins que mineurs décroissants selon la profession et finalement, le chimiste n'y attribue aucun effet. L'installation d'instruments (Q.5e) est perçue comme ayant des impacts entre importants et majeurs par l'équipe du ROPOS, et entre mineurs et importants (mais plus près d'«importants») par les professeurs, les étudiants et les techniciens. Encore ici, le chimiste ne voit pas d'impact à cette activité. La récupération d'outils (Q.5f) est considérée par les membres du ROPOS comme produisant des impacts importants, les étudiants et les professeurs situent aussi ses impacts près d'«importants», et les techniciens, entre «mineurs» et «importants». Le chimiste ne voit encore ici aucun impact.

Tableau 3.4
Moyennes des impacts perçus en fonction des différentes activités scientifiques, par profession

Professions	5 a		5 b		5 c		5 d		5 e		5 f	
	Nb.	Échantillonnage	Éclairage	Éclairage	Bruit	Bruit	Transits	Transits	Installation d'instruments	Installation d'instruments	Récupération d'outils	Récupération d'outils
a) Étudiant	5	a = 4.4	a = 2.4	a = 2.4	a = 1.6	a = 1.6	a = 0.8	a = 0.8	a = 3.6	a = 3.6	a = 3.6	a = 3.6
b) Professeur	3	b = 4.3	b = 2	b = 2	b = 2	b = 2	b = 0.67	b = 0.67	b = 3.33	b = 3.33	b = 3.33	b = 3.33
c) Chimiste	1	c = 2	c = 4	c = 4	c = 0	c = 0	c = 0	c = 0	c = 0	c = 0	c = 0	c = 0
d) Technicien(ne)s	6	d = 2	d = 1	d = 1	d = 1.33	d = 1.33	d = 1	d = 1	d = 3	d = 3	d = 2.67	d = 2.67
e) Membre Ropos	3	e = 4.67	e = 3.3	e = 3.3	e = 2	e = 2	e = 2	e = 2	e = 4.67	e = 4.67	e = 4	e = 4

Si les résultats sont considérés dans leur ensemble (pour toutes les activités pouvant présenter un impact), l'équipe du ROPOS est le groupe qui considère les activités scientifiques, leurs effets indirects et les autres manipulations connexes comme produisant le plus d'impact sur le milieu (indice de 3,45 dans la fig.3.8). Ils situent cet impact général très près de la catégorie «important». Les étudiants et les professeurs semblent avoir une perception similaire, soit que les activités ont des effets entre «mineurs» et «importants», mais plus près de mineurs. Les techniciens considèrent les activités scientifiques comme produisant des impacts plus petits que mineurs. Enfin, le (ou la) chimiste semble peu inquiet des impacts potentiels des activités scientifiques sur l'environnement : il les situe entre «sans importance» et «mineurs».

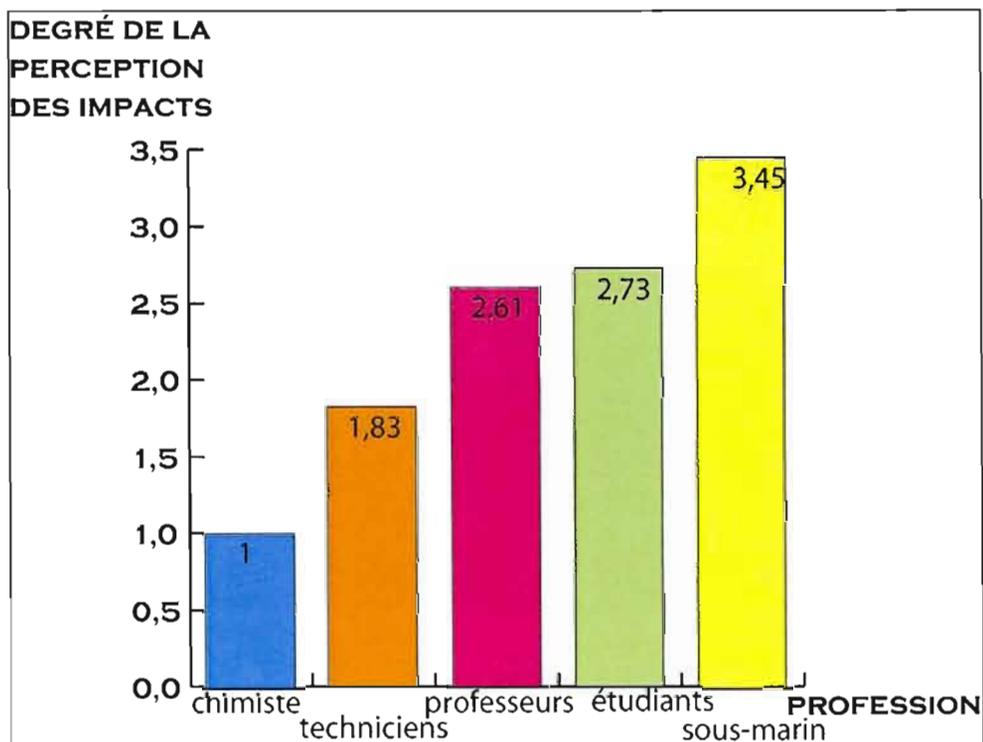


Figure 3.8 Moyenne de la perception des impacts pour toutes les activités compilées, par profession.

La plupart des répondants compte utiliser plus d'instrumentation au cours des 5 à 10 prochaines années, mais diminuer leur échantillonnage. Ils prévoient également diminuer le nombre de plongées qu'ils feront par année. Toutefois, en ce qui concerne l'échantillonnage et le nombre de plongées, les répondants sont presque aussi nombreux à avoir répondu que l'échantillonnage diminuera et que le nombre de plongées augmentera que ceux qui répondirent à l'inverse.

Les informations intéressantes qui sont ressorties des réponses à la question 9 ont été que :

1- Un des techniciens a laissé au fond de l'eau 10 000 livres (soit près de 4536 kilogrammes) d'acier, juste au cours de la mission NeMO 2006 qui comptait sept plongées du sous-marin ROPOS au total. Ceci servait aux ancres et autres outils. Si chaque mission en laisse autant, et à raison de 4 missions par année dans une même zone (prenons pour exemple l'APM Endeavour), cela fait 40 000 livres (donc environ 18143 kilogrammes)

d'acier laissées dans le fond de l'océan par année, sans que l'on ne vienne les récupérer ultérieurement (c'est trop lourd et encombrant!) s'il n'y a pas de mission spéciale prévue pour le nettoyage du fond marin.

NB : Le nombre de missions a été estimé d'après les données du Système de gestion d'Endeavour, qui ne répertorie que les plongées qui ont soumis un plan de travail pour la ZPM. La moyenne de missions dans la zone entre 2000 et 2006 aurait été de 4,14 (2000 = 5; 2001 = 3; 2002 = 6; 2003 = 4; 2004 = 5; 2005 = 4; 2006 = 2). Les rapports permettant de savoir si les plongées planifiées ont vraiment eu lieu manquent toujours pour plusieurs missions. Nous ne pouvons donc savoir si ces données sont exactes, ou s'il y a eu plus ou moins de missions dans la ZPM Endeavour, en réalité.

2- La problématique de l'introduction d'espèces est ce qui a mené un des répondants à une meilleure conscientisation des enjeux environnementaux liés aux activités scientifiques.

3- Un professeur utilisant comme méthodes l'échantillonnage de flux et l'échantillonnage géologique pense pour sa part que les activités scientifiques en milieu hydrothermal peuvent avoir des impacts, mais que ses propres activités, comme elles ne s'intéressent pas à la faune, ne risquent pas d'altérer la vie marine.

4- Un des pilotes du ROPOS remet son appréciation des impacts des activités scientifiques entre les mains des scientifiques. Il considère que son équipe obéit aux demandes des chercheurs.

Aux questions 10 et 11, la réponse la plus fréquente (8/19) est que les répondants connaissent le statut des sources hydrothermales d'Endeavour mais qu'ils ne connaissent pas d'autre zone de protection de sources dans l'Océan Pacifique (16/19).

3.8.1 Résumé des résultats des questionnaires

De manière plus succincte, on peut retirer des résultats des questionnaires que la valeur biologique est généralement considérée davantage que les valeurs scientifique, esthétique et éducationnelle. Aussi, ce sont les professeurs qui sont les plus sensibilisés à la valeur scientifique et aux autres types de valeurs que la valeur biologique. L'équipe du ROPOS est le groupe qui dit considérer le plus l'ensemble des impacts lors de la planification des missions, et ils sont aussi le groupe qui pense que les activités scientifiques ont le plus d'impacts sur le milieu. Les transits sont l'activité qui paraît la moins dommageable aux répondants. L'échantillonnage est classé comme d'impact entre mineur et important. Les techniciens sont le groupe qui considère que la recherche produit le moins d'impacts généraux sur le milieu. Nous ne pouvons conclure du fait que l'instrumentation et le nombre de plongées par année au cours des cinq à dix prochaines années augmentera ou diminuera, selon les répondants. Finalement, la problématique des déchets dans la ZPM est soulevée par un répondant.

3.9 Comparaison des résultats de l'étude par vidéos de la mission NeMO2006 et des impressions des scientifiques, concernant les impacts de la recherche

Premièrement, le fait que la valeur biologique soit généralement plus considérée que les valeurs scientifique, esthétique et éducationnelle paraît compréhensible, du fait que c'est souvent cette dernière qui est mise de l'avant dans les articles destinés aux scientifiques et au public en général, et que la faune est l'élément le plus évident et probablement aussi le plus attirant des sources hydrothermales. De plus, les trois autres types de valeurs sont peut-être moins perceptibles immédiatement, pour une personne qui n'aurait pas songé spécifiquement à la problématique de la valeur de cet écosystème. Par contre, le fait que les professeurs soient plus sensibilisés à la valeur scientifique et aux autres types de valeurs que biologique n'est pas étonnant : ce sont leurs projets qui risquent d'être perturbés si les autres scientifiques n'y font pas attention! Ils doivent donc toujours planifier en fonction des projets des autres. Le respect des valeurs esthétiques et éducationnelles est aussi plus intégré à leur emploi, car c'est souvent à eux plutôt qu'aux étudiants ou aux pilotes du sous-marin que revient la tâche de vulgariser les recherches pour éduquer et intéresser le public. La

promotion par les médias des questions de la diversité biologique et de sa conservation, ainsi que de leur prise en compte dans les programmes d'enseignement sont notamment incluses dans l'article 13 de la CDB (PNUE, 2001). Les professeurs ont également davantage de comptes à rendre à Pêches et Océans concernant la préservation de l'intégrité de la zone protégée, étant les principaux organisateurs des missions en mer. Les pilotes du ROPOS sont ceux qui disent considérer le plus l'ensemble des impacts lors de la planification des missions, et cela est cohérent avec le fait qu'ils sont aussi le groupe qui pense que les activités scientifiques ont le plus d'impacts sur le milieu.

La perception des impacts s'est avérée bien différente des impacts réels observés par l'analyse vidéo. En effet, alors que les transits sont l'activité qui semblait la moins dommageable («impacts non importants») aux yeux des scientifiques, c'est l'activité qui a le plus brisé de portions de cheminées à Mothra, et qui, en général, a laissé le plus de traces sur le milieu dans les deux champs hydrothermaux, avec l'échantillonnage de flux. Aussi, l'échantillonnage (une catégorie peut-être trop générale?!) était classé comme d'impact entre mineur et important par les scientifiques alors que ce sont l'échantillonnage de flux et l'échantillonnage géologique qui ont causé le plus de bris de cheminées à Main Endeavour, et à Mothra, en ce qui concerne l'échantillonnage de flux.

Les techniciens sont le groupe qui considérait que la recherche produit le moins d'impacts généraux sur le milieu (impacts plus faibles que mineurs). Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'ils connaissent peut-être moins les interactions écosystémiques des sources hydrothermales et l'influence possible du facteur humain sur la biologie de ces systèmes. Un travail d'éducation plus approfondie, par les chercheurs qui les engagent par exemple, serait alors une aide supplémentaire pour la meilleure connaissance et la préservation du milieu.

Les réponses aux questions 6, 7 et 8 ne donnent pas d'idée claire sur l'augmentation ou la diminution planifiées de l'instrumentation et du nombre de plongées par année au cours des cinq à dix prochaines années. Si des mesures restrictives de Pêches et Océans ne permettaient qu'un certain nombre de missions scientifiques dans la Zone Protégée par

année, les chercheurs auraient à faire encore plus d'associations afin de partager les installations (navires, sous-marins), et surtout, leurs échantillons et résultats.

La première réponse à la question 9 permet de confirmer qu'il y a un problème de déchets lié aux missions scientifiques en mer. On observe également que certaines personnes peuvent confondre le but de leurs échantillonnages et les impacts potentiels de ces derniers. En effet, ce n'est pas parce que l'on recense des données sur la géologie d'un site (par exemple, le flux ou les sédiments) que l'on n'affecte pas les communautés biologiques du milieu. La preuve en est qu'une des activités de la mission NeMO2006 qui a créé le plus d'impacts est l'échantillonnage de flux, qui ne s'intéresse pas aux organismes vivants *a priori*. Les organismes qui recouvraient les pans tombés de ces cheminées sont tombés et sont donc morts par l'échantillonnage. La troisième réponse suggère qu'une meilleure formation liée à la biologie et à l'écosystème particulier des sources hydrothermales serait bénéfique à l'équipe du sous-marin. Ainsi, plutôt que de se fier uniquement aux scientifiques en ce qui a trait aux mesures de précaution pour l'échantillonnage, ils pourraient être plus autonomes et les navigateurs sauraient d'emblée ce à quoi faire attention lors des délicates missions de recherche. Enfin, la réponse à l'avant-dernière question (question 10) indique que tous les membres scientifiques et liés à la navigation du sous-marin doivent être renseignés sur le statut des zones traversées et échantillonnées dans la mission à laquelle ils participent. Juste le fait que chacun sache qu'il visite une zone protégée pour sa biodiversité serait un bon début pour la diminution des impacts humains à *Endeavour*, et ceci est très facilement réalisable : il suffit que le chef scientifique avertisse tout le monde avant la mission, ou au plus tard lorsque l'on pénètre dans la zone en question. Idéalement, une feuille expliquant la signification de ce titre et les raisons pour lesquelles l'aire est protégée viendrait compléter l'information donnée par le scientifique en chef.

3.10 Cartes produites avec ArcGIS

L'objectif de la création des cartes horizontales était de tenter de déterminer si certains sites étaient davantage visités que d'autres, et, en évaluant le niveau de risque de ces sites

(en fonction des assemblages présents et donc de la fragilité de la faune ou de son statut menacé), si les trajets devraient passer ailleurs dans la ZPM plutôt que là où ils vont déjà. Cependant, la superposition des cartes bathymétrique, de la position des cheminées selon l'étude antérieure de Robigou (fig. 3.9) et des données de navigation (fig. 3.10) a posé un problème inattendu : l'emplacement de la plupart des cheminées ne correspondait pas, entre les différentes sources (fig. 3.11). Voici les cartes obtenues lors des différentes étapes de cette partie du travail. La première carte (fig. 3.9) représente la première tentative pour déterminer l'emplacement des cheminées vues sur la carte de Robigou et de les situer sur la carte bathymétrique produite à partir des données de ABE. La deuxième carte (fig. 3.10) montre les mêmes éléments, mais le trajet suivi par le sous-marin ROPOS lors de la plongée R1009 de la mission NeMO 2006 y a été ajouté. Sans avoir recours aux «logs» (informations prises par les scientifiques lors des plongées), on croirait que tout est bien placé. La troisième carte (fig. 3.11) indique en plus les points qui ont été identifiés comme étant certaines structures lors de la plongée, en écriture rouge sur blanc. Ces dernières (appelées «étiquettes» dans le programme ArcMap) sont décalées au nord par rapport à l'emplacement des cheminées inféré de la carte de Robigou (Sarrazin *et al.*, 1997). Ainsi, on voit que les étiquettes pour Crypto, Dudley, Smoke and Mirror (S et M) et Easter Island (E I) sont toutes plus au nord que les structures qui avaient été identifiées à partir de la carte de Robigou (Sarrazin *et al.*, 1997).

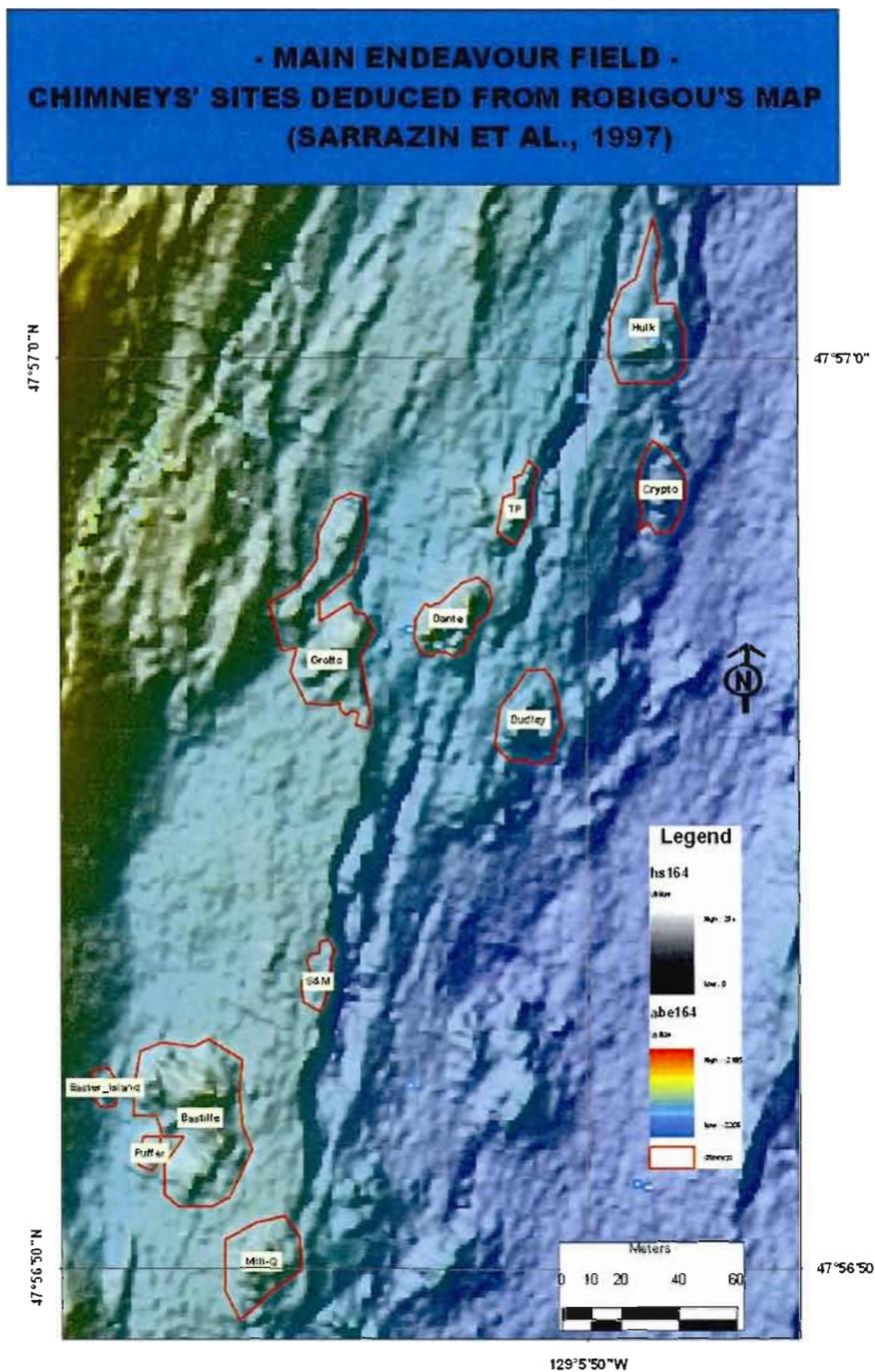


Figure 3.9 Carte hybride représentant la bathymétrie du champ hydrothermal Main Endeavour (fond bleu) et les cheminées illustrées par Robigou en 1997 (étiquettes à l'écriture noire dans les polygones rouges). Correspondance entre ces deux types de données évaluée à l'oeil (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

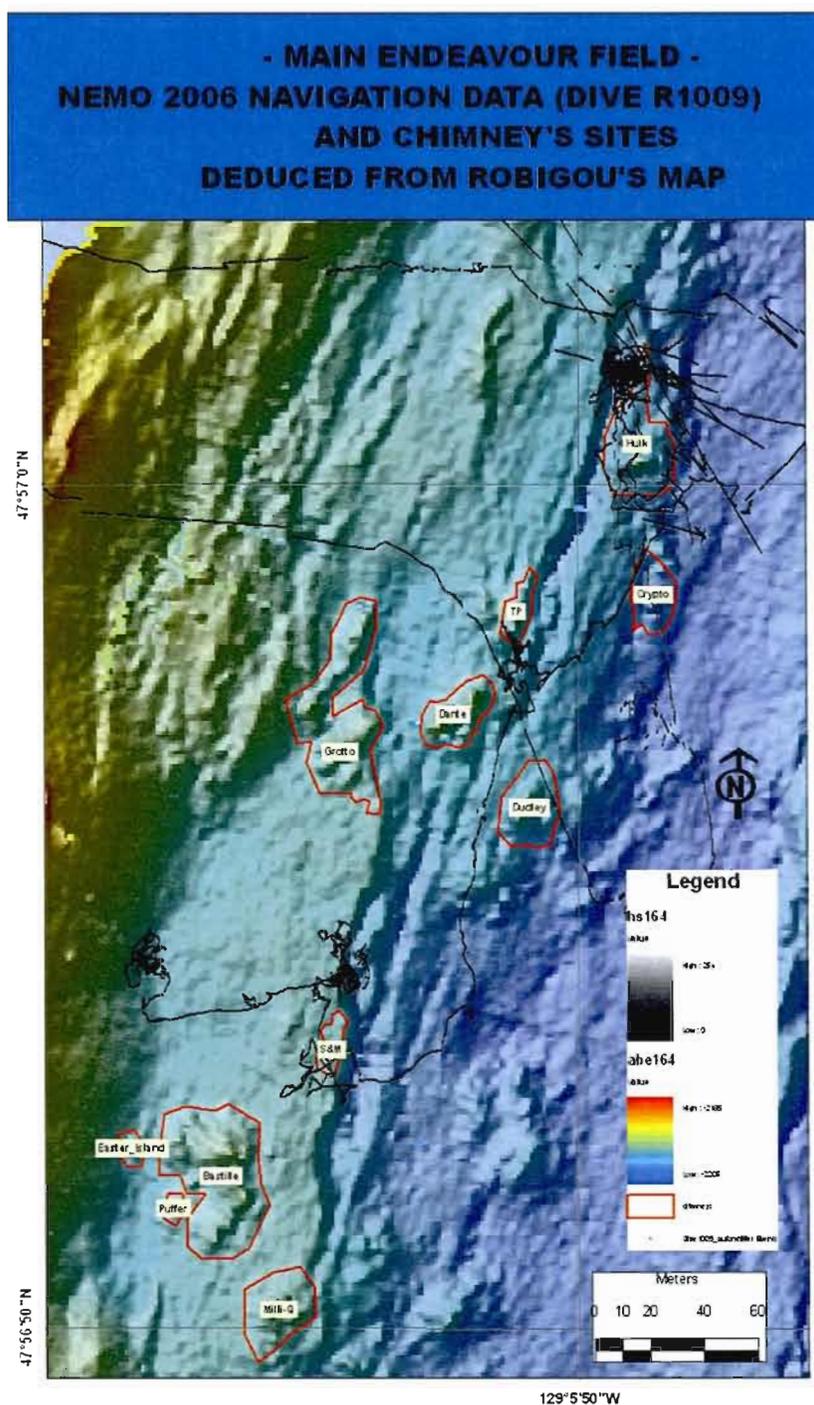


Figure 3.10 Trajet effectué par le ROPOS lors de la plongée 1009 de la mission NeMO 2006 (données numériques obtenues par l'équipe du sous-marin) et emplacement des cheminées estimé d'après la carte de Robigou 1997 (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

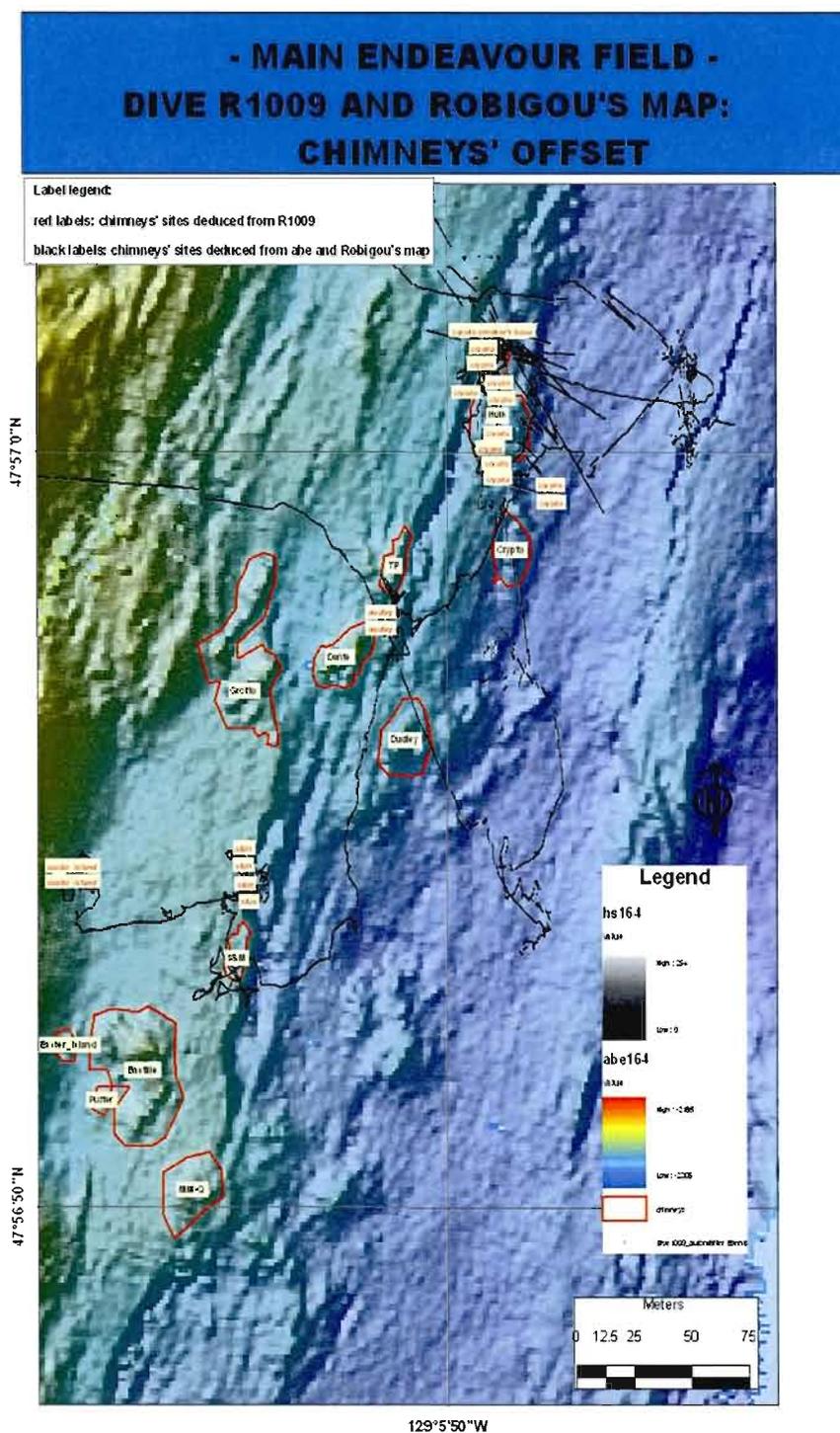


Figure 3.11 Même carte que la figure 3.10, avec indications des emplacements supposés des cheminées d'après les données de navigation fournies par le ROPOS (étiquettes à écriture rouge) (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

Il semblait y avoir un décalage général d'environ 30 mètres entre les données de navigation NeMO provenant du sous-marin ROPOS et celles de la carte bathymétrique multifaisceaux produite à partir de données collectées par le véhicule sous-marin autonome ABE. Mais même après avoir déplacé les données de navigation de 30m vers le sud (fig. 3.12), un décalage persiste entre la carte bathymétrique et les données de navigation, concernant l'emplacement de certaines structures. On voit bien que peu importe la direction dans laquelle on pourrait tenter de décaler les données de navigation, on ne pourrait pas arranger tous les problèmes de non-correspondance entre l'emplacement des cheminées inféré de la carte Robigou et les informations que la navigation nous fournit. Ainsi, si l'on voulait que les données de navigation de Easter Island et de Crypto arrivent vis-à-vis de leur emplacement inféré de Robigou (1997), les données de navigation correspondant à S et M se trouveraient bien trop au sud par rapport à ce qui a été inféré de Robigou.

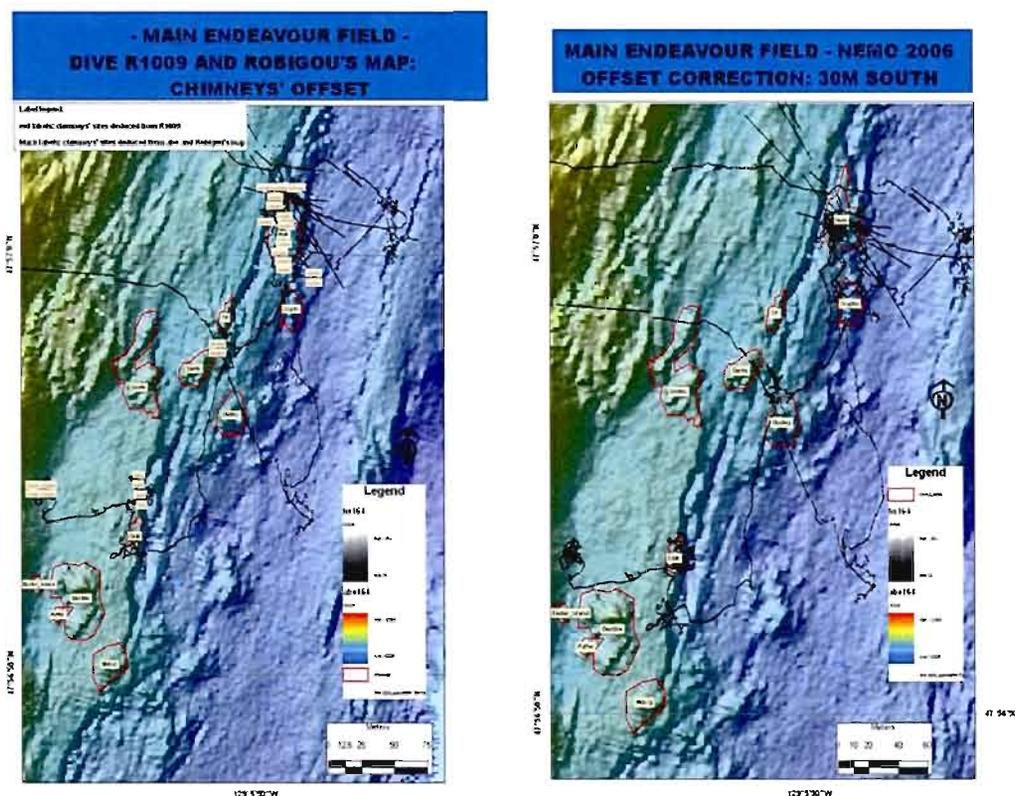


Figure 3.12 Décalage entre la carte de Robigou et les données de navigation, et tentative de corriger ce problème par une translation des données de navigation de 30 mètres vers le sud (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

Ce biais peut provenir de différentes sources : premièrement, les structures d'édifices sulfureux au champ hydrothermal Main Endeavour localisées et encerclées sur la carte bathymétrique ABE ont été identifiées à partir de la carte de Robigou, produite à la main originellement. L'emplacement des édifices a donc pu être mal inféré lorsque les structures ne sont pas évidentes sur la carte bathymétrique. Deuxièmement, il peut y avoir des erreurs de navigation sur la carte de Robigou, qui a été produite avant que l'utilisation des GPS ne soit de routine pendant les missions en sous-marin dans cette zone. Troisièmement, le système de navigation du ROPOS peut lui-même avoir induit des erreurs. Quatrièmement, l'identification des différentes structures ne se fait pas toujours avec certitude. L'équipe de scientifiques peut avoir une mémoire défaillante, faisant nommer une structure par le nom d'une autre, et c'est le mauvais nom qui reste dans les archives (logs). Voici une carte (fig. 3.13) dans laquelle nous avons tenté de repérer les endroits où les édifices se trouveraient si les erreurs provenaient de notre interprétation de la carte de Robigou ou encore des impressions de la carte Robigou. Les nouveaux emplacements ont été trouvés afin que les étiquettes provenant des «logs» correspondent le mieux possible avec la bathymétrie et en tentant de suivre de manière plus grossière la carte de Robigou (Sarrazin *et al.*, 1997).

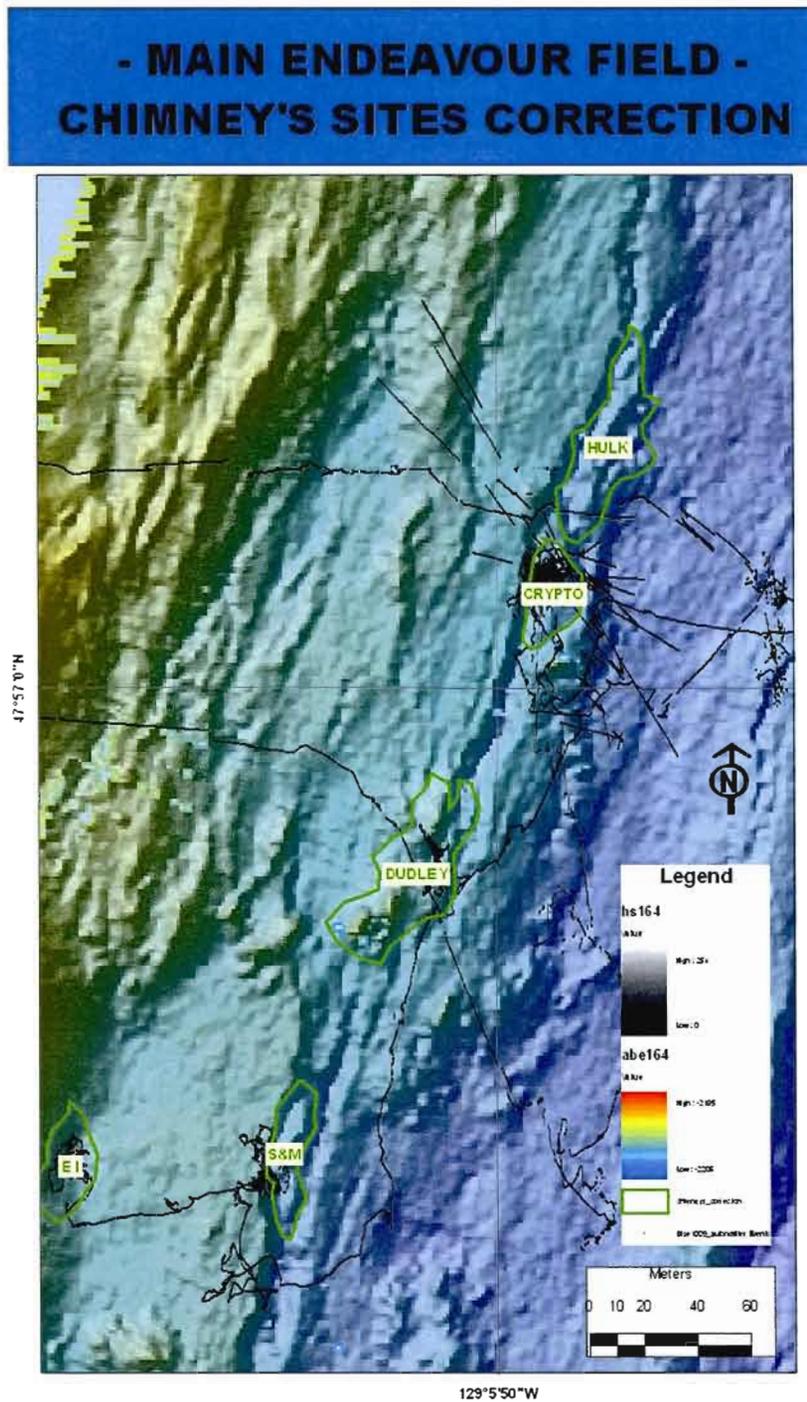


Figure 3.13 Carte des cheminées replacées afin que la carte bathymétrique les données de navigation du sous-marin correspondent mieux. Réinterprétation de la carte de Robigou (1997) (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

Les cartes correspondant aux données de navigation de la mission Visions 2005 (sous-marin Jason) à MEF et à celles de la mission NeMO 2006 à Mothra (plongée R1008) ont été produites par la superposition des informations bathymétriques et de navigation (fig. 3.14 et 3.15 respectivement). Afin de situer les structures par rapport aux données de navigation de Visions, les vidéos auraient été requis. Les seules informations complémentaires aux fichiers de données reçus étaient les logs, qui ne sont pas suffisants pour obtenir une idée claire de l'emplacement du sous-marin à un temps donné. Comme il n'existe pas d'équivalent de la carte de Robigou (Sarrazin *et al.*, 1997) localisant les édifices sulfureux du champ hydrothermal Mothra, il a été impossible de placer les cheminées visitées lors de la plongée R1008 sur la carte bathymétrique. On voit donc sur la figure 3.14 une simple superposition des données de navigation des plongées 166 et 171 à la première tentative d'emplacement des structures hydrothermales à partir de la carte de Robigou. On ne peut déterminer si les points de plus grande affluence se situaient réellement près des cheminées représentées ou en décalage, ou si les cheminées se trouvent dans la réalité ailleurs que ce qui est représenté. La figure 3.15 indique le trajet du ROPOS lors de la plongée R1008 de la mission de l'été 2006, mais encore là, nous ne pouvons dire à partir de la bathymétrie quels points correspondraient à quelles structures. Comme nous avons découvert un décalage potentiel entre les points indiqués par la plongée R1009 et ceux de la carte bathymétrique de MEF, il est possible qu'il y ait ici également un décalage entre les deux cartes relatives au champ hydrothermal. C'est pourquoi nous avons préféré nous en tenir à cette simple superposition, sans supposition quant à l'emplacement des cheminées.

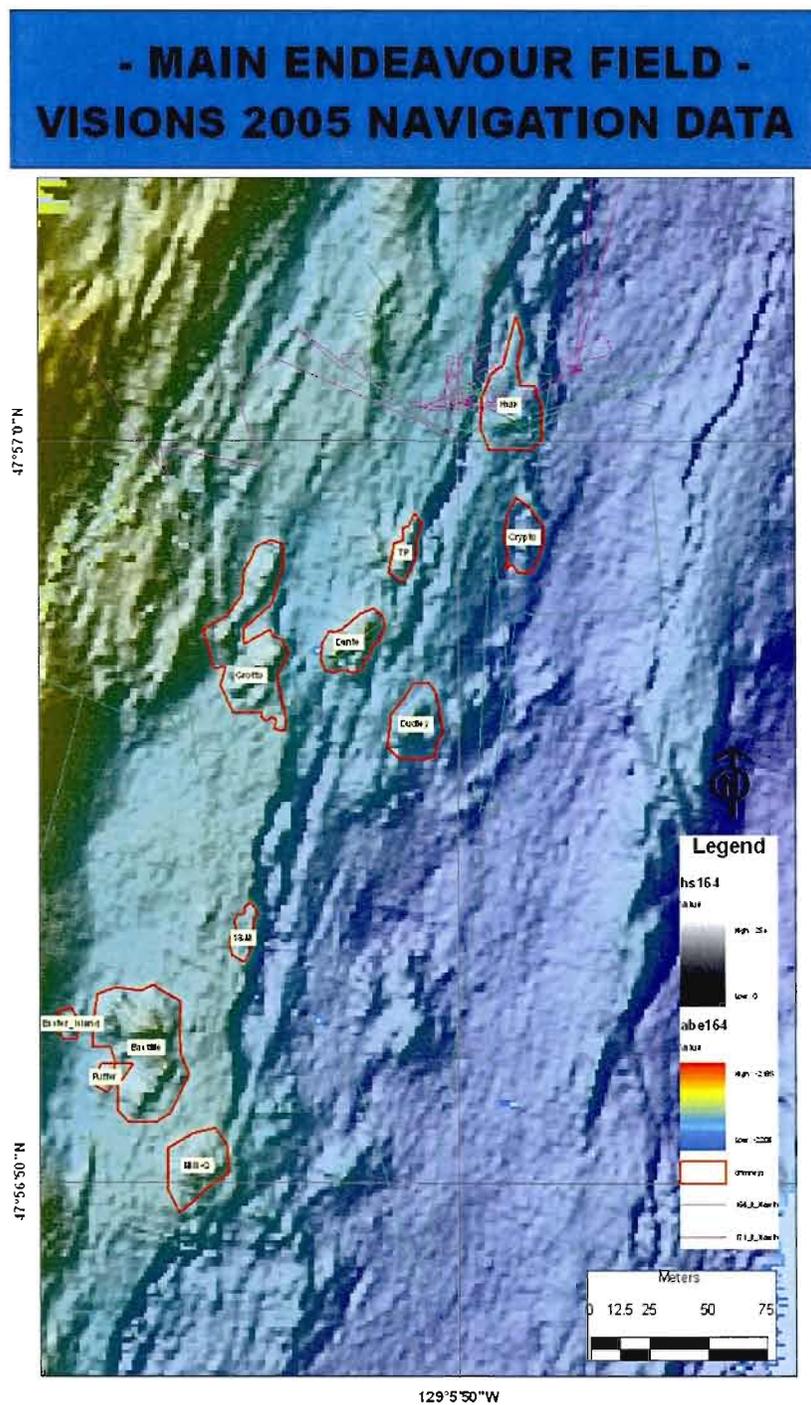


Figure 3.14 Carte des itinéraires de différentes plongées effectuées à Main Endeavour, lors de la mission Visions 2005 avec le sous-marin Jason 2 (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

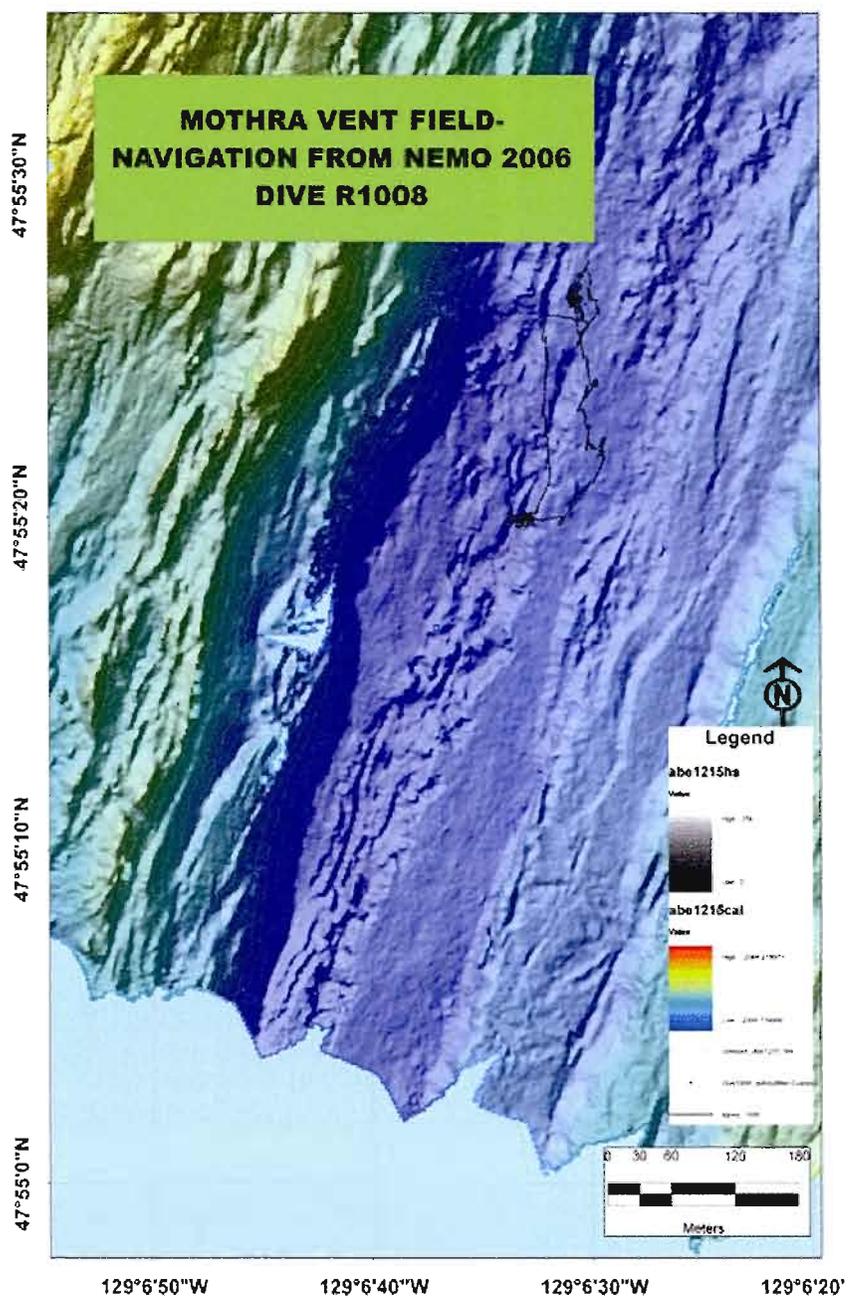


Figure 3.15 Carte de la bathymétrie du champ hydrothermal Mothra et données de navigation de la plongée 1008 de l'expédition NeMO 2006 (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

L'évaluation des trajets effectués à MEF sur la base des plongées de la mission NeMO 2006 et Visions 2005 donne une petite idée des trajets qu'ont utilisés les pilotes des sous-marins lorsqu'ils sont allés dans cette zone. On voit ci-dessous que la cheminée Hulk a été particulièrement visitée (fig. 3.16) - à moins que ce ne soit Crypto, si on se fie aux données des logs associés aux données de navigation... (fig. 3.11). Enfin, si l'erreur provenait des données de navigation du ROPOS, il y aurait un écart avec celles de Jason 2, rendant la comparaison impossible (puisque nous n'avons pas évalué en détails les plongées de la mission Visions 2005 et ne savons pas à quel moment le sous-marin se trouvait devant quelle cheminée, contrairement à celles de la mission NeMO 2006). Il serait donc tentant de conclure que Hulk est une cheminée particulièrement visitée, ce qui serait logique puisqu'elle est censée être l'une des structures les plus massives et les plus hautes du champ hydrothermal MEF. Toutefois, les résultats actuels ne nous permettent pas de conclure de la sorte. Il y a également des chances que le système de prise des données du sous-marin Jason 2 induise lui-même un biais dans les informations (un petit décalage, nous ne savons dans quelle direction et de combien de mètres...). Enfin, même si les données du ROPOS et de Jason 2 influençaient de la même manière les données, on peut observer que le point chaud d'échantillonnage est plus au nord pour la mission NeMO 2006 que pour la mission Visions 2005. Ce ne sont donc pas nécessairement les mêmes assemblages qui sont touchés par les passages des sous-marins.

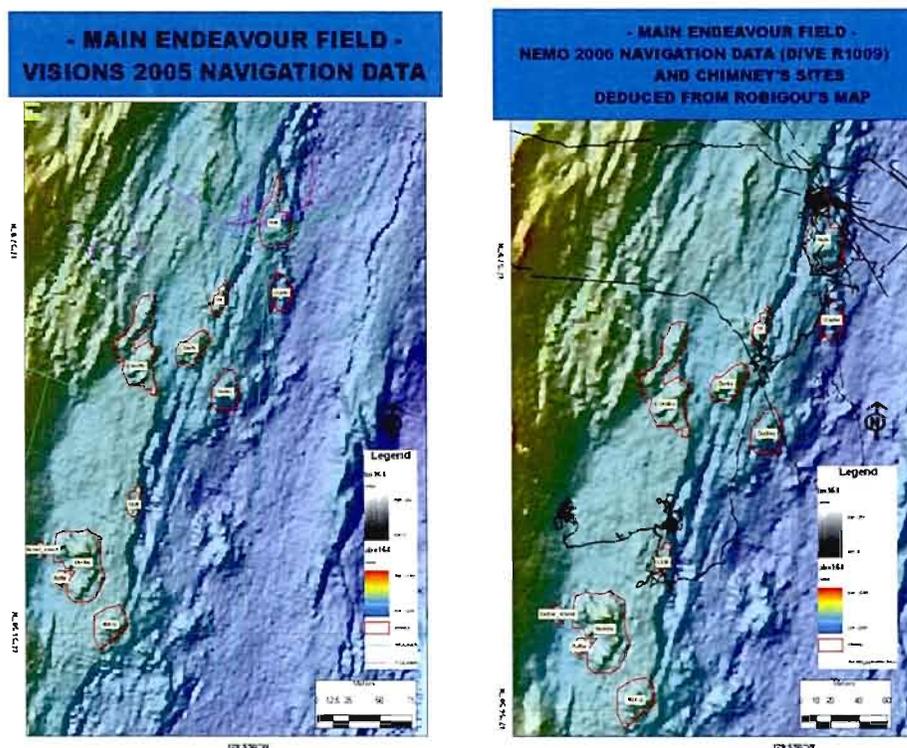


Figure 3.16 Comparaison des trajets effectués par le ROPOS et le Jason 2 lors de missions dans le champ hydrothermal MEF (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

Le problème concernant l'incertitude des données de navigation, les entrées de logs incertaines et la localisation douteuse de structures sulfureuses pourrait se résoudre par un séjour plus long (autour de cinq minutes) à un même point alors que le submersible est sur une structure que l'on souhaite identifier, dans le but d'acquérir plus de points de navigation.

Nous avons tenté, malgré les incertitudes quant à l'emplacement réel des cheminées et des sous-marins, d'évaluer les périmètres d'activité plus intense autour des cheminées et d'observer si certains corridors de déplacement sont davantage empruntés. Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil de mesure du programme ArcMap qui a permis de déterminer les périmètres et largeurs désirés. Les périmètres d'activité intense liés à la plongée R1009 ont été mesurés à partir de la carte vue précédemment en figure 3.13. Les résultats des mesures donnent que pendant cette plongée, l'activité se serait concentrée dans un périmètre de 120 mètres autour de Crypto, de 94 mètres autour de Dudley, de 95 mètres autour de Smoke and Mirrors et de 82 mètres autour de Easter Island. C'est donc un périmètre assez large qui est

visité par les sous-marins. Souvent, les lignes convergent vers un point, qui représente hypothétiquement une zone particulièrement échantillonnée. Quant à savoir si la zone encadrée par le périmètre subit véritablement plus de pression due à l'activité scientifique, il faudrait vérifier l'altitude du sous-marin lorsqu'il se trouve à l'intérieur du périmètre mesuré. Nous avons en effet constaté dans la section analysant les vidéos des plongées que des déplacements à plus de 5 mètres d'altitude ne produisaient jamais d'impact (dans les cas qui ont été analysés, évidemment).

Un équivalent de la carte de la figure 3.14, représentant deux trajets de la mission Visions 2005 a été redessiné, en enlevant les polygones représentant les cheminées (fig. 3.17), étant donné que nous ne savons pas si ces polygones représentent réellement des cheminées, et si c'était le cas, lesquelles ils représentent. Les deux seuls trajets de cette mission qui se situaient dans le champ hydrothermal MEF étaient ceux correspondant aux plongées 166 et 171. Nous n'avons pas comparé les trajets de la mission NeMO 2006 avec ceux de la mission Visions 2005, car les biais (s'il y en a) liés aux deux systèmes de navigation différents ne sont probablement pas les mêmes. Nous voulions mesurer la largeur des corridors de déplacement (les «routes» les plus empruntées par les sous-marins, soit parce qu'elles sont connues et/ou qu'elles sont plus facilement navigables). Les résultats de ces mesures ont donné que pour la section la plus au nord de la carte où les deux trajets se retrouvent relativement parallèles le temps d'un détour de la plongée 166, la largeur du corridor de déplacement était d'environ 109 mètres. La zone suivante qui a été mesurée est celle au sud de l'amas de lignes convergentes. Cette zone, où le trajet 166 est passé à quatre reprises, mesure 86 mètres de largeur alors que la portion plus au sud où le sous-marin est passé trois fois, est large d'environ 31 mètres. L'impression dominante que donne ces résultats est que, plus souvent qu'autrement, les sous-marins naviguent à l'est de la zone où se concentrent les sources hydrothermales, une section du champ MEF qui est particulièrement profonde. Ceci est probablement dû au fait qu'ils risquent ainsi moins de heurter des cheminées, mais qu'ils restent proche de leurs sites d'échantillonnage. Bien que les trajets 166 et 171 arrivent ou partent de l'ouest, ils ne semblent pas suivre une même trajectoire pour y parvenir. Quant au périmètre visité de façon plus récurrente pour ces deux plongées, il est évalué à 260 mètres. Il faudrait revenir dans les archives de cette mission pour voir pourquoi les manipulations (ou du moins, les trajets) étaient concentrées dans cette

zone. Cependant, comme nous n'avons pas décidé de le faire suffisamment tôt et que l'obtention de données de ce type est un processus très long, ce devra être le sujet d'études ultérieures.

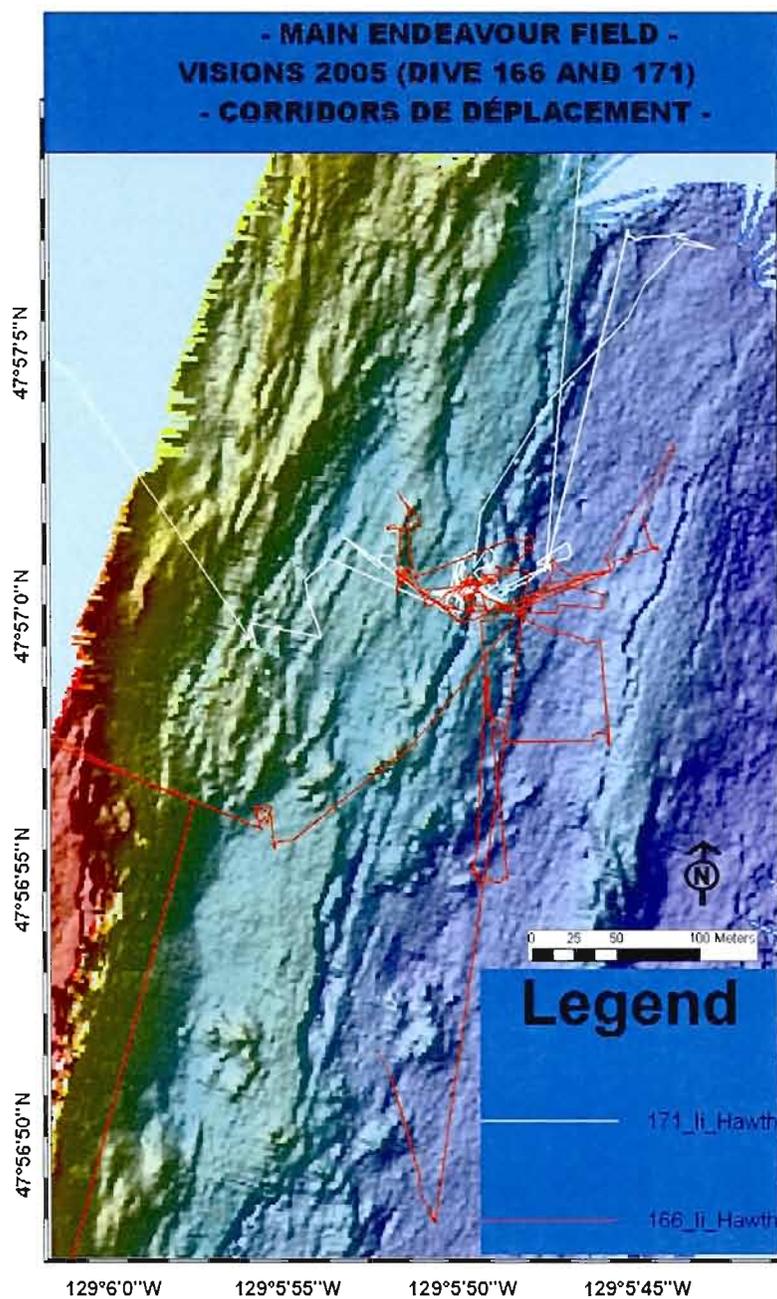


Figure 3.17 Carte horizontale des sites d'activité intense et des corridors de déplacement empruntés lors de la mission Visions 2005, pour les plongées 166 et 171 au champ hydrothermal Main Endeavour (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

3.11 Autres considérations environnementales

Les activités scientifiques sous-marines et la circulation maritime au-dessus de la ZPM Endeavour peuvent avoir des impacts secondaires moins évidents que ceux auxquels on penserait à prime abord. En effet, les déchets laissés au fond de l'eau peuvent aussi avoir des répercussions sur le milieu, en plus des échantillonnages scientifiques et des déplacements des sous-marins.

Pendant la mission NeMO 2006, il a été observé que des déchets (cartons d'emballage de nourriture, verre, aliments) étaient jetés par-dessus bord du navire. Cela comprenait de la nourriture, mais également tous les débris qui n'étaient pas en plastique (le plastique étant le seul matériau banni pour le rejet dans l'eau à une distance de plus de trois miles de la côte). Cela engendre la «découverte» d'objets non identifiés très inesthétiques et parfois encombrants au fond de l'eau¹.

¹ Il semble nécessaire que les règlements et lois soient plus sévères concernant le traitement des déchets sur les navires. Le recyclage pourrait dévier la majeure partie de ces rebuts, rehaussant grandement l'aspect des fonds marins et par la même occasion engendrer des économies (les matériaux trouvant ainsi une deuxième vie). La principale façon de se débarrasser des déchets sur les navires est souvent l'incinération. Bien qu'on ne puisse affirmer que les émanations de l'incinérateur puissent nuire à la faune marine et hydrothermale de façon directe, cette méthode est polluante en terme de particules (sur le Thompson, la fumée se dégageant de l'incinérateur était noire, opaque et extrêmement malodorante) et par ses émanations de gaz à effet de serre (CO₂). L'incinération produit de l'anhydride sulfureux et des NOx qui contribuent aux pluies acides et au smog (Statistiques Canada, 2006). Un système de compression des déchets permettrait de condenser les déchets récupérables ou recyclables, donc de garder sur le navire plus de nos déchets. Du compostage pourrait éventuellement éviter de jeter systématiquement la nourriture à l'eau. Évidemment, la réduction de déchets à la source est idéale. N'ayant pas mis l'accent sur cet aspect lors de la planification du projet de recherche, il est impossible de déterminer les secteurs où il y a le plus d'emballage ou de résidus inutiles, et de dire de quelle manière on pourrait réduire les déchets des navires de recherche.

Non seulement les activités liées au fonctionnement et au maintien du navire lui-même et à la subsistance de ses occupants, mais les activités scientifiques aussi peuvent altérer le paysage sous-marin. Les outils scientifiques sont en effet souvent laissés, et même oubliés, sur le fond marin (fig. 3.18). Uniquement pendant la mission NeMO 2006, plusieurs ancres «orphelines» ainsi que quelques kilomètres d'une corde de plastique ont été remarqués (cette corde se trouvait au site du Volcan Axial). Cette corde provenait d'une bouée d'amarrage laissée deux ans plus tôt et qui était censée être relâchée automatiquement l'année suivant son installation par un système automatique alimenté par une batterie. Mais cet instrument a été oublié, et deux ans plus tard, l'eau salée et les vagues l'avaient rongé. La corde est tombée au fond de l'océan et les bouées et les autres pièces de l'instrument ont été dispersées dans l'océan. Un autre incident se produisit avec une trappe à sédiments qui devait récolter des larves de patelles à Main Endeavour. Elle a été perdue en pleine mer alors que le ROPOS cherchait à la remonter au navire. La structure de fibres de verre et de métal a probablement coulé au fond du champ hydrothermal, avec son contenu biologique. Finalement, un troisième instrument, le RAS (pour Remote Access Sampler; un outil qui récolte de grandes quantités d'échantillons de fluide et de particules à intervalles réguliers) 2005, a bien été récupéré dans le navire, mais quatre panneaux de plastique mesurant chacun environ 30 x 50 cm y manquaient. Ce sont donc d'autres traces humaines qui risquent de demeurer dans la Zone de Protection Marine. Les impacts environnementaux peuvent être plus grands dans la ZPM car on y fait davantage d'échantillonnage, et qu'il y a donc éventuellement plus de déchets scientifiques. Autrement, pour ce qui est des déchets provenant des navires, on peut s'attendre à ce qu'une attention spéciale soit portée lors du survol de la ZPM et qu'il y en ait donc moins. Toutefois, toute trace humaine laissée dans la ZPM est plus choquante pour le public, qui s'attend à ce que le milieu soit conservé le plus intact possible alors que les attentes ne sont pas aussi élevées pour les zones avoisinantes. De plus, les ZPM sont bien plus médiatisées et surveillées que le reste des océans, et cela paraît mal si même ces zones sont négligées.



Figure 3.18 De gauche à droite : RAS à Mothra, été 2006; ancre de fer à MEF, été 06; corde de plastique à Axial, été 2006.

3.12 Retour sur les résultats de l'étude

La première grande section des résultats visait à évaluer les assemblages présents dans la Zone de Protection Marine Endeavour. Pour résumer les résultats concernant ce sujet, l'analyse des communautés des sites visités des champs hydrothermaux Mothra et Main Endeavour a permis de trouver que l'assemblage V High-flow était peu représenté. Un suivi de cette étude sur les assemblages permettrait d'observer la progression temporelle existant sur une même cheminée, au niveau de ses communautés. D'un point de vue plus méthodologique, l'outil des cartes verticales s'est avéré un peu long à produire, à cause des nombreuses étapes à franchir, mais il est très efficace, car on peut constater en un seul coup d'oeil ce à quoi ressemble la répartition de communautés fauniques en un site. La relation entre l'habitat et les assemblages a été confirmée : les bases des édifices étaient généralement couvertes par l'assemblage VII et les sommets par l'assemblage I, ce qui laisse penser que le pied des cheminées est plus vieux que leurs sommets. Enfin, les parois et surplombs étaient généralement couverts par les assemblages V Low-flow et III-IV, des intermédiaires en terme de succession d'espèces entre les assemblages retrouvés à la base et au sommet. La rareté de l'assemblage V High-flow laisse croire que soit, les conditions de flux ne sont habituellement pas suffisantes pour soutenir ce type de communauté dans les champs étudiés, soit les portions des cheminées qui pourraient évoluer vers l'assemblage V High-flow n'ont pas suivi leur cours naturel. Cette situation pourrait être due à ce que l'assemblage I est souvent affecté par les activités d'échantillonnage de flux – une des activités les plus dommageables pour la faune – et donc, que les portions les plus exposées

au flux hydrothermal ne peuvent pas toujours évoluer vers la colonisation des *Ridgeia piscesae* dans des conditions propices à la reproduction. Enfin, comme seulement certaines faces des cheminées ont été visitées, il y a toujours une chance que cet assemblage ait été davantage présent ailleurs, mais que les vidéos n'aient simplement pas permis de le constater. Dans une étude à venir, il serait intéressant d'étudier la proportion des sites d'assemblage I qui subit cet effet d'échantillonnage.

La deuxième grande section de ce mémoire visait à analyser des impacts de la recherche en milieu hydrothermal. À cet effet, le faible nombre d'échantillons que nous possédions (2 vidéos par champ hydrothermal) a montré que les plongées créent plus d'impacts lorsqu'il y a plus d'échantillonnage. Il s'est aussi dégagé de notre analyse des activités scientifiques que l'échantillonnage de flux est relativement risqué (dommageable pour la faune); que la vigilance est de mise lorsque le sous-marin se dépose au fond afin d'éviter d'écraser des communautés rares (comme l'assemblage V High-flow) ou fragiles et qu'éviter le sur-place du sous-marin dans la colonne d'eau et favoriser les transits à plus de 5 mètres d'altitude sont préférables afin d'éviter le plus possible d'endommager la faune hydrothermale. De manière générale, les impacts les plus forts et les plus fréquents se sont produits par l'échantillonnage géologique et biologique. La comparaison entre les deux types de sous-marins n'a pas donné de résultat concluant. Afin de parvenir à ce but, il serait préférable de comparer deux missions similaires, comprenant les mêmes types d'échantillonnage, afin de déterminer si l'un des deux modèles de sous-marin (habité ou téléguidé) crée plus ou moins d'impacts que l'autre pour une activité donnée. Il est cependant intéressant de considérer que l'Alvin laisse des poids de plongée au fond de l'océan pour remonter à la surface, et qu'il peut se départir ainsi de plus de 375 kilogrammes par plongée. Cela engendre inévitablement des déchets sur le sol océanique. Les assemblages qui ont été les plus touchés par les activités scientifiques lors de la mission NeMO 2006 ont été l'assemblage III-IV, dominant sur les cheminées, et l'assemblage I, car se trouvant au sommet des cheminées, donc là où se pratique l'échantillonnage de flux. Lors de la mission Atlantis-Alvin 2004, c'est l'assemblage V High-flow qui a été le plus touché par les activités scientifiques, probablement parce qu'il se trouve là où les conditions sont les plus intéressantes pour l'étude géologique et biologique des sources. Nous ne savons toutefois pas si en 2004, cet assemblage était plus représenté qu'à l'été 2006 et donc si ceci aurait pu

être la cause d'une meilleure représentation deux ans avant notre analyse des assemblages hydrothermaux.

L'analyse des questionnaires, et donc de la perception des scientifiques par rapport à leurs activités, a donné que la valeur biologique des sources est souvent considérée comme plus importante que les autres types de valeurs. L'équipage du ROPOS est particulièrement sensibilisé aux impacts potentiels généraux des activités de recherche en milieu hydrothermal, mais ce sont les professeurs qui sont les plus sensibles aux valeurs esthétique, éducationnelle et scientifique de cet écosystème. Les intérêts et le type de travail influencent donc certainement la perception des répondants quant aux aspects à considérer lors de la planification d'une mission et quant à la gravité des impacts engendrés par les différentes activités. Il est également ressorti que les ancrs et autres instruments laissés au fond de l'océan peuvent totaliser de grandes quantités de métal. Aussi, les chercheurs et les pilotes devraient systématiquement être informés des impacts potentiels de leurs activités et des différents types de valeurs que ces écosystèmes peuvent avoir AVANT d'arriver sur les lieux de l'échantillonnage. Il est également important que chacun réalise que ce n'est pas parce qu'un échantillonnage ne vise pas la faune qu'il ne l'affecte pas. Enfin, plus les gens perçoivent que leurs impacts sont importants, plus ils y font attention lors de la planification des missions.

Les cartes horizontales auraient été un outil efficace pour déterminer les corridors de déplacement les plus utilisés par les missions scientifiques sous-marines dans cette zone s'il ne s'était avéré si difficile d'intégrer les différentes cartes représentant la bathymétrie et les trajets des sous-marins. Nous ne savons malheureusement pas à quoi attribuer les problèmes encourus, tellement de causes étant probables. Il serait intéressant de poursuivre ce type de travail, mais en s'assurant de contrôler davantage de facteurs potentiellement sources de biais, tels l'identification des structures sur le terrain puis sur les cartes bathymétriques et le décalage possiblement induit par le système de navigation du sous-marin. Si les cartes hybrides produites avaient été valables, elles auraient pu donner des informations très pertinentes sur les sites les plus visités et les voies les plus empruntées. Maintenant que ces outils sont créés, il ne reste plus qu'à poursuivre le travail pour analyser des résultats valides.

En dernier lieu, cette section du projet a permis de réaliser que d'autres enjeux environnementaux peuvent se poser en lien avec la recherche autour des sources hydrothermales, notamment la problématique de l'évacuation des déchets sur les navires et celle des outils scientifiques oubliés ou abandonnés au fond de l'eau.

Comme notre travail se voulait de nature exploratoire, les pistes sont ici lancées afin que des recherches ultérieures puissent mieux analyser les diverses problématiques mentionnées ci-haut – que ce soit celle des assemblages fauniques, celle des activités ayant des impacts divers selon le type de sous-marin, celle des corridors de déplacement et des points chauds d'échantillonnage dans la ZPM ou encore la problématique des déchets.

CONCLUSION

Les deux buts principaux de ce mémoire consistaient en l'identification de la biodiversité des sources hydrothermales de la Zone de Protection Marine d'Endeavour et en la production d'un répertoire des activités potentiellement dommageables pour cette faune. Cette étude de cas a été envisagée par une approche exploratoire permettant de toucher à plusieurs facettes de ces questions. Les deux buts découlent d'un souci de respecter les deux principaux accords qui régissent la biodiversité et les activités marines au Canada, soit la Convention sur la Diversité Biologique et la Convention sur le Droit de la Mer.

La faune qu'abritent les sources hydrothermales est unique de par les adaptations des espèces à ce milieu extrême. On a découvert les organismes des sources il y a une trentaine d'années. Depuis, plusieurs missions scientifiques s'y consacrent par année, mais les connaissances sur leur habitat et leur répartition restent limitées. Dans la zone de protection marine Endeavour, des études ont montré que les assemblages de communautés suivaient normalement une certaine succession, commençant par la colonisation du milieu par des organismes très résistants à la chaleur et aux composés chimiques du flux, puis allant vers une diversification des espèces à mesure que le flux et la température diminuent et que certains processus biologiques ont cours. Les seules activités permises dans la ZPM Endeavour sont de type scientifique. Toutefois, des études suggèrent que la recherche a des impacts négatifs sur la faune et les habitats des sources hydrothermales.

Le présent mémoire permet de déterminer la répartition des assemblages lors des plongées 1008 et 1009 effectuées avec le ROPOS à l'été 2006. Il propose aussi des pistes concernant la façon dont les activités scientifiques ont pu avoir des impacts sur cette faune. Le travail s'est divisé en quatre grandes étapes répondant chacune à plusieurs objectifs et pour lesquelles les résultats ont été traités indépendamment.

(1) En un premier temps, la création de cartes verticales a permis l'analyse quantitative de la surface couverte par les différents assemblages. Ceci s'est fait par calcul visuel (grâce aux grilles de 1m x 1m) des aires représentant chaque type de communauté. Par la même occasion, nous avons déterminé le lien visuel entre le type d'assemblage et le type d'habitat présents. Lors de futurs travaux, l'analyse par la cartographie verticale pourra contribuer à une meilleure compréhension de la biodiversité des sources hydrothermales. Comme l'environnement hydrothermal change constamment, il serait effectivement très intéressant d'étudier les variations d'assemblages en un même emplacement, année après année.

Les résultats de cette section indiquent que l'assemblage V High-flow est peu représenté et que de façon générale, il existe une relation directe entre le type d'habitat et le type d'assemblage. Ainsi, les bases des édifices sont généralement couvertes par l'assemblage VII, les parois et surplombs par les assemblage V Low-flow et III-IV, et les sommets par l'assemblage I. Comme les sommets sont souvent le lieu de l'échantillonnage de flux, on pourrait penser que l'assemblage I qui s'y trouve et qui est le principal affecté par cette activité ne peut pas évoluer vers l'assemblage V High-flow. Cependant, l'échantillonnage de flux pourrait aussi bien avoir l'effet inverse, accentuant le flux par la création d'un orifice plus large, ce qui mènerait à une succession vers l'assemblage V High-flow (Sarrazin *et al.*, 1999). Revisitez l'hypothèse de non-équilibre de Connell afin de l'interpréter dans le cas des communautés des sources hydrothermales. Les perturbations empêcheraient le système d'atteindre un équilibre dominé par quelques espèces. Ainsi, un niveau modéré de perturbations d'origine soit naturelle, soit humaine pourraient être positives pour la biodiversité hydrothermale. Par contre, si l'assemblage V Low-flow (qui est riche en espèces) ne subit pas assez de perturbations, il évoluera vers l'assemblage VI, plus stable mais moins diversifié. De plus, des perturbations trop fréquentes (comme ce pourrait être le cas s'il y a trop souvent de l'échantillonnage en un site donné) ne permettraient pas aux espèces de fin de succession de réaliser leur cycle de développement. C'est ce que nous observons dans le cas où l'assemblage I réapparaît continuellement suite à des perturbations (comme de l'échantillonnage de flux) répétées au sommet d'une cheminée hydrothermale. On pourrait croire que les impacts d'origine scientifique sur les populations des sources hydrothermales sont restreints étant donné que les processus géologiques permettent un

renouvellement rapide du substrat et de la faune et que les espèces hydrothermales croissent rapidement et atteignent tôt leur maturité sexuelle. Ainsi, même si les individus meurent, les populations perdurent. La possibilité que l'assemblage V High-flow soit critique pour la reproduction des vers vestimentifères rend toutefois plus complexe la problématique. On devrait s'assurer qu'il est suffisamment représenté car la distribution de cet assemblage pourrait décliner si le niveau de perturbations du milieu est trop important.

(2) Ensuite, l'analyse des activités scientifiques s'est effectuée par budget-temps. Celle-ci fut en partie de nature quantitative (nombre de fois que chaque activité a eu lieu, quantification de l'impact par une échelle d'importance et détermination de la surface de chaque assemblage touché ayant pu être vu) et en partie qualitative (l'impact étant inféré des traces laissées dans l'écosystème). Ces résultats fournissent les premières analyses quantitatives des perturbations liées aux activités scientifiques dans une zone de protection marine en milieu profond. Une publication récente soulignait justement que les données quantitatives sur l'efficacité des zones de protection marine sont rares (Willis *et al.*, 2003). Le portrait général de la situation donne un aperçu des activités créant le plus d'impacts dans chacune des quatre plongées étudiées. C'est lors de cette étape que nous avons pu comparer les impacts produits par le sous-marin téléguidé ROPOS avec ceux produits par le sous-marin habité Alvin. Il y a également eu constatation des habitats et assemblages les plus touchés par les diverses activités. C'est la méthode du budget-temps qui a permis de compiler les informations sur les activités à partir du visionnement de bandes vidéos.

Cette étape a permis de remarquer que, plus une plongée comprend d'échantillonnage (de toute sorte), plus elle produit des impacts sur l'écosystème. Les activités ayant eu des impacts de façon systématique sont l'échantillonnage biologique et l'échantillonnage géologique, toutes deux effectuées avec les pinces du sous-marin. L'échantillonnage de flux ne crée pas toujours d'impact, mais très souvent quand-même. Aucune différence marquée n'a pu être décelée entre les impacts des activités menées par le sous-marin téléguidé et le sous-marin habité. Les assemblages les plus touchés par les activités scientifiques se trouvent au sommet (donc l'assemblage I principalement) lorsqu'il y a beaucoup d'échantillonnage de flux, et dans les autres sites intéressants pour la recherche (donc

présentant un flux et une température élevés, et une faune foisonnante), souvent colonisés par l'assemblage V High-flow.

Il serait intéressant de comparer les impacts directs sur la faune, créés par l'échantillonnage, et ceux créés par une altération non intentionnelle de l'habitat. Pour étudier cette différence, il faudrait toutefois tester différents impacts en les provoquant volontairement, en limitant toute autre source d'impact et en retournant régulièrement sur les lieux de l'expérience afin d'observer l'évolution des communautés.

(3) La troisième étape visait à compiler des questionnaires recueillant les impressions des scientifiques et des pilotes du sous-marin ROPOS quant aux impacts potentiels de leurs activités et à la manière dont ils planifient leurs plongées en milieu hydrothermal.

Les résultats de cette partie du travail ont mis de l'avant que le type de profession (pilote, professeur, étudiant, technicien...) influence relativement la perception des impacts, et donc, la façon de planifier les missions en mer. Entre autres, la considération des différents éléments auxquels porter le plus attention lors de la planification d'une plongée varie selon l'expérience des répondants.

(4) La quatrième et dernière étape a été la production de cartes horizontales représentant les trajets les plus empruntés par les sous-marins dans la ZPM Endeavour. Nous voulions déterminer si certains sites étaient davantage visités, et donc peut-être aussi plus touchés par les activités scientifiques. La cartographie horizontale a été réalisée à partir de données bathymétriques et de données de navigation numériques (trajectoires du sous-marin). L'outil créé par le truchement des SIG pourrait servir à visualiser d'autres itinéraires de missions aux sites les plus visités de MEF. La méthodologie de ce travail, par la comparaison des itinéraires de missions et de leurs effets, permettra d'évaluer dans le futur si les trajets empruntés limitent réellement le plus possible les impacts sur l'écosystème hydrothermal.

(5) Sans être un des objectifs premiers de ce travail, le projet a permis d'identifier que d'autres impacts potentiels de la recherche scientifique mériteraient d'être étudiés. Il a été question de la problématique des déchets des navires et d'échantillonnage, mais nos

observations ont également soulevé d'autres questions. Par exemple, est-ce que la luminosité du sous-marin (faisceaux très lumineux dans un environnement naturellement sombre) peut influencer les communautés? Est-ce que le bruit occasionné par le sous-marin peut affecter la faune?

Il s'agit d'une étude de cas, donc les résultats précis du mémoire (comme le type d'assemblage observé sur une portion donnée d'une cheminée ou telle que l'activité que le ROPOS a effectuée lors d'une certaine plongée en un temps précis) ne s'appliquent qu'aux sites visités et aux plongées analysées dans les deux champs hydrothermaux de la ZPM. Par contre, les conclusions préliminaires qui peuvent être tirées de certains de ces résultats (comme par exemple la relation entre les assemblages et les habitats, ou la fréquence à laquelle une certaine activité produit des impacts sur le milieu) sont généralisables, soit à l'ensemble de la Zone de Protection, soit à plusieurs missions scientifiques du même type, en milieu hydrothermal. Le projet a été élaboré de façon à s'ancrer dans un cadre pratique en plus de répondre aux exigences académiques. C'est pourquoi les méthodes élaborées pour ce projet et une grande partie des résultats ont été transmis sous forme de rapport (Dancette et Juniper, 2007) au Ministère des Pêches et des Océans du Canada qui gère la Zone de Protection Marine *Endeavour* et s'intéresse à la faune qui s'y trouve et aux activités scientifiques qui y sont menées.

Tel qu'indiqué dans la section passant en revue la littérature associée à la biodiversité des sources hydrothermales, l'assemblage V HF pourrait être particulièrement important, de par le rôle vital qu'il jouerait dans la reproduction de *R. piscesae*. Une attention spéciale doit donc être portée à sa conservation. Il serait alors justifié de restreindre les activités scientifiques à proximité des assemblages SHF, d'autant plus que notre analyse de la biodiversité des deux champs hydrothermaux a démontré que c'est un assemblage rare à Mothra comme à MEF. Selon la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), la Zone de Protection Marine *Endeavour* présente un cas de conservation *in situ*. Cela signifie qu'on y protège des écosystèmes et des habitats naturels, et que l'on cherche à y maintenir des populations viables d'espèces dans leur milieu naturel (PNUE, 2001). Comme pour l'instant nous manquons d'informations pour déterminer si les faibles populations de communautés V High-flow sont viables ou non, il serait préférable d'appliquer le principe de précaution et

d'éviter d'échantillonner ce type d'assemblage dans la ZPM, au moins jusqu'à ce que l'on sache à quoi s'en tenir précisément.

En ce qui concerne les activités de recherche en milieu hydrothermal, il serait profitable d'encourager les scientifiques à consacrer du temps de plongée à l'exploration de nouveaux sites afin de relâcher une partie de la pression engendrée par la récolte aux sites les plus visités (Dando et Juniper, 2001). Éviter la duplication des échantillonnages (par une banque d'information centrale au sujet des planifications de recherche) est une des bonnes mesures déjà mises en place qui demande encore à être améliorée. À ce sujet, le préambule de la Convention sur la Diversité Biologique stipule qu'il importe et qu'il est nécessaire de favoriser la coopération à toutes les échelles gouvernementales et non gouvernementales par le partage des informations et échantillons entre scientifiques de toutes origines. C'est l'article 17 de la CDB qui demande aux parties contractantes d'échanger les informations résultant des recherches scientifiques (PNUE, 2001). De façon plus précise, les scientifiques pourraient déjà se fixer le but de réduire le plus possible les activités d'échantillonnage de flux, biologique et de faune. Lors des plongées, une attention spéciale devrait être portée au fait de ne pas déposer le sous-marin sur des assemblages fragiles ou rares et d'éviter les tentatives d'immobilisation du sous-marin dans la colonne d'eau. Les transits devraient se faire autant que possible à une altitude supérieure à cinq mètres.

Enfin, les méthodes de navigation et d'échantillonnage peuvent encore être modifiées et améliorées, et des erreurs pourraient possiblement être évitées si la communication entre les scientifiques et les pilotes du sous-marin était meilleure. Les informations fournies par les questionnaires nous ont en outre permis de constater qu'une période d'information préalable à chaque mission scientifique en milieu hydrothermal serait bénéfique afin d'instruire les scientifiques et l'équipage du sous-marin sur les impacts potentiels de leurs activités et des aspects à considérer lorsqu'ils planifient et participent à une plongée

Les expérimentations au fond devraient être suivies de plus près afin de s'assurer que l'expérience de la bouée d'amarrage ne se reproduise pas. La perte d'équipement non biodégradable dans l'océan est esthétiquement et financièrement coûteuse et dommageable pour l'environnement. De manière à réparer des fautes commises dans des plongées

antérieures, les plongées de nettoyage sont une solution à continuer d'explorer, bien que leur recours de façon systématique soit discutable.

D'un point de vue politique et juridique, la Convention sur le Droit de la Mer mériterait d'être resserrée quant à ce qui touche au traitement des déchets sur les navires. Finalement, il serait intéressant de mener des études futures sur les impacts potentiels de la lumière et du bruit produits par les sous-marins sur la faune de l'océan profond et des sources hydrothermales. Aussi, bien que dans le futur, les activités humaines et les changements climatiques auront probablement moins d'impact sur l'environnement marin profond que dans les autres parties des océans, la pression accrue sur les ressources terrestres mènera à une augmentation des activités dans ces milieux, ce qui risque d'engendrer des impacts directs et indirects. Il est fort à parier que cet environnement sera grandement altéré avant qu'on ne le connaisse vraiment.

APPENDICE A

CARTES VERTICALES DES STRUCTURES HYDROTHERMALES VISITÉES LORS DES PLONGÉES R-1008 ET R-1009 DE LA MISSION NEMO 2006 – ASSEMBLAGES ET HABITATS

A.1 Cartes verticales des cheminées Hot Harold et Notre-Dame du champ Mothra	99
A.2 et A.3 Carte verticale de la cheminée Hulk (face sud-ouest). Carte verticale d'un site riche en fumeurs noirs et sources diffuses, où le RAS 2005 avait été laissé. Les deux structures se trouvent au champ hydrothermal Main Endeavour.	100
A.4 et A.5 Cartes verticales des cheminées hydrothermales Crypto et Dudley, du champ Main Endeavour	101
A.6 Carte verticale de la cheminée hydrothermale Smoke and Mirror, du champ MEF .	102

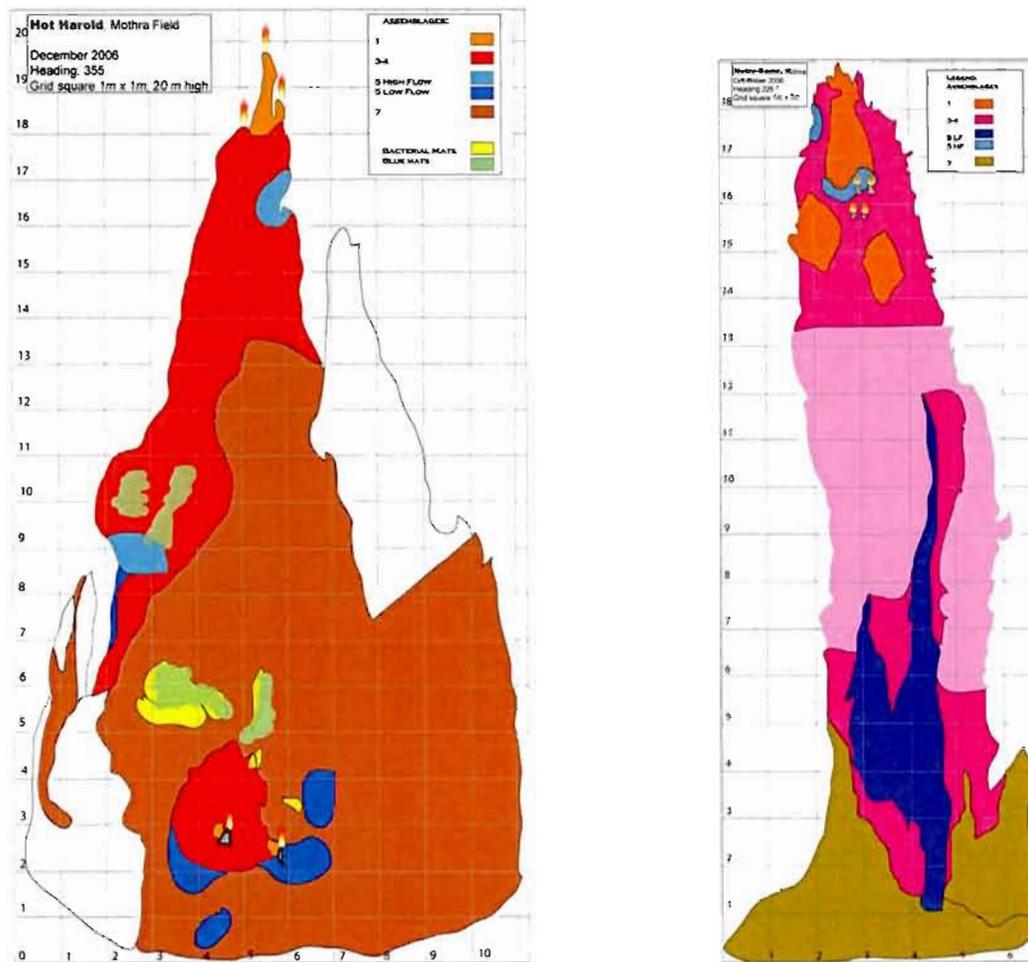


Figure A.1 Cartes verticales des cheminées Hot Harold et Notre-Dame du champ Mothra (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

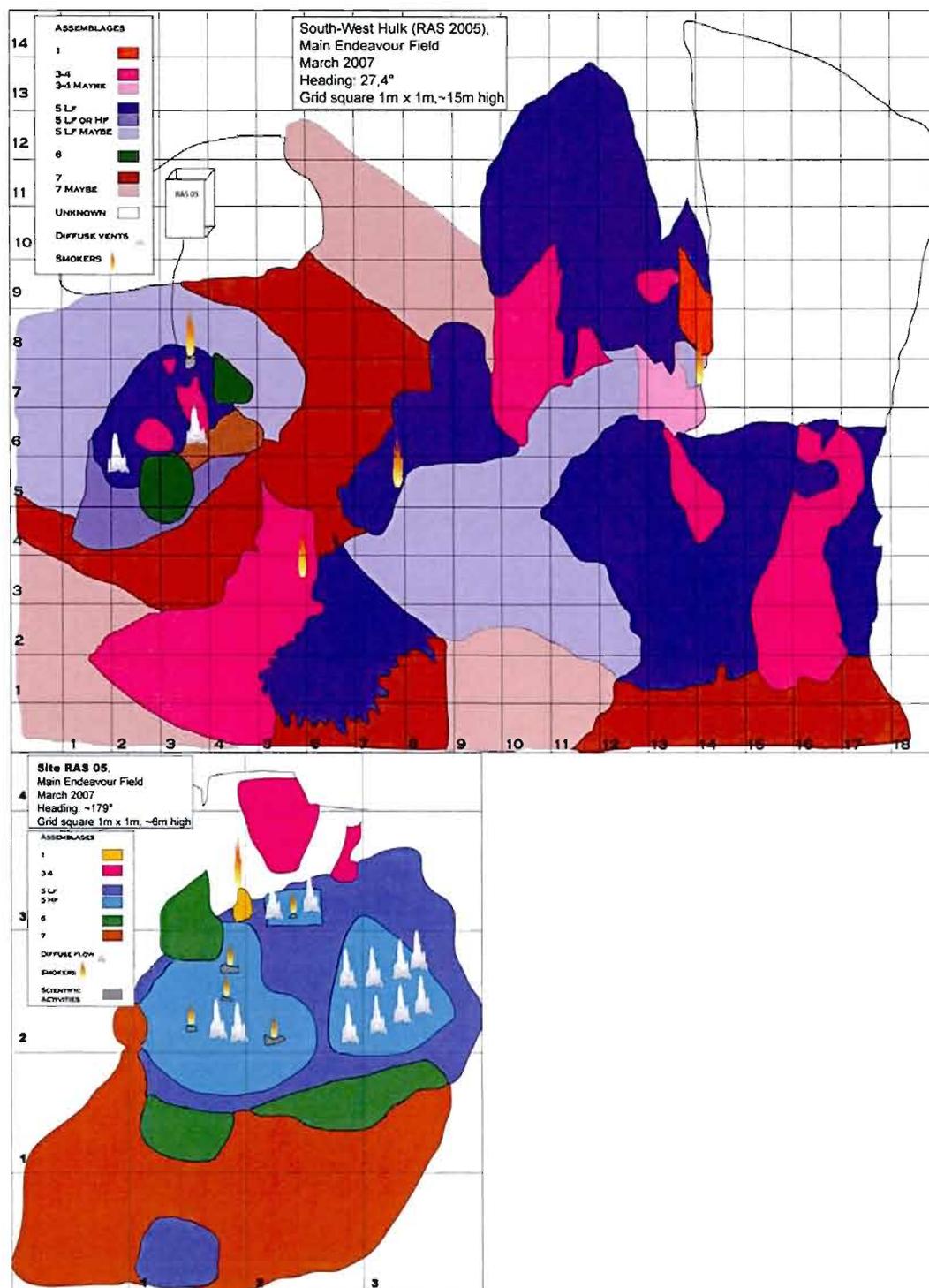
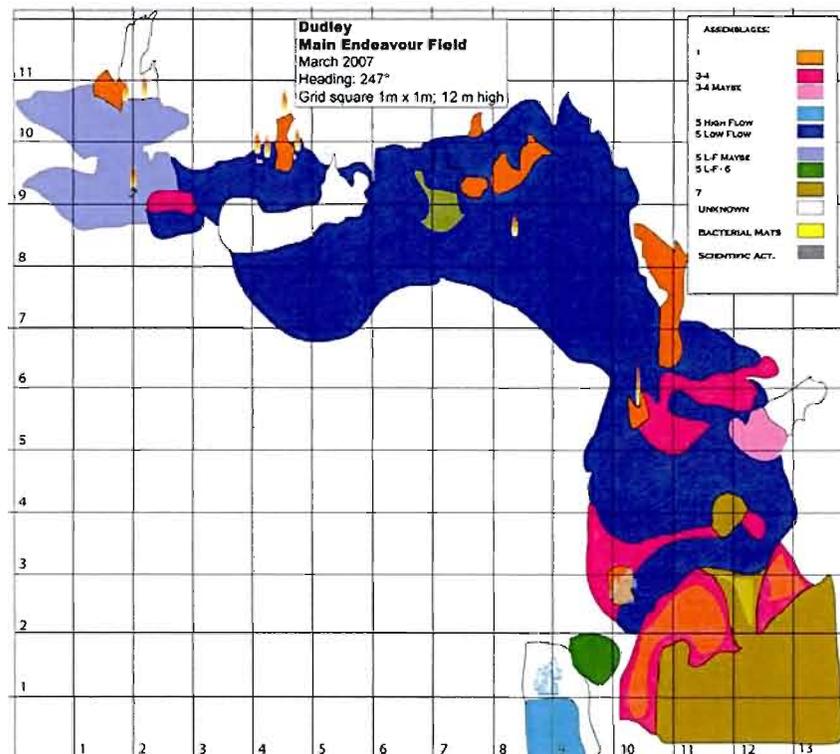
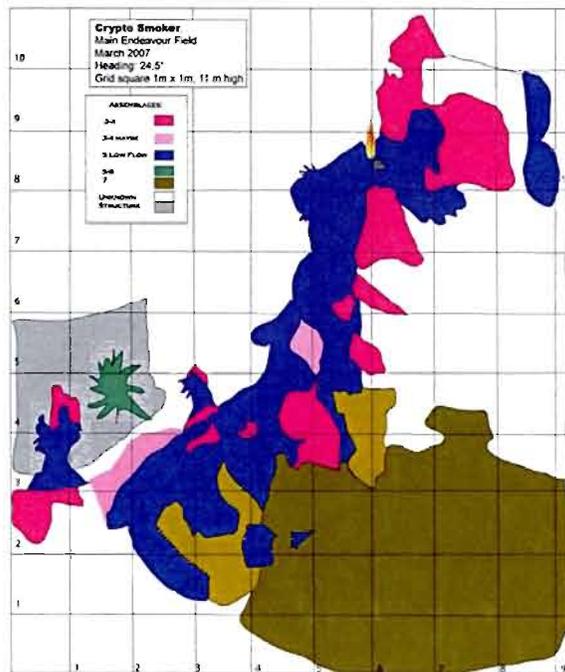


Figure A.2 et A.3 Figure du haut : carte verticale de la cheminée Hulk (face sud-ouest). Figure du bas : carte verticale d'un site riche en fumeurs noirs et sources diffuses, où le RAS 2005 avait été laissé. Les deux structures se trouvent au champ hydrothermal Main Endeavour (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).



Figures A.4 et A.5 Cartes verticales des cheminées hydrothermales Crypto et Dudley, du champ Main Endeavour (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

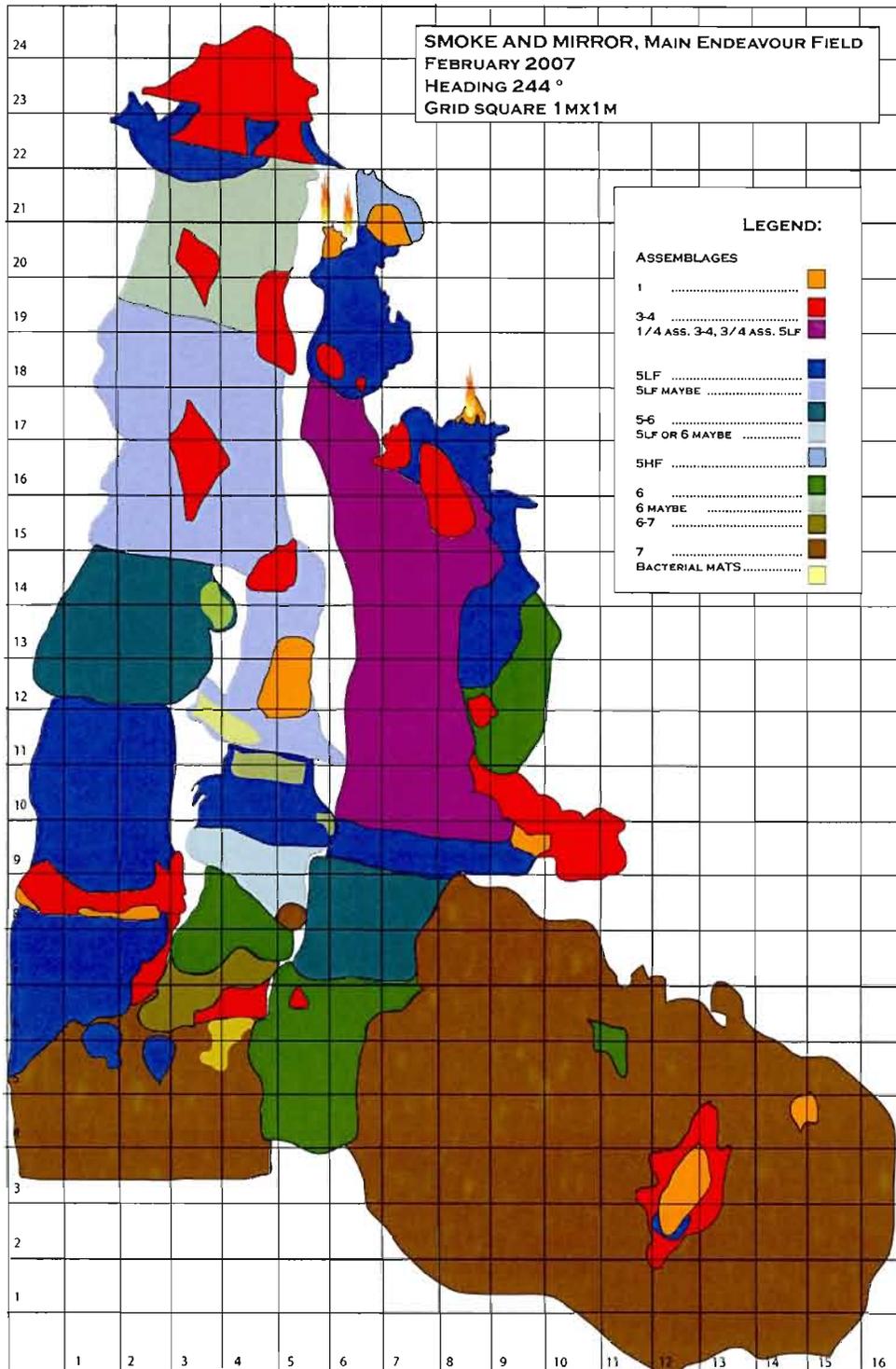


Figure A.6 Carte verticale de la cheminée hydrothermale Smoke and Mirror, du champ MEF (images tirées de Dancette et Juniper, 2007).

APPENDICE B

CARTES VERTICALES DES STRUCTURES HYDROTHERMALES VISITÉES LORS DES PLONGÉES R-1008 ET R-1009 DE LA MISSION NEMO 2006 – ASSEMBLAGES ET HABITATS ET ZONES IMPACTÉES PAR LES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

B.1	Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Hot Harold, à Mothra	104
B.2	Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Notre-Dame, à Mothra.	105
B.3	Carte verticale des impacts observés au site du RAS 2005, MEF.	106
B.4	Carte verticale de la cheminée Dudley et des impacts qui y ont été observés, champ hydrothermal Main Endeavour.	107
B.5	Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Smoke and Mirror, MEF.	108

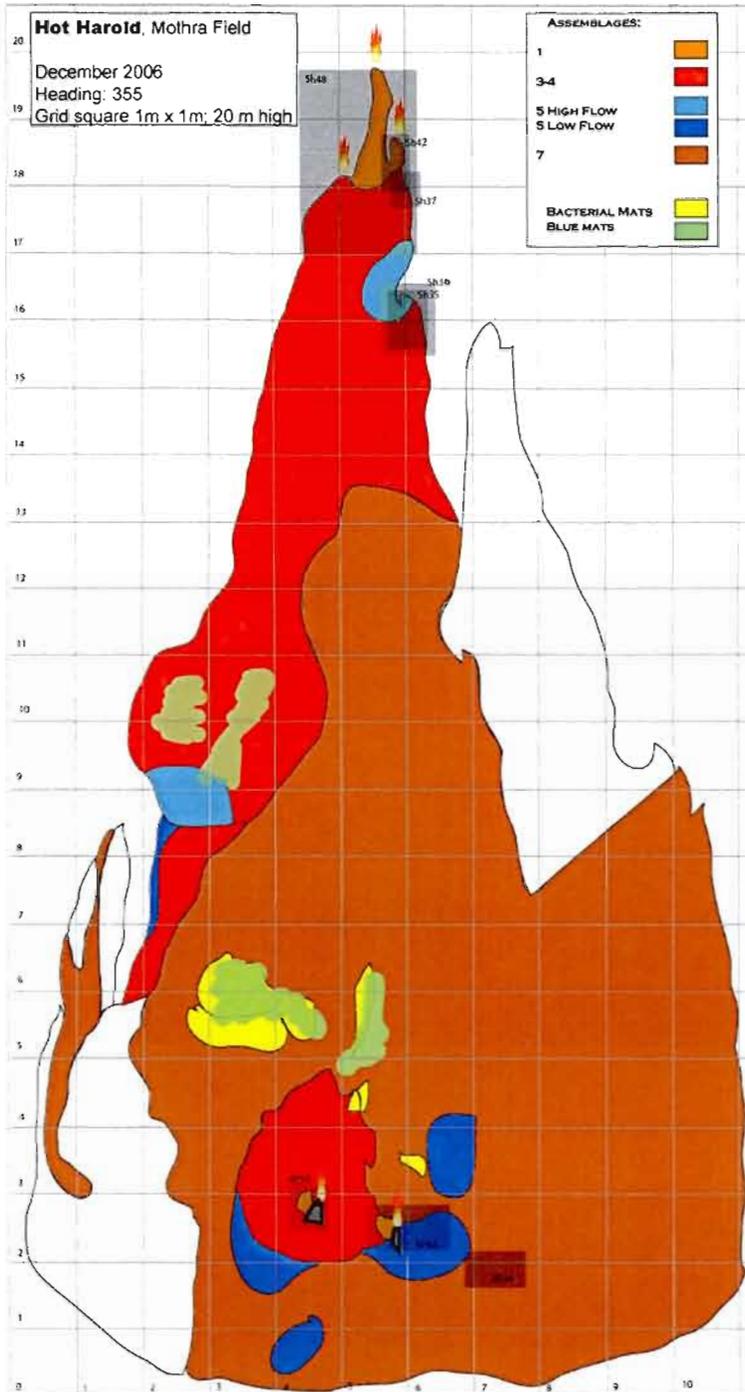


Figure B.1 Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Hot Harold, à Mothra (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

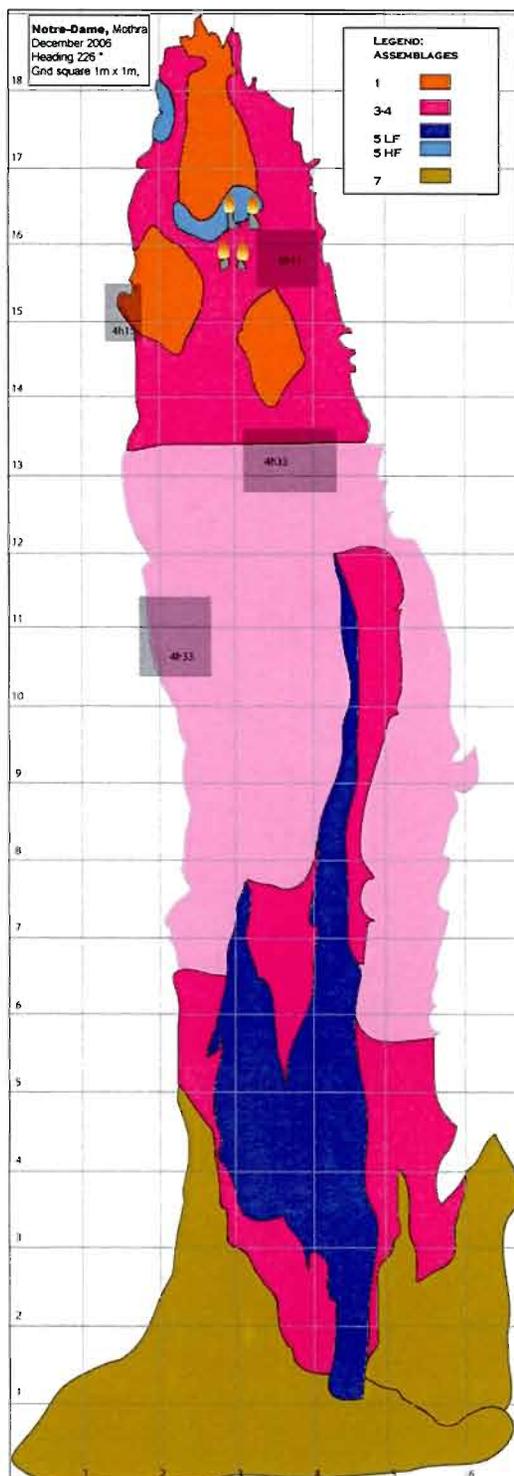


Figure B.2 Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Notre-Dame, à Mothra (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

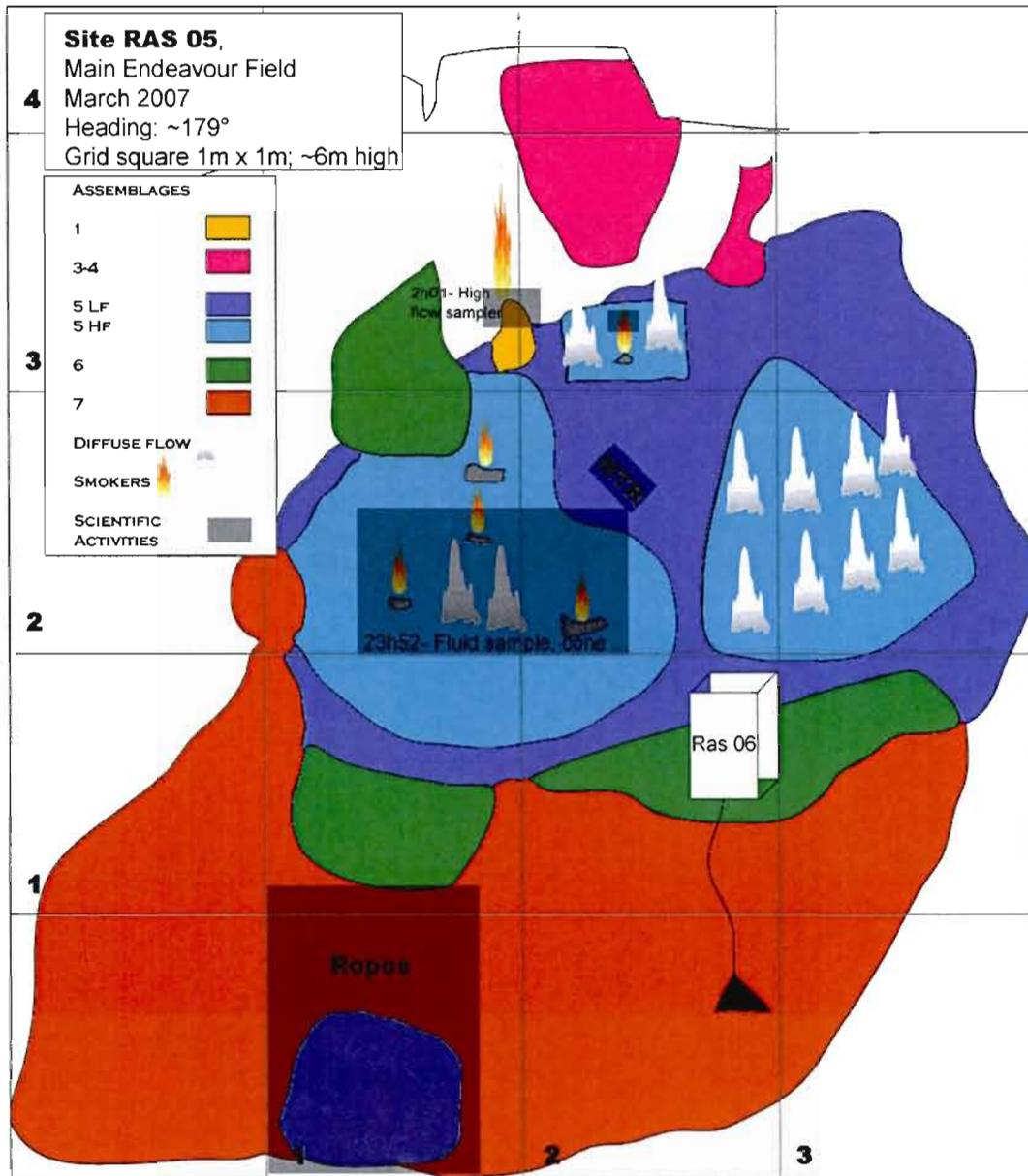


Figure B.3 Carte verticale des impacts observés au site du RAS 2005, MEF (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

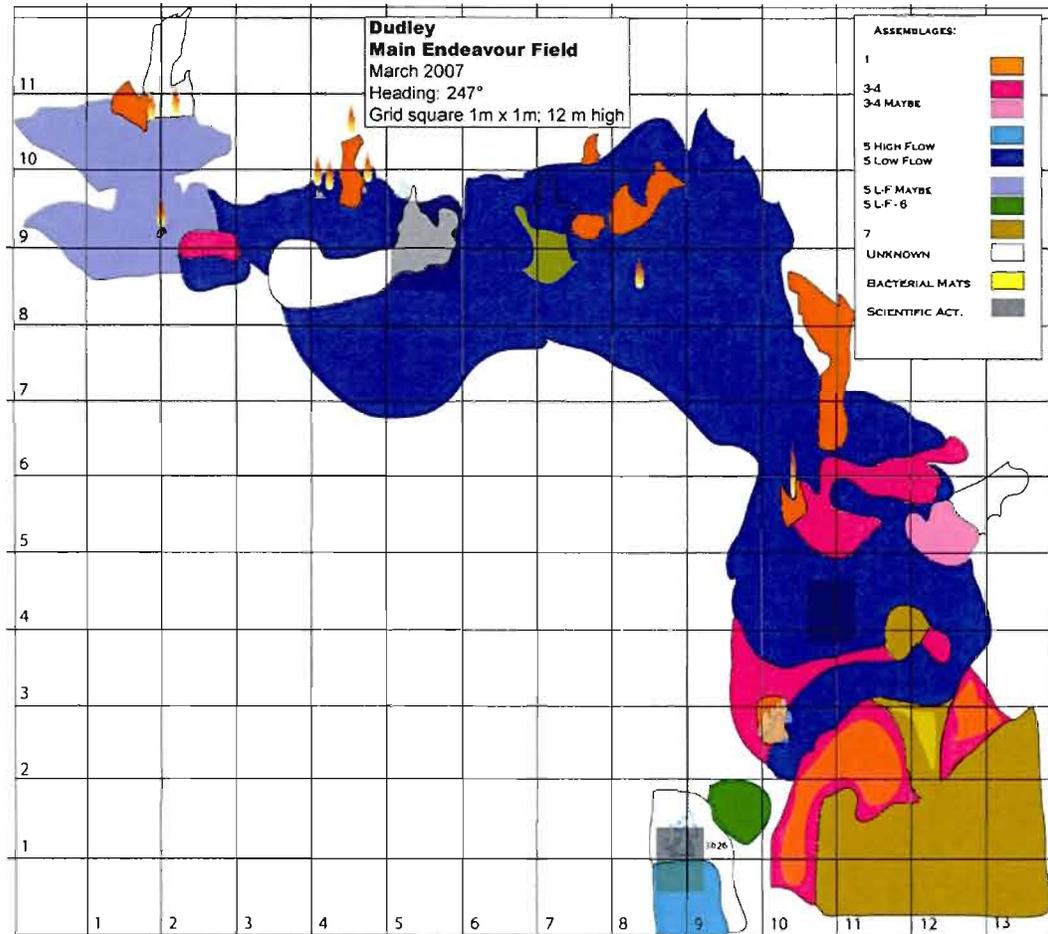


Figure B.4 Carte verticale de la cheminée Dudley et des impacts qui y ont été observés, champ hydrothermal Main Endeavour (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

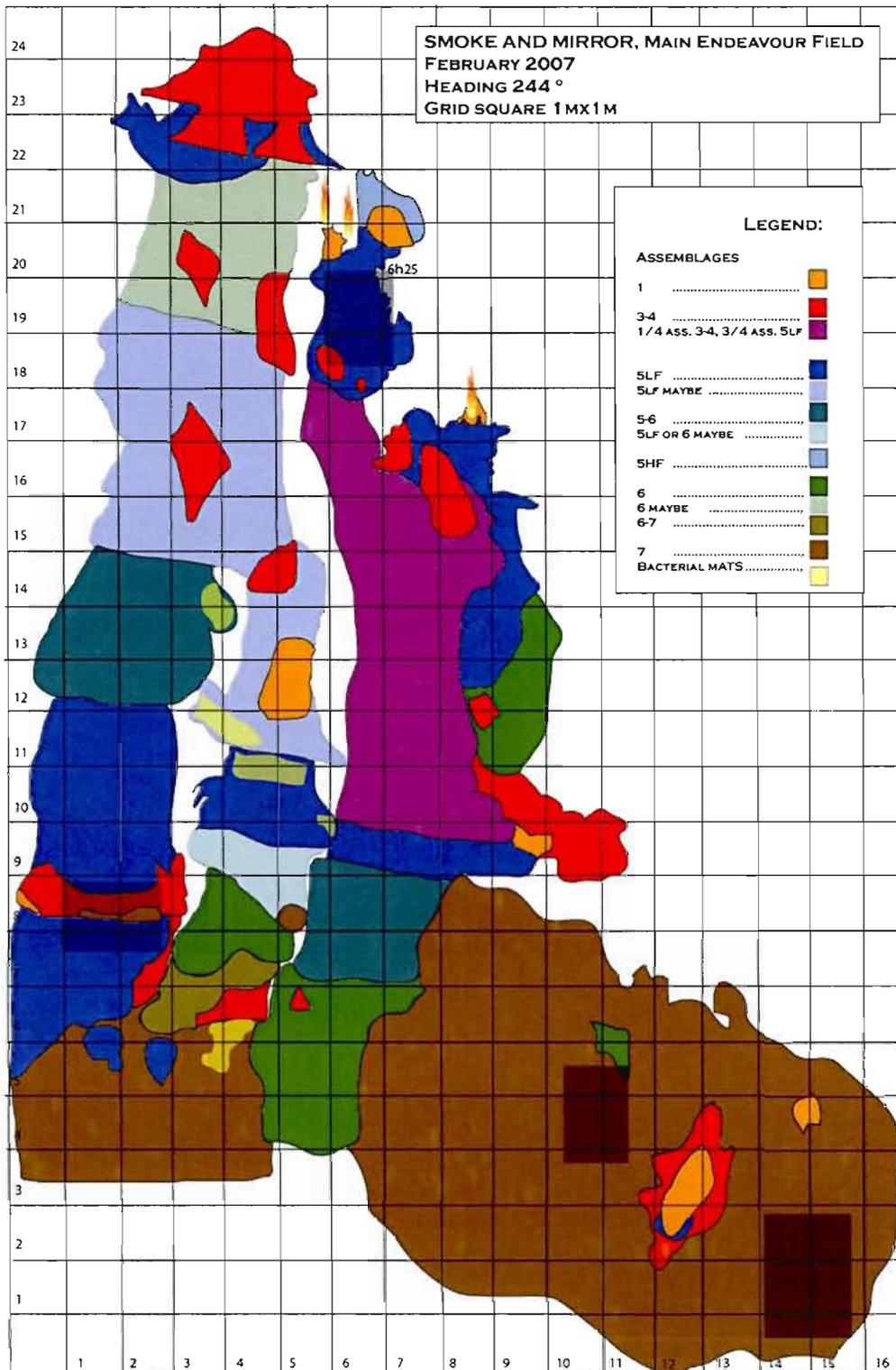


Figure B.5 Carte verticale des impacts observés sur la cheminée Smoke and Mirror, MEF (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

APPENDICE C

TABLEAU DES RÉSULTATS DES QUESTIONNAIRES DISTRIBUÉS AUX PARTICIPANTS DE LA MISSION NEMO 2006

C.1 Légende et résultats des questionnaires	110
---	-----

Tableau C.1
Légende et résultats des questionnaires

Profession	1 Années	2 Méthode	3 4 a,b,c Considération de l'impact - sur les espèces - sur la recherche - esthétique/éducatif	5 a,b,c,d,e,f Impact potentiel - échantillonnage - éclairage - du bruit - des transits - install. instrum - récup. instrum	6 Instrumentation future (5-10 ans)	7 Ech. Futur (5-10 ans)	8 Nb. Plongées/an (5-10 ans)	9 Chgt. Attitude	10 et 11 Conscience - statut de la ZPM - autres sites hydro. Protégés
a) étudiant-e	-	a) carottes	a) toujours	a) sans importance	a) augmentera	a) augmentera	a) augmentera	a) oui	a) oui
b) prof.		b) succion	b) souvent	b) importance mineure	b) diminuera	b) diminuera	b) non	b) non	b) non
c) chimiste		c) biologique	c) parfois	c) important	c) égale				
d) technicien(ne)		d) images	d) jamais	d) importance majeure					
e) équipe ROPOS		e) géologique							
f) aucun		f) bio. Pincés							
		g) fluide							
		h) acoustique							
		i) labo - chimie							
		j) instruments							
		k) autres							

Quest.	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4a	Q.4b	Q.4c	Q.5a	Q.5b	Q.5c	Q.5d	Q.5e	Q.5f	Q.6	Q.7	Q.8	Q.9	(since...)(how...)	Q.10	Q.11	
No...	Ans	Méthode																		
1	a	1 an	g	b	a	b	d	c	b	b	c	c	a	a	a	b	x		a	a
2	d	20 ans	x	d	c	c	b	b	b	a	c	c	a	x	x	a	3 ans	10 000 lbs, d'acier ds cette mission...	b	b
3	d	5 ans	f, h	d	c	c	b	a	b	a	c	c	a	a	b	b	x	x	b	b
4	d	1an	g	a	c	d	c	a	a	a	c	c	a	a	a	x	x	x	b	a
5	a	5 ans	b	a	b	d	c	b	a	a	c	c	a	b	b	b	x	x	a	b
6	c	13 ans	i	x	x	x	b	c	a	a	a	a	b	b	b	b	x	x	b	b
7	b	1 an	k	d	a	b	d	b	b	b	d	d	a	a	a	b	x	x	a	b
8	d	6 ans	e,a,b,f,c	b	b	d	b	a	a	a	b	a	a	b	b	a	1 an	introduction d'sps	b	b
9	a	1 1/2	d	c	d	c	d	b	b	a	c	c	b	a	b	b	x	x	b	b
10	a	3 ans	b	b	b	c	c	b	b	a	c	c	c	c	a	b	x	x	b	a
11	d	1 an	g	a	d	d	a	a	a	c	a	a	a	a	a	b	x	x	b	b
12	d	10 ans	g	d	c	c	b	c	c	b	c	c	a	b	b	b	x	x	a	b
13	b	15 ans	g	b	a	b	a,b,c	b	b	a	b	b	a	b	a	b	x	a tjs. été conscient..	a	b
14	a	3 ans	g	c	c	c	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	x	x	a	b
15	a	9 ans	d,e,k	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	b	x	x	a	b
16	b	17 ans	d,e,g,j	c	b	b	c	b	b	a	b	b	a	b	b,c	a	10 ans	diminuer impacts; ses activités = pas impact	a	b
17	e	2 ans	b,d,g	b	c	c	c	b	b	b	c	c	x	x	x	a	x	ROV se fie à l'avis des scs	a	b
18	e	20 ans	a,b,c,d,e,f,g	b	b	c	c	b	b	b	c	b	x	x	x	a	15 ans	x	a	b
19	e	25 ans	tous	a	a	a	d	d	b	b	d	d	x	x	x	a	4 ans	Plus renseigné et à l'affût des impacts	a	b
TOTAL:	A = 6	A = 3		A = 4	A = 4	A = 1	A = 2	A = 4	A = 5	A = 10	A = 2	A = 3	A = 11	A = 6	A = 6	A = 6			A = 11	A = 3
	B = 3	B = 6		B = 6	B = 5	B = 4	B = 7	B = 10	B = 12	B = 7	B = 4	B = 4	B = 3	B = 7	B = 8	B = 12			B = 8	B = 16
	C = 1	C = 3		C = 3	C = 6	C = 8	C = 7	C = 3	C = 1	C = 1	C = 10	C = 9	C = 1	C = 1	C = 1					
	D = 6	D = 6		D = 4	D = 2	D = 4	D = 4	D = 1	D = 0	D = 0	D = 2	D = 2								
	E = 3	E = 5																		
		F = 4																		
		G = 10																		
		H = 2																		
		I = 2																		
		J = 2																		
		K = 3																		

APPENDICE D

CARTE HORIZONTALE DU CHAMP HYDROTHERMAL MEF – COMPARAISON DES DEUX TENTATIVES DE PLACER LES CHEMINÉES VISITÉES DANS LA PLONGÉE R1009 PAR RAPPORT À LA CARTE PRODUITE PAR ROBIGOU (SARRAZIN *ET AL.*, 1997)

D.1 Carte horizontale comparant la première interpolation de la situation des cheminées (selon la carte de Robigou provenant de Sarrazin <i>et al.</i> , 1997 : polygones rouges) avec la deuxième, tentant de correspondre aux données de navigation de la mission NeMO 2006 (polygones verts).	112
--	-----

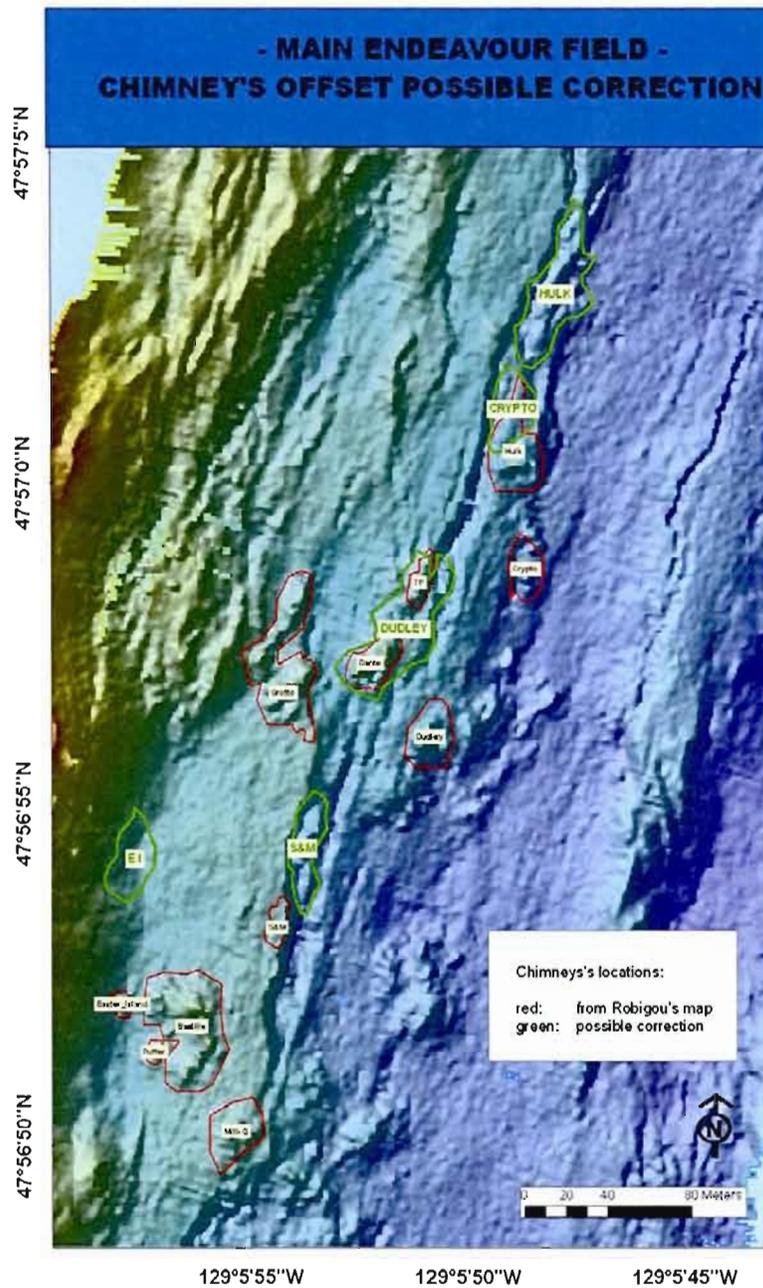


Figure D.1 Carte horizontale comparant la première interpolation de la situation des cheminées (selon la carte de Robigou provenant de Sarrazin *et al.* (1997) : polygones rouges) avec la deuxième, tentant de correspondre aux données de navigation de la mission NeMO 2006 (polygones verts) (image tirée de Dancette et Juniper, 2007).

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Anderson, Thomas R. et Tony Rice. 2006. «Deserts on the sea floor : Edward Forbes and his azoic hypothesis for a lifeless deep ocean». *Endeavour*, vol. 30, no. 4, p. 131-137.
- Butterfield, David A., Russel A. McDuff, Michael J. Mottl, Marvin D. Lilley, John E. Lupton et Gary M. Massoth. 1994. «Gradients in the composition of hydrothermal fluids from the Endeavour segment vent field: Phase separation and brine loss». *Journal of Geophysical Research*, vol. 99, no. B5, p. 9561-9583.
- Canada, division du droit et du gouvernement. 1993. *La Convention sur le Droit de la Mer*. Éric le Gresley, BP-322F.
- Connell, Joseph H.. 1978. «Diversity in Tropical Rain Forests and Corall Reefs». *Science*, vol. 199, no. 4335, p. 1302-1310 .
- Côté, Marie-Josée. 1996. «Intégrer la cartographie écologique, les bases de données à référence spatiale et une démarche d'analyse à multiples critères pour évaluer la capacité de support biophysique des sites naturels». Mémoire de maîtrise, UQAM, 161 p.
- Dancette, R et Juniper, SK. 2007. *Report on biodiversity and research impacts at Main Endeavour and Mothra fields - Endeavour hydrothermal Vents Marine Protected Area (EHVMPA)*. Pour le Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). f1103-060079. Remis à Kevin Conley, Ocean Project Coordinator. Pacific Biological Station, Nanaimo, British Columbia.
- Dando, P. et S.K. Juniper (eds.). 2001. *Report from the InterRidge workshop: Management and Conservation of Hydrothermal Vent Ecosystems*. Sidney (Victoria, B.C.).
- Desbruyères, Daniel. 2006. *Are deep-sea vent ecosystems threatened by exploitation?: Actes du 6^e Congrès des étudiants du Géotop Uqam-McGill* (Saint-Michel-des-Saints, 27-29 janvier 2006). Montréal (Qué.).
- Edmonds, H.N., et J.M. Edmond. 1995. «A three-component mixing model for ridge crest hydrothermal fluids». *Earth and Planetary Science Letters*, vol.134, p. 53-67.

- Fox, Mark, S. Kim Juniper et Hojatollah Vali. «Chemoautotrophy as a possible nutritional source in the hydrothermal vent limpet *Lepetodrilus fucensis*». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43: 3-4, p. 371-376.
- Goldfarb, M. S., D. R. Converse, H. D. Holland et J. M. Edmond. 1983. «The genesis of hot spring deposits on the East Pacific Rise, 21N.» In *Economic Geology Monograph* par H. Ohmoto et B. J. Skinner (eds.), vol. 5, p. 184-197.
- Govenar, B. W., D. C. Bergquist, I. A. Urcuyo, J. T. Eckner et C. R. Fisher. 2002. «Three *Ridgeia piscesae* assemblages from a single Juan de Fuca Ridge sulphide edifice: structurally different and functionally similar». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43, p. 247-252
- Grassle, J.F., Brown-Leger, L.S., Morse-Porteous, L.S., Petrecca, R.F. et Williams, I., 1985. «Deep-sea fauna in the vicinity of hydrothermal vents». *Biol. Soc. Wash. Bull.*, vol. 6, p. 443-452.
- Grelon D. 2001. «Ecologie et ethologie de *Paralvinella sulfincola*, polychète des sources hydrothermales profondes du Pacifique Nord-Est». Mémoire de maîtrise, Rimouski, Université du Québec à Rimouski, 99 pp.
- Grelon, D., M. Morineaux, G. Desrosiers et S. K. Juniper. 2006. «Feeding and territorial behavior of *Paralvinella sulfincola*, a polychaete worm at deep-sea hydrothermal vents of the Northeast Pacific Ocean». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 329, no. 2, p. 174-186.
- Hannington, M. D., I. R. Jonasson, P. M. Herzig et S. Petersen. 1995. «Physical and Chemical processes of seafloor mineralization at mid-ocean ridges». In *Seafloor Hydrothermal Systems : Physical, Chemical and Geological Interactions* par S. E. Humphris, R. A. Zierenberg, L. S. Mullineaux et R. E. Thomson (eds.), *Geophysical Monograph*, vol. 91, p. 115-157.
- Juniper, S. K., I. R. Jonasson, V. Tunnicliffe et A. J. Southward. 1992. «Influence of a tube-building polychaete on hydrothermal chimney mineralization». *Geology* vol. 20, no.10, p. 895-898.
- Juniper S.K. 1994. «Ecology and biochemistry of *Paralvinella sulfincola* at the northeast Pacific hydrothermal vents: Review and comparison with *Alvinella* spp. of the East Pacific Rise. In: Actes de la 4e Conférence internationale des Polychètes (J.-C. Dauvin, L. Laubier et D.J. Reish Eds)». *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle* (Paris), vol. 162, p. 453-462.
- Karl D.M. (ed). 1995. «Ecology of free-living, hydrothermal vent microbial communities». In: *The microbiology of extreme and unusual environments*. pp. 35-124. CRC Press, New York.

- Léveillé, R. et S. K. Juniper. 2002. «Microbial colonization and weathering of sulphide minerals at deep-sea hydrothermal vents : in situ exposure experiments». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43: 3-4, p. 285-288.
- Levesque, Christian et S. Kim Juniper. 2002. «Particulate matter as a food source at a nascent hydrothermal vent on the Juan de Fuca Ridge». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43: 3-4, p. 289-292.
- MacDonald, Ian.R., Verena Tunnicliffe et Eve C. Southward. 2002. «Detection of sperm transfer and synchronous fertilization in *Ridgeia piscesae* at Endeavour Segment, Juan de Fuca Ridge». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43: 3-4, p. 395-398.
- Marcus, Jean et Verena Tunnicliffe. 2002. «Living on the edges on diffuse vents on the Juan de Fuca Ridge». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43 : 3-4, p. 263-266.
- Mittermeier, R.A., Myers, N. et C.G. Mittermeier. 1999. *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Mexico : Conservation International.
- Mullineaux, Lauren, S. Kim Juniper, Daniel Desbruyères et Mathilde Cannat. 1998. «Steps Proposed to Resolve Potential Research Conflicts at Deep-Sea Hydrothermal Vents». *American Geophysical Union*, vol. 79, no. 44, p. 533-538.
- Myers, Norman. 1988. «Threatened biotas : «Hot spots» in tropical forests». *The Environmentalist*, vol. 8, no. 3 , p. 187-208 .
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). 2001. *Convention sur la Diversité Biologique (CDB) : textes et annexes*. 94-04229. Canada.
- Revéret, Jean-Pierre et Alain Webster. 2002. «Economics and Biodiversity Management». Chap. 11 in *Governing Global Biodiversity : the Evolution and Implementation of the Convention on Biological Diversity*, sous la dir. De Philippe G. Le Prestre, p. 234-245. Brookfield : Ashgate Publishing.
- Sarrazin, J., V. Robigou, S. Kim Juniper, J.R. Delaney. 1997. «Biological and geological dynamics over four years on a high-temperature sulphide structure at the Juan de Fuca Ridge hydrothermal observatory». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 153, p. 5-24.
- Sarrazin, Jozée et S. Kim Juniper. 1999. «Biological characteristics of a Hydrothermal Edifice Mosaic Community». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 185, p. 1-19.
- Sarrazin, Jozée, S. Kim Juniper, Gary Massoth et Pierre Legendre. 1999. «Physical and chemical factors influencing species distribution on hydrothermal sulfide edifices of the Juan de Fuca Ridge, northeast Pacific». *Marine Ecology Progress Series*, vol. 190, p. 89-112.

- Sarrazin, Jozée, Christian Lévesque, S. Kim Juniper et Margaret K. Tivey. 2002. «Mosaic community dynamics on Juan de Fuca Ridge sulphide edifices : substratum, temperature and implications for trophic structure». *Cahiers de Biologie Marine*, vol. 43, p. 275-279.
- Scott, K.M. et Fisher, C.R.. 1995. «Physiological ecology of sulphide metabolism in hydrothermal vent and cold seep vesicomyid clams and vestimentiferan tube worms». *Am. Zool.*, vol. 35, p. 102-111.
- Statistiques Canada, 2006. Activités de gestion des déchets solides et leurs répercussions. Page consultée le 2 septembre 2007. URL : http://www.statcan.ca/francais/kits/environmentLessons/wasteAnswer2_f.htm.
- Tunnicliffe, Verena. 1990. «Observations of the Effects of Sampling on Hydrothermal Vent Habitat and Fauna of Axial Seamount, Juan de Fuca Ridge». *Journal of Geophysical Research* (In Press).
- Tunnicliffe, Verena. 1991. «The Biology of Hydrothermal Vents : Ecology and Evolution». *Oceanography Marine Biology*, vol. 29, p. 319-407.
- Tunnicliffe, Verena et S. Kim Juniper, 1990. «Dynamic character of the hydrothermal vent habitat and the nature of sulphide chimney fauna». *Progr. Oceanogr.*, vol. 24, p. 1-14.
- Tunnicliffe, V., Embley, R.W., Holden, J.F., Butterfield, D.A., Massoth, G.J. et Juniper, S.K., 1997. «Biological colonization of new hydrothermal vents following an eruption on Juan de Fuca Ridge». *Deep-Sea Res.*, vol. 44, p. 1627-1644.
- Tunnicliffe, V. et R. Thomson. 1999. *Rapport de la direction générale des Océans : Le Champ hydrothermal Endeavour : Un projet pilote de la zone de protection marine de l'Océan Pacifique canadien*. Sidney, Colombie-Britannique : Pêches et Océans Canada.
- Tunnicliffe, V., S.K. Juniper et M. Sibuet. 2003. «Reducing environments of the deep-sea floor». In (P.A. Tyler, ed.) *Ecosystems of the World: The Deep Sea*. Chapter 4, pp. 81-110. Elsevier Press.
- Turnipseed M., K.E. Knick, R.N. Lipicus, J. Dreyer et C.L. Van Dover, 2003. «Diversity in mussel beds at deep-sea hydrothermal vents and cold seeps». *Ecology letters*, 6: p.518-523.
- Van Dover, Cindy. 2000. *The Ecology of Deep-sea Hydrothermal Vents*. Princeton : Princeton University Press
- Willis, T.J., R.B. Millar, R.C. Babcock et N.Tolimieri. 2003. «Burdens of evidence and the benefits of marine reserves: putting Descartes before des horse?». *Environmental Conservation*, vol. 30 (2), p. 97-103.