

---

## Rapport de synthèse du Groupe de Travail « Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins »



Confidentielle

Restreinte

Libre

Date : 03/10/2000	Nombre pages : 36
Référence : DNIS/SM/IM/00-247	Nombre figures : 2
N° Analytique : 522203	Nombre d'annexes : 2
N° Contrat :	

**Titre Projet :**

Rapport de synthèse du Groupe de Travail  
Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins

Mots-clés : Systèmes optiques, engins sous-marins, imagerie, vidéo, photographie, mesure sur image

Révision

<i>Indice</i>	<i>Objet</i>	<i>Date</i>	<i>Rédigé par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Approuvé par</i>
01	Création	03/10/00	JF Cadiou		Membres du Groupe de travail

# Résumé

Ce document contient les résultats de la réflexion et les recommandations du groupe de travail sur les Systèmes Optiques des engins Sous-marins. Ce groupe était chargé d'une réflexion prospective sur les moyens d'imagerie optique sous-marine et sur les moyens de mesure associés.

Sur les engins d'intervention locale (habités ou non), la fonction imagerie est essentielle et complémentaire du prélèvement d'échantillons. Les images sont utilisées pour l'analyse scientifique, l'illustration des publications et conférences ainsi que pour la communication vers le grand public.

Cette réflexion sur l'imagerie a vu le jour à la suite de demandes récurrentes des utilisateurs pour que des améliorations soient apportées dans ce domaine. Ces demandes portent principalement sur les moyens photographiques, l'archivage et la conservation des vidéos scientifiques. Il existe aussi une demande appuyée pour que soient associés aux images des moyens de dimensionnement et de quantification ainsi que des outils de traitement permettant une exploitation optimale des observations.

Un examen des travaux réalisés ou en cours en imagerie optique sous-marine dans des organismes similaires à l'Ifremer – en particulier américains et japonais – montre qu'un effort significatif est consenti sur ce sujet.

La mutation du monde de l'image vers le numérique et les progrès rapides de l'informatique ouvrent des possibilités nouvelles et promettent des améliorations significatives sur nos systèmes d'imagerie sous-marine.

## Résumé des recommandations du groupe de travail :

La création du groupe de travail a été initiée par la nécessité de répondre aux demandes des utilisateurs des moyens profonds. Il est cependant apparu qu'une grande partie des conclusions pouvait s'appliquer aux moyens d'observation sur le plateau continental et côtiers.

### *Recommandations générales*

- En ce qui concerne les engins profonds, faire porter en priorité l'effort sur Victor et Nautille,
- Favoriser les actions en collaboration pour les projets d'envergure,
- Privilégier la modularité, la compatibilité et l'interchangeabilité des équipements.

### *Actions à court terme*

- Passer à un format d'enregistrement numérique (a priori standard DVCAM) pour les vidéos destinées aux scientifiques,
- Installer une caméra verticale couleur avec éclairage adapté sur Victor,
- Photo à film argentique : rechercher les améliorations susceptibles de produire des résultats à faible coût,
- Doter Victor - plate-forme la plus adaptée pour remplir ce type de mission - de moyens de prise de vue verticale longue portée monochrome (10 mètres),

- Poursuivre l'effort de modélisation entrepris dans le domaine de l'éclairage (caractérisation des sources, logiciel de simulation, optimisation de la configuration d'éclairage),
- Développer un logiciel adoptant une gestion géographique de l'image, pouvant gérer de grandes bases d'images et automatisant la construction de mosaïques d'images,
- Centraliser les images et les données issues des campagnes des engins sous-marins et prendre des dispositions pour assurer de bonnes conditions d'archivage de ces informations.

*Actions nécessitant une phase d'étude*

- Etudier l'intégration sur les engins d'un appareil photo numérique couleur,
- Poursuivre les travaux de mise au point d'enceintes résistantes profondes à hublot verre à dôme sphérique,
- Etudier et tester des solutions permettant d'extraire des données quantitatives des images,
- Faire une étude sur l'opportunité d'embarquer sur les engins des équipements vidéo haute définition.

Pour mener à bien ces objectifs l'Ifremer devra s'appuyer sur des compétences externes mais aussi sur des ressources internes pérennes. Il faut en outre prévoir des essais à la mer pour évaluer et qualifier dans des conditions d'opération réalistes les systèmes d'acquisition d'images et de mesure associés.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
1.1	Contexte et objectifs du groupe de travail.....	6
1.2	Composition du Groupe de travail « Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins » .....	7
1.3	Contexte et problèmes à résoudre.....	7
1.4	Méthode de travail.....	8
<b>2</b>	<b>BESOIN SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>EXISTANT ET TRAVAUX EN COURS À IFREMER</b> .....	<b>11</b>
3.1	Engins profonds .....	11
3.2	Engins d'observation côtiers et plateau continental .....	12
3.3	Capteurs optiques / caractérisation de la colonne d'eau .....	12
3.4	Travaux en robotique / vision .....	12
3.5	Moyens de post-traitement des données engins .....	13
3.6	Simulation d'éclairage sous-marin .....	13
3.7	Archivage et conservation des images .....	13
3.8	Etude Mesure sur images vidéo sous-marines [9].....	14
3.9	Etude Mosaïque d'images optiques sous-marines [3] .....	14
<b>4</b>	<b>ETAT D'AVANCEMENT DANS LES AUTRES ORGANISMES OCÉANOGRAPHIQUES</b> .....	<b>15</b>
4.1	Wood Hole Oceanographic Institution - WHOI (Etats-Unis) .....	15
4.2	Monterey Bay Aquarium Research Institute - MBARI (Etats-Unis) .....	17
4.3	Harbor Branch Oceanographic Institution - HBOI (Etats-Unis) .....	18
4.4	SCRIPPS Institution of Oceanography (Etats-Unis).....	18
4.5	Institute For Exploration - IFE (Etats-Unis) .....	19
4.6	JAMSTEC (Japon) .....	19
4.7	Shirshov Institute of Oceanology (Russie) .....	19
4.8	AQUA + (La Seyne sur Mer) .....	19
4.9	COMEX (Marseille) .....	19
<b>5</b>	<b>ETAT DE L'ART TECHNIQUE</b> .....	<b>20</b>
5.1	Vidéo .....	20
5.2	Photographie .....	22

5.3	Eclairage .....	24
5.4	Hublots et correcteurs .....	24
5.5	Lasers.....	24
5.6	Mesure sur images sous-marines.....	25
<b>6</b>	<b>ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>26</b>
6.1	Environnement industriel et domaines d'applications connexes.....	26
6.2	Environnement scientifique .....	27
6.2.1	Optique en milieu marin.....	27
6.2.2	Laboratoires et thématiques de recherche en Optique « physicienne » .....	27
6.2.3	Vision par ordinateur .....	30
<b>7</b>	<b>RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL.....</b>	<b>31</b>
7.1	Recommandations générales .....	31
7.2	Actions recommandées.....	31
7.2.1	Actions à court terme.....	32
7.2.2	Actions nécessitant une phase d'étude.....	33
7.2.3	Compétences nécessaires et essais.....	35
<b>8</b>	<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>36</b>
	<b>ANNEXE 1: ORDRE DU JOUR DES RÉUNIONS DU GROUPE.....</b>	<b>37</b>
	<b>ANNEXE 2 : IMAGERIE OPTIQUE SOUS-MARINE DES ENGINS PROFONDS - SYNTHÈSE DES BESOINS DES UTILISATEURS .....</b>	<b>38</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte et objectifs du groupe de travail

Ce groupe de travail a été créé fin 1999 sur l'initiative de la DNIS après consultation des directions opérationnelles concernées.

*Mandat du groupe (Décision DNIS/D 99.003 du 26/11/1999) :*

« L'observation et l'acquisition de données optiques sont des fonctions essentielles pour les engins sous-marins de l'IFREMER (en particulier VICTOR, NAUTILE, CYANA, SCAMPI, ROBIN).

Des souhaits d'amélioration et d'évolution sont régulièrement exprimés par les utilisateurs pour lesquels les images collectées pendant les campagnes à la mer constituent la base de travaux scientifiques et de publications. Il apparaît de plus nécessaire de compléter l'observation et l'enregistrement par des moyens de traitement et des équipements visant à fournir des informations plus élaborées et/ou des données quantifiées. La mutation vers les technologies numériques ainsi que les résultats obtenus en recherche amont ouvrent de nouvelles perspectives à évaluer.

Compte tenu de ces éléments, un groupe de travail pour l'amélioration des systèmes optiques des engins sous-marins est créé.

Objectifs :

- Recenser l'existant et les actions en cours à l'IFREMER pour ce qui concerne les équipements (vidéo, photo, éclairage) et les moyens de mesure et de traitement.
- Faire un état de l'art sur les équipements optiques des engins sous-marins. Identifier les technologies clés et les orientations choisies par les intervenants de ce secteur d'activité.
- Etablir les besoins de l'IFREMER en liaison avec la communauté scientifique nationale, ainsi que les synergies possibles avec le milieu industriel.
- Proposer une liste et un calendrier d'actions.

Le groupe de travail remettra ses conclusions au second trimestre 2000. »

## 1.2 Composition du Groupe de travail « Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins »

DNIS/SM/IM : Jean-François Cadiou (Animateur)

*Utilisateurs :*

DRO/EP : Daniel Desbruyères

DRO/GM : Yves Fouquet

DRV/RH : Verena Trenkel

*Opérateurs:*

GENAVIR/DESM : Max Dubois

GENAVIR/DEC : Christian Marget

*Concepteurs :*

TMSI/TP : Gérard Bavouzet

DCOM : Michel Guillou

DNIS/SM/RNV : Vincent Rigaud

DNIS/STC : André Bonfiglio

DNIS/ESI/DLE : Fabrice Lecornu

Alexis Peuch (DNIS/ESI/IE) a par ailleurs été invité à présenter les travaux en cours sur la simulation d'éclairage sous-marin.

## 1.3 Contexte et problèmes à résoudre

Cette réflexion sur l'imagerie a vu le jour à la suite de demandes récurrentes des utilisateurs pour que des améliorations soient apportées dans ce domaine, en particulier sur les engins profonds. Les problèmes identifiés peuvent se résumer ainsi :

- Pour diverses raisons, seulement 5 à 10% des photographies prises en plongée sont considérées comme exploitables. L'absence de développement des photographies sur le navire est un handicap, les prises de vue ne pouvant pas être contrôlées et exploitées à bord pendant la campagne,
- Plusieurs années après une campagne, les scientifiques rencontrent des problèmes pour accéder aux images vidéo acquises à la mer et les exploiter. Les causes en sont d'une part, la dégradation des supports d'enregistrement et d'autre part, la difficulté d'accéder à ces vidéos dont l'archivage n'est pas centralisé,
- Le besoin d'outils de dimensionnement et de quantification des observations est fortement exprimé par les utilisateurs. Cette demande rejoint la nécessité de coupler les observations avec les mesures et prélèvements associés en un ensemble cohérent. Pour que toutes ces informations puissent être exploitées pleinement et rapidement, la chaîne d'acquisition doit être complétée par des outils de traitement et d'analyse des données.



## 1.4 Méthode de travail

Le groupe s'est réuni trois fois :

- une première réunion (le 28/01/2000) a été consacrée à la présentation de l'existant à l'Ifremer dans le domaine de l'imagerie optique sous-marine [1]
- lors de la seconde réunion (le 03/05/2000), ont été traités les besoins des utilisateurs, l'état de l'art des engins sous-marins scientifiques étrangers et l'état de l'art technique [2]
- l'objectif de la troisième réunion (le 10/07/2000) étant la validation du rapport de synthèse

En parallèle, la communauté française des utilisateurs des engins profonds a été consultée sur le besoin en images et en mesures dimensionnelles associées. Des entretiens avec une trentaine de scientifiques (pour moitié extérieurs à Ifremer) ont eu lieu. Des biologistes allemands de l'Alfred Wegener Institute ont par ailleurs apporté leur contribution en répondant à un questionnaire transmis par courrier.

Dans le cadre de la recherche de synergies possibles, des réunions avec des industriels représentatifs du secteur - en particulier en région PACA - ont été organisées.

## 2 Besoin scientifique

*Ce paragraphe résume le document de synthèse des besoins utilisateurs joint en annexe « Imagerie Optique Sous-marine des Engins Profonds – Synthèse des besoins utilisateurs ».*

Compte tenu de la très forte atténuation de la lumière en milieu marin, le domaine d'utilisation de l'imagerie optique en océanographie profonde se limite à l'observation rapprochée (avec une portée maximum de l'ordre de 10 mètres). L'acoustique étant plus adaptée aux investigations à champ plus large et résolution plus faible.

L'optique répond aux besoins d'observation détaillée (résolution inférieure au centimètre) sur des surfaces pouvant aller jusqu'à quelques hectares (#100.000 m<sup>2</sup>) ou lors de profils de reconnaissance de quelques dizaines de kilomètres au maximum.

Sur les engins d'intervention locale (habités ou non), la fonction imagerie est essentielle et complémentaire du prélèvement d'échantillons. Elle permet de plus de replacer les prélèvements dans leur contexte. Les images rapportées des campagnes constituent le seul enregistrement pérenne des observations.

Les images sont utilisées pour :

- l'analyse scientifique
- l'illustration de communications scientifiques
- la communication vers le grand public

Photo : Les prises de vues photographiques donnent des images de haute résolution souvent indispensables pour l'analyse de détail et pour l'illustration. Une amélioration des moyens photographiques de Victor et Nautilus est fortement demandée. Un meilleur contrôle de la prise de vue (cadrage, lumière) est nécessaire pour obtenir de bons clichés. Les utilisateurs sont très favorables aux technologies numériques qui autorisent le contrôle et l'exploitation rapide des images.

Vidéo : L'image animée est le moyen privilégié pour la reconnaissance, le mouvement aide à percevoir le relief. La visualisation d'une bande vidéo après la plongée permet de revivre celle-ci. La faculté de pouvoir zoomer et orienter la caméra est précieuse. Sur un engin inhabité, c'est le seul moyen de percevoir l'environnement en temps réel. Les souhaits d'évolution des moyens vidéo portent principalement sur le passage à un format d'enregistrement numérique dont les avantages sont une meilleure qualité des images, qualité préservée après duplication et capture d'images fixes.

Une attention particulière doit être portée à l'éclairage. C'est un point clé pour obtenir de bonnes images. L'éclairage doit être adapté à la scène et aux conditions de prise de vue.

La couleur apporte souvent une information déterminante, que ce soit en biologie ou en géologie.

L'imagerie optique longue portée (10 mètres) et de fait, monochrome (du fait de la forte variation de l'atténuation de l'eau en fonction de la longueur d'onde dans le visible) est considérée comme très intéressante. Une application envisagée est alors le relevé d'une carte en imagerie optique d'un chantier, avec association avec d'autres mesures (bathymétrie...).

En courte (3 m) ou longue portée, l'imagerie avec caméra verticale facilite l'approche quantitative des observations. La possibilité de composer les images en mosaïques pour disposer d'une vue plus globale d'un sujet est une fonction très intéressante.

La précision du positionnement est un élément déterminant pour que les images (et les mesures associées) soient exploitées au mieux.

Des outils permettant de mesurer les dimensions et orientations des objets observés sur les images sont demandés, la précision souhaitée est de 5 à 10 %. Des demandes portent aussi sur le besoin de quantifier la surface observée ou le volume de l'espace investigué.

Le besoin d'archiver dans de bonnes conditions et de manière centralisée les images est exprimé. L'objectif est de garantir la pérennité des données et de faciliter l'accès de la communauté scientifique à des données de campagnes passées.

En ce qui concerne le profond, les souhaits d'évolution des moyens d'imagerie portent principalement sur Victor et Nautille, engins qui sont l'élément central de certaines campagnes et dont l'imagerie est une fonction essentielle.

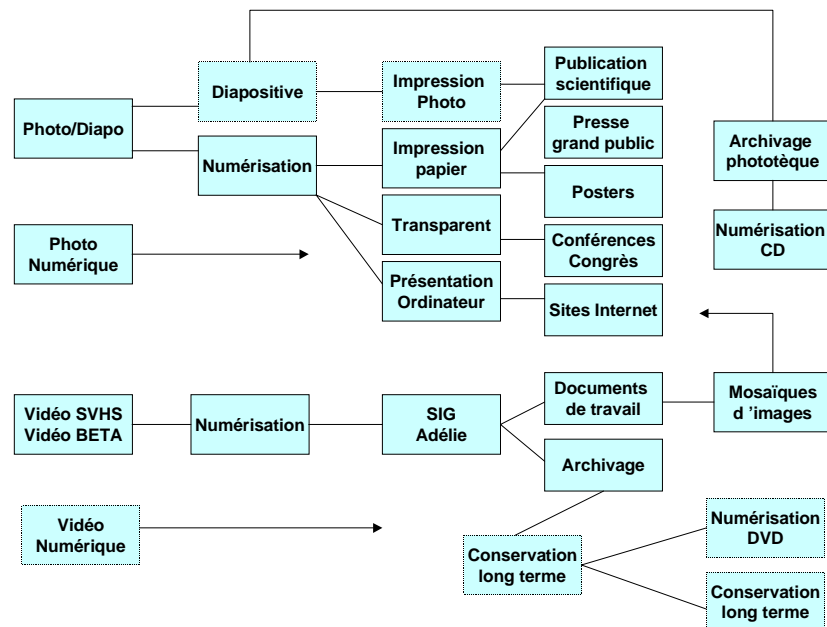


Illustration du processus d'exploitation des images scientifiques (Y. Fouquet)

### 3 Existant et travaux en cours à Ifremer

#### 3.1 Engins profonds

Les engins profonds opérationnels bénéficient de l'expérience acquise sur plusieurs systèmes réalisés dans le passé (en particulier l'Epaulard 6000, engin autonome et le Raie, châssis remorqué). Sur les systèmes opérés aujourd'hui, les équipements d'imagerie optique sont :



NAUTILIE



VICTOR



SCAMPI



PICO

- des caméras vidéo principalement couleur (avec une caméra de haute qualité avec zoom et sur orienteur deux axes pour le Nautilie et Victor),
- un appareil photo à film argentique dont les réglages (mise au point, focale) sont fixes pendant une même plongée. Un flash synchronisé peut être utilisé. Le développement et la duplication des vues pour exploitation par les utilisateurs sont réalisés après la campagne,
- des projecteurs à incandescence (Quartz-iode) et des lampes à arc aux halogénures (HMI) à spectre proche de la lumière du jour.

L'enregistrement vidéo se fait aux formats analogiques S-VHS (images scientifiques) et Betacam pour quelques extraits archivés par le service audiovisuel de la Direction de la Communication.

Pour améliorer la qualité des photographies du Nautilie, un équipement sous-marin a été réalisé en interne sur la base d'un reflex à film argentique. Le but était d'améliorer le cadrage et l'exposition de la photo. Un flash de 250 Joules y était associé. Ce prototype qui a nécessité une longue mise au point est transféré à Genavir sans rechange.

On signalera ici l'expérience de la campagne Nautilion effectuée pour le compte de la DRASSM en 1993. Lors de cette campagne, deux appareils photographiques (à film 6x6) avaient été installés temporairement sur le Nautilie pour faire un relevé stéréo photogrammétrique d'une épave à amphore. L'exploitation (manuelle) des images avait permis de construire une restitution graphique 3D du site.

Il faut par ailleurs noter les bonnes photos réalisées lors des campagnes HOPE et PICO avec un appareil photo numérique embarqué dans la sphère habitée du Nautilie pour faire des prises de vue (sans flash et en général sur des sujets rapprochés) au travers du hublot observateur.

Dans le domaine des stations de fond, il faut citer le système SAMO réalisé à l'IFREMER et dont une fonction est l'acquisition d'images en continu sur un même site.

### 3.2 Engins d'observation côtiers et plateau continental

Plusieurs engins ont été réalisés pour les besoins de l'halieutique (EROC : ROV d'observation des chaluts ; VECOC : système vidéo d'observation embarqué sur chalut, SYREV : caméra SIT sur drague) ou de l'observation de l'environnement littoral, engins équipés d'une caméra vidéo et parfois de projecteurs.



EROC



VECOC

### 3.3 Capteurs optiques / caractérisation de la colonne d'eau

Des travaux sur les capteurs optiques d'analyse de l'environnement sont en cours à TMSI :



Lidar

- une plate-forme Lidar (radar laser) a été développée. L'application visée est l'analyse tomoscopique de la colonne d'eau,
- capteur granulométrique,
- spectromètre (détection de phyto-plancton, mesure chimique)

### 3.4 Travaux en robotique / vision

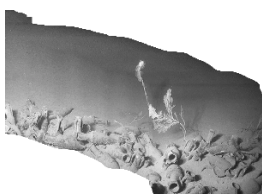
Ces développements amont (DNIS/SM/RNV) concernent les méthodes de réalisation de mosaïques d'images optiques ou acoustiques dans lesquelles on distingue deux classes d'algorithmes :

- Les méthodes procédant par calcul d'un vecteur de déplacement - dont le nombre de paramètres peut varier - entre 2 images successives (collaboration avec l'IRISA),
- Les méthodes de mises en correspondance d'images quelconques d'un même sujet.

De nombreux essais de validation avec des images sous-marines ont été faits. Certains algorithmes ont déjà été transférés vers le logiciel Adélie (voir ci-dessous).

Des travaux amont sont en cours sur les méthodes de reconstruction du relief en 3D à partir de points de vue différents d'une même scène.

On mentionnera la valorisation de ces recherches dans le cadre du projet Oracle proposé en cofinancement à la région PACA (contrat de Plan Etat Région 2000-2005) et qui consiste à établir une couverture optique des herbiers sous-marins dans le voisinage de l'île de Port-Cros.

Mosaïque  
d'images vidéo

### 3.5 Moyens de post-traitement des données engins

ADELIE (« Aide au DEpouillement Interactif des données des Engins sous-marins ») est un ensemble de logiciels réalisés par DNIS/ESI/DLE, utilisables en mer comme dans les laboratoires scientifiques, permettant de visualiser, manipuler et valoriser les données, les images et les vidéos enregistrées à partir des submersibles de l'Ifremer.



Ecran Adélie

Outre l'import de données, ADELIE comprend aujourd'hui deux modules :

- Adélie vidéo pour l'exploitation des images, (la dernière version permet de réaliser des mosaïques à partir de courtes séquences vidéo).
- Adélie SIG (Système d'Information Géographique) pour la représentation des données dans un repère cartographique.

### 3.6 Simulation d'éclairage sous-marin

Le développement d'un logiciel de simulation d'éclairage sous-marin est en cours (DNIS/STC et DNIS/ESI/IE). L'objectif est de comparer et de valider avant plongée des configurations d'éclairage des sous-marins. Deux voies sont explorées :

- Radiance : logiciel gratuit développé par une université américaine. Une comparaison scène réelle (en bassin), scène simulée a donné de bons résultats.
- Light 3D : logiciel développé et commercialisé par la PME toulonnaise OPTIS.

Il faut aussi mentionner une étude [10] réalisée en 1995 par Genavir dont l'objectif était l'amélioration de l'éclairage et l'optimisation des réflecteurs.

Les actions programmées sont :

- La caractérisation des projecteurs utilisés
- Rendre Radiance plus facilement utilisable par l'ajout d'une interface utilisateur et affiner la modélisation de la diffusion de la lumière dans l'eau de mer
- Evaluer Light 3D.

### 3.7 Archivage et conservation des images

A l'issue d'une campagne avec un engin profond, sont actuellement centralisés et conservés (sous la responsabilité du service audiovisuel de la Direction de la Communication) :

- Les films diapositives des appareils photos des sous-marins,
- Les bandes vidéo Betacam.

Des précautions sont prises pour assurer la pérennité de ces supports (archivage en local à atmosphère contrôlée ...). La copie des bandes vidéos Betacam est en projet (une réflexion est actuellement en cours en vue de transférer le fond sur support numérique).

Les autres images - en particulier les enregistrements scientifiques - ne sont aujourd'hui pas gérées par la DCOM et sont sous la responsabilité du chef de mission après la campagne. Des problèmes ont été constatés sur des enregistrements datant de campagnes passées (bandes illisibles, cassettes détériorées par l'humidité). L'absence de centralisation de ces images a aussi l'inconvénient de rendre plus difficile l'accès aux informations de campagnes passées par d'autres équipes scientifiques.

*On présentera succinctement les résultats de deux études récentes se rapportant à l'imagerie sous-marine :*

### **3.8 Etude Mesure sur images vidéo sous-marines [9]**

Cette étude a été réalisée en 1997 par J. Newman (ex responsable du projet Tiburon au Monterey Bay Aquarium Research Institute). Différentes techniques de mesure de taille et de distance susceptibles d'être utilisées sur Victor y sont comparées. Etaient recommandés, l'installation de lasers parallèles, l'utilisation du Spot Range (télémètre acoustique associé à un pointeur laser) en mode simplifié, l'emploi d'une paire de caméras stéréo avec traitement par le logiciel PhotoModeller et le développement de logiciels associés à ces équipements.

### **3.9 Etude Mosaïque d'images optiques sous-marines [3]**

Cette étude datant de fin 1999 avait été initiée par l'éventualité d'une campagne avec VICTOR en 2000. L'objectif était de réaliser la couverture optique systématique du champ de débris de l'épave du RMS Titanic sur une surface de plus de 1 km<sup>2</sup>.

L'étude s'est basée sur les besoins des utilisateurs habituels des engins (dont la surface de la zone type est de l'ordre de l'hectare). Ces besoins ont été extrapolés à une zone plus étendue (1 km<sup>2</sup>). Le problème est ici différent de celui de la mosaïque locale, où l'on intègre des images successives sur une durée limitée à quelques dizaines des secondes. L'objectif est de couvrir systématiquement un chantier avec une caméra verticale. Il faut alors intégrer les données de navigation et les mesures capteurs pour assembler des images prises lors de profils différents. Si le site est grand se pose le problème de la gestion d'une grande base de données d'images.

Pour le capteur d'images vertical, deux solutions sont envisageables : caméra couleur courte portée (2 à 4 mètres, champ image maximum de 10 m<sup>2</sup>) ou caméra noir & blanc longue portée (5 à 10 mètres) avec champ image plus large (jusqu'à 70 m<sup>2</sup>).

Dans cette étude est aussi abordée la question de la TVHD (TéléVision Haute Définition). Bien que l'on puisse attendre de cette technologie un gain significatif en résolution et qualité d'image, le coût élevé des équipements et l'absence de véritable standard européen recommandent d'approfondir l'étude avant de s'engager dans cette voie.

## 4 Etat d'avancement dans les autres organismes océanographiques

### 4.1 Wood Hole Oceanographic Institution - WHOI (Etats-Unis)

#### *Vidéo*

Les utilisateurs ayant une expérience de l'Alvin et du Nautille ont constaté que les équipements vidéo de base de l'Alvin fournissent des résultats moins bons que les moyens de base du Nautille. De très bonnes images ont été faites par Woods Hole mais avec des équipements apportés par les utilisateurs (scientifiques ou journalistes) et installés temporairement pour la durée d'une campagne.

Lors de campagnes scientifiques, des collaborations avec des spécialistes de l'image (Sony broadcast camera products, National Geographic Society, Images Unlimited/AI Giddings) ont donné des résultats remarquables (images de qualité broadcast, vidéo stéréo).



ALVIN

#### *Photo numérique longue portée noir & blanc*

WHOI peut être considéré comme la référence en la matière. L'ensemble ARGO/JASON est équipé d'un appareil photo numérique longue portée depuis 1992. En plus de l'opération Derbyshire, WHOI a effectué au moins une campagne scientifique avec cet équipement : LUSTRE 96 sur le site Lucky Strike au large des Açores. Cinq jours ont alors été consacrés à un quadrillage de la zone en suivant des profils espacés de 10 à 50 mètres.

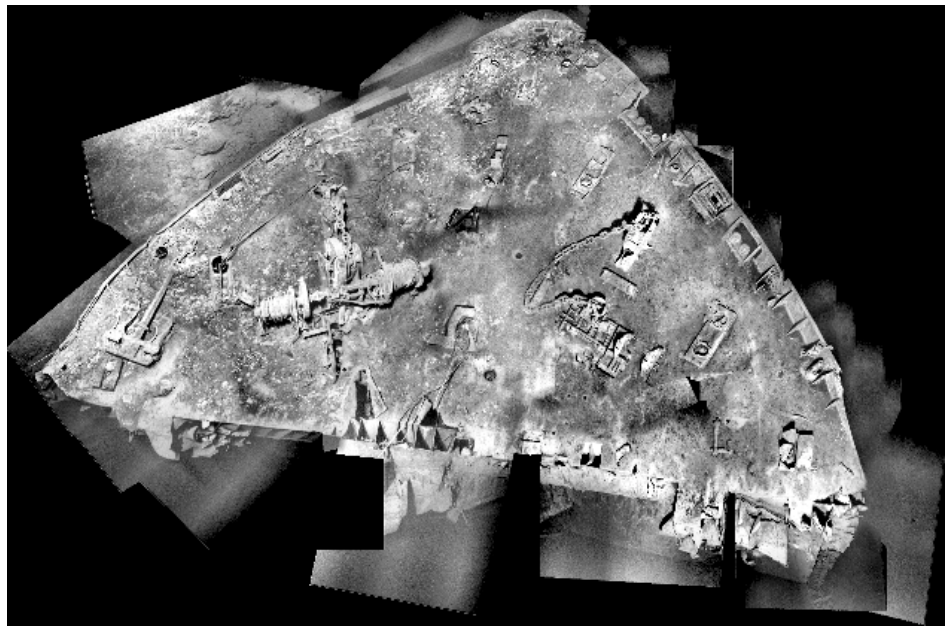
#### *Opération Derbyshire*

En 1997, deux agents d'IFREMER/Genavir ont participé à une campagne d'investigation sur l'épave du minéralier anglais Derbyshire coulé par 4200 mètres de fond en mer de Chine. Cette opération, commanditée par le Ministère des Transports britannique et cofinancée par l'Europe, a été confiée à la Woods Hole Oceanographic Institution et a duré deux mois. Ont été mis en œuvre le sondeur multi-faisceaux de surface du R/V THOMPSON, le sonar remorqué DSL 120 pour l'imagerie et la bathymétrie, l'engin remorqué ARGO pour la photo-mosaïque et le ROV JASON pour l'inspection détaillée. La couverture optique complète (150.000 photos) du champ de débris (1500 m x 1000 m) a été réalisée avec une caméra photo à CCD refroidi (à  $-30^{\circ}\text{C}$ ) à une altitude d'une dizaine de mètres. Les images de l'ESC (Electronic Still Camera) MARQUEST sont d'une excellente qualité jusqu'à une altitude de 10 mètres. L'ARGO était positionné par un système acoustique à base longue et remorqué par un navire dont le positionnement précis (GPS code P) et les qualités manœuvrières ont permis la couverture optique complète du site. Cf. [6].

L'IFREMER (F. Lecornu) a en outre participé à la réalisation des mosaïques d'images du DERBYSHIRE lors d'un séjour au Deep Submergence Laboratory de la WHOI. Cf. [5].



A partir de 1994, WHOI (Oceanographic Systems Laboratory) a travaillé sur la réalisation d'un appareil photo numérique offrant de meilleures performances (en résolution et dynamique) que l'équipement Marquest. Cette réalisation a été conduite en partenariat avec Princeton Instruments (fabricant de caméras à CCD refroidi pour l'astronomie et l'imagerie scientifique de laboratoire) et Benthos (leader mondial dans le domaine de la photo et de l'éclairage sous-marin). Cet appareil équipe un châssis remorqué 6000 mètres : le TOSS (Towed Oceanographic Survey System) et devrait être transféré sur ARGO/JASON. Un produit dérivé de cet équipement est maintenant commercialisé par la société Benthos (prix > 300.000 \$ US).



Mosaïque de l'avant du Derbyshire (largeur = 40 mètres)

### *Télévision Haute Définition (TVHD)*

En 1997, lors de l'opération Derbyshire, WHOI disposait pour le ROV JASON de 2 caméras haute définition noir et blanc (1125 lignes x 1940 points). Ces équipements donnaient de bons résultats en prise de vue rapprochée mais dans d'autres situations, la qualité était considérée comme moyenne, principalement à cause du manque d'éclairage et/ou de sensibilité. Ils n'ont pas été utilisés sur le Jason depuis 1997.

Des expériences dans ce domaine ont aussi été menées sur le sous-marin ALVIN. Lors d'une campagne de biologie récente, une caméra haute définition couleur a donné d'excellents résultats. La très bonne qualité des images numérisées que l'on peut obtenir a posteriori à partir des enregistrements vidéo conduit les responsables du sous-marin à s'interroger sur l'opportunité de supprimer l'appareil photographique (Benthos à film argentique) de l'engin.

### *Stéréo vidéo grammétrie*

Sur l'engin autonome ABE, des acquisitions d'images ont été faites avec une paire de caméras stéréo.

### *Appareil photo numérique*

Sur les campagnes Alvin, un ensemble d'appareils photo numériques (6 y compris un Nikon D1) sont disponibles et embarquables dans le sous-marin. La synchronisation avec les flashes du sous-marin est assurée (par onde infrarouge pour certains appareils).

### *Eclairage*

Des dispositifs d'éclairage avec lentilles de Fresnel ont été conçus pour l'observation pélagique.

### *Mosaïques d'images*

WHOI a des travaux en cours sur le couplage des images et des données bathymétriques et la constitution de mosaïques.

### *Nouveau ROV 6500 mètres (Jason II)*

Les spécifications du nouvel engin en projet à WHOI comprennent sur le plan de l'imagerie :

- 5 caméras couleur dont une 3CCD
- 2 caméras SIT
- en option : 1 appareil photo numérique longue portée noir & blanc et 1 appareil photo numérique couleur haute résolution
- le système de télétransmission devra permettre de remonter une voie HDTV.

## **4.2 Monterey Bay Aquarium Research Institute - MBARI (Etats-Unis)**



ROV TIBURON

Le MBARI a réalisé en collaboration avec la société Insite Tritech la marinisation d'une caméra TVHD couleur avec enregistrement au format HDCAM. Cet équipement est utilisé avec succès sur les ROVs Ventana et Tiburon (4000 mètres). Une mise à niveau de la liaison Hertzienne navire/terre est en projet afin de pouvoir transmettre la vidéo HD vers l'aquarium de Monterey.

Un effort important a été fourni par le MBARI dans le domaine de la mesure sur images. Un système avec 4 lasers de mesure est utilisé sur les ROVs.

Des travaux sont menés avec le NPS sur l'utilisation de Laser Line Scanner pour effectuer de la cartographie locale. L'évaluation d'une ESC (Electronic Still Camera) devait être conduite en parallèle.

Le MBARI a travaillé sur la réalisation automatique de mosaïques optiques à partir de vidéo sur un AUV de laboratoire et en collaboration avec

l'université de Stanford. Ceci n'a apparemment pas donné lieu à un transfert de technologie vers les systèmes opérationnels.

### *Centre d'archivage des vidéos et données*

Un système performant (VIMS = Video Information Management System) d'archivage et de gestion des images et données a été réalisé par le Video Lab qui centralise les bandes vidéo enregistrées par les ROV du MBARI depuis 1989. Soit 9000 bandes ou 4500 heures de vidéo.

Le Video Lab est aussi un lieu conçu pour accueillir les scientifiques qui souhaitent travailler sur les vidéos. Des outils sont disponibles pour accéder aux séquences, sélectionner des images et les annoter. Des scientifiques extérieurs au MBARI peuvent avoir accès aux données, il leur est demandé en contre partie d'enrichir la base de données par leurs propres analyses.

Ce processus a permis de constituer une base de données de 500.000 annotations signées.

Le format standard d'enregistrement est actuellement le Digital Betacam. Des problèmes de vieillissement et de dégradation ont été constatés sur des bandes anciennes (< 10 ans) en Betacam SP.

### **4.3 Harbor Branch Oceanographic Institution - HBOI (Etats-Unis)**

La division ingénierie de la HBOI consacre des moyens importants aux systèmes d'imagerie optique sous-marine et dispose de compétences de premier plan en optique en milieu marin.

Des développements sont faits dans le domaine des caméras photo, de l'éclairage, des lasers, de la mesure tridimensionnelle. Un imageur laser a récemment été réalisé et livré à l'US Navy. On donnera en exemple un système d'éclairage cohérent en rideau pour l'observation d'organismes pélagiques.

Une partie des travaux a été conduite dans le cadre de programmes montés avec des institutions telles que la National Geographic Society, la BBC, Walt Disney...

### **4.4 SCRIPPS Institution of Oceanography (Etats-Unis)**

Un laser scanner (le 3-D Sea Scan) a été réalisé par des biologistes en partenariat avec l'US Navy qui a apporté les financements (1.8 M USD). Les applications ciblées sont la quantification de la distribution des organismes au fond, la détection de mines, l'archéologie et éventuellement des applications en offshore pétrolier. La portée est de quelques dizaines de mètres.

Une étude est par ailleurs en cours pour le remplacement d'une caméra Benthos à film par un appareil photo numérique sur une structure tripode immergeable 1 an par 6000 m de fond.

#### 4.5 Institute For Exploration - IFE (Etats-Unis)

Institut fondé par Bob Ballard disposant de moyens 3000 mètres et orienté archéologie.

L'IFE a réalisé un engin remorqué lourd pour l'imagerie optique. Cette plate forme doit aussi servir de lest dépresseur à un ROV en cours de réalisation.

Des études sont en cours pour l'intégration d'une Electronic Still Camera (type WHOI/Derbyshire) et d'une caméra TVHD.

#### 4.6 JAMSTEC (Japon)



Depuis plus de 15 ans, le JAMSTEC poursuit des travaux de développement de caméras haute sensibilité et haute définition (3000 lignes TV). Le nouvel équipement en cours de réalisation sera installé sur leur nouveau ROV 3000 m Hyper Dolphin. Ces développements donnent des images de haute qualité mais avec des technologies propriétaires les rendant peu exploitables.

Les Japonais ont acheté à Benthos une camera N/B à CCD refroidi (ESC) issue des développements réalisés à la WHOI. Cet équipement est destiné au nouvel AUV en cours d'achèvement et sera utilisé pour faire de la mosaïque.

#### 4.7 Shirshov Institute of Oceanology (Russie)



Sous-marin MIR

Pour la réalisation d'un film (avec la National Geographic Society), une caméra cinéma IMAX a été installée sur un des sous-marins MIR. Sur ces engins, l'usage de caméras et de projecteurs sur perches déployables est courant.

*On mentionnera en outre les développements en cours dans deux sociétés privées françaises.*

#### 4.8 AQUA + (La Seyne sur Mer)

Cette filiale de Canal+ dispose de 2 sous-marins à sphère d'acrylique 1000 mètres. Des caméras TVHD (Sony) sont en cours d'intégration sur ces engins.

#### 4.9 COMEX (Marseille)

La société Comex travaille sur la marinisation (en enceinte 600 ou 1000 mètres) d'un appareil photo numérique couleur haut de gamme. Cet équipement est destiné au sous-marin Remora et à un Rov (coût estimé à 300 kF).

## 5 Etat de l'art technique

En préambule, il faut souligner la mutation importante que subit aujourd'hui le monde de l'image sous l'impulsion des avancées de la microélectronique et de l'informatique. Cette révolution touche les divers maillons de la chaîne d'imagerie, des détecteurs d'images aux moyens de stockage en passant par les formats de transmission et les outils de traitement. Elle a un impact dans des domaines aussi divers que l'imagerie scientifique et médicale, la télévision, le cinéma ou les équipements grand public.

### 5.1 Vidéo

Distinguons tout d'abord deux branches dans le domaine de l'image animée.

On a d'une part, le monde de la télévision et des médias, tourné vers le grand public. Si les équipements ont fait des progrès significatifs, les standards vidéo — et en particulier la résolution verticale des images — ont peu évolué depuis 30 ans du fait du poids de la base d'équipements installés. Si différents niveaux de qualité existent en fonction des besoins (professionnel, grand public), la compatibilité avec le standard 625 lignes à balayage entrelacé (en Europe, 525 aux Etats-Unis) est toujours une contrainte. On notera ici l'incompatibilité entre les standards européen (PAL, 25 images/seconde) et américain (NTSC, 30 images/seconde).

On trouve d'autre part, le domaine de la vision industrielle et de l'image scientifique de laboratoire où le mode d'exploitation des images est différent. Les équipements d'imagerie (à matrice ou à barrette de CCD) sont en général intégrés dans une chaîne informatique de traitement. Les applications concernent souvent la métrologie. C'est un marché propre qui s'affranchit des contraintes imposées par les formats grand public et sur lequel on trouve des matériels entièrement numériques. Les débits élevés des liaisons vidéo numériques posent des problèmes d'intégration non négligeables sur des engins sous-marins.

Ce domaine d'application a conduit au développement de capteurs à balayage progressif (Progressive scan : technologie supprimant l'effet de bougé imputable au balayage entrelacé) dont certains sont compatibles, au niveau du signal délivré, avec les standards vidéos type télévision. Cette solution présente un intérêt majeur pour l'imagerie vidéo avec caméra verticale sur un engin en déplacement.

#### *Télévision Haute Définition (TVHD ou HDTV)*

En multipliant par 5 la résolution de l'image (1920 x 1080), cette technologie apporte un gain considérable en qualité d'image.

Des programmes commencent à être diffusés aux Etats-Unis et au Japon et des équipements existent pour la production cinématographique. L'obstacle majeur au développement de cette technologie est l'absence de standard international. En Europe, la TVHD a mobilisé des ressources importantes il y a une dizaine d'années (Thomson, CCETT), l'effort s'est aujourd'hui considérablement réduit faute d'adhésion du marché. Les formats existant

aujourd'hui sont principalement dérivés du format américain NTSC. Le monde de la TVHD est cependant en plein développement et la pénétration de cette technologie dans le monde du cinéma semble s'affirmer.

Des caméras peuvent être conditionnées pour un usage sous-marin. La transmission de l'image vers la surface impliquerait l'usage d'une fibre optique et d'une électronique spécifique.

En raison de l'étroitesse du marché actuel, le coût des équipements TVHD est élevé (environ 500 kF pour un magnétoscope).

### *Détecteurs d'image*

Le détecteur d'image est le dispositif qui remplace le film dans une caméra numérique. Il effectue la conversion du signal optique (photons) en signal électronique.

L'utilisation de matrices de détecteurs à semi-conducteur s'est généralisée dans les caméras. La technologie CCD (Coupled Charge Device) est maintenant concurrencée par les capteurs CMOS de moindre sensibilité mais dont les coûts de fabrication sont plus réduits, les procédés de fabrication des détecteurs CMOS étant les mêmes que ceux des composants microélectroniques les plus courants. Les débouchés de cette technologie sont aujourd'hui les caméras vidéo à bas coût (webcams), son intérêt reste à confirmer pour les applications demandant une image de qualité.

### *Caméras vidéo haute sensibilité*

Pour répondre à des besoins de vision en ambiance faiblement lumineuse (vision de nuit...), des intensificateurs de lumière ont été mis au point. Des caméras sous-marines (noir & blanc) réalisées sur ce modèle sont employées dans l'intervention sous-marine offshore. Ce type de caméra a été testé sur Cyana et Nautila avec des résultats peu probants (image bruitée). Leurs inconvénients sont une dynamique faible et une forte sensibilité aux perturbations électromagnétiques.

Pour des applications scientifiques de laboratoire (microscopie, phénomènes peu lumineux), des caméras vidéo à CCD refroidi (sur le même principe que les appareils photo mentionnés ci-après) sont proposées.

### *Caméras couleur*

Les progrès accomplis dans le domaine de l'électronique ont conduit à l'apparition sur le marché de caméras miniatures et de caméras de haute qualité (3CCD) d'un prix abordable.

Plusieurs sociétés réalisent aujourd'hui des caméras vidéo de série conditionnées en enceinte résistante (Deep Sea Power & Light, Insite, ROS, Simrad/Osprey). Des produits 6000 mètres sont parfois proposés.

### *Formats d'enregistrement (étude de M. Gouillou)*

Les avantages du numérique (meilleure conservation de l'information à la copie, absence de détérioration à la lecture, compacité des supports

physiques) et les progrès des algorithmes de compression ont conduit les constructeurs d'équipements à proposer des supports d'enregistrements non analogiques. Différents niveaux de qualité existent en fonction des besoins (grand public ou professionnel). On constate cependant une amélioration significative de la qualité à coût constant et un rapprochement des niveaux de qualité entre la vidéo broadcast (haute qualité), l'institutionnel, et le grand public.

Les formats qui ont tendance à se généraliser aujourd'hui sont le DV (et DVCAM) et le MPEG2. Le DVCAM est quasiment un standard de fait à son niveau de qualité qui en fait une alternative intéressante aux formats analogiques S-VHS ou Hi-8. Il est adopté par bon nombre de sociétés du domaine des médias. Un magnétoscope DVCAM embarqué a en outre été testé avec succès dans le Nautille lors de la campagne HOPE.

Pour de l'enregistrement vidéo direct sur de longues périodes, il n'existe pas aujourd'hui d'alternative à la bande magnétique. Les supports de type disques optiques et DVD sont utilisés dans des applications d'archivage et de sauvegarde (un disque DVD d'un coût unitaire de 480 FF peut contenir 2 heures de vidéo MPEG2). Une solution d'enregistrement sur disques (disques RAID sur base PC NT) a été réalisée récemment par une société anglaise pour Fugro qui l'utilise avec un ROV offshore. La qualité des images n'est ici pas un critère prépondérant et le taux de compression accepté autorise une capacité de 12 à 40 heures. L'intérêt principal est la facilité d'exploitation des images vidéo en liaison avec les données associées. On notera aussi la mise au point (sociétés AVID et Ikegami) d'une caméra enregistrant directement sur disque dur (en cassette extractible) en qualité broadcast, la durée d'enregistrement allant de 25 à 40 minutes pour un disque.

### *Formats de transmission des images vidéo*

Des formats de transmission numériques ont fait leur apparition (SDI, IEEE 1394). Le débit élevé (270 Mbits/s pour le SDI) impose des interfaces et des supports physiques plus coûteux. Leur compatibilité avec l'environnement électromagnétique des engins reste à évaluer.

## **5.2 Photographie**

### *Photographie couleur*

Dans le domaine de la photographie, l'évolution majeure est l'apparition sur le marché d'équipements numériques qui délivrent l'image sous forme de fichier informatique. De nombreux constructeurs proposent aujourd'hui des appareils à capteur CCD destinés au grand public ou à des utilisateurs professionnels qui concurrencent les appareils de technologie classique à film argentique. Certains équipements hybrides peuvent être utilisés en mode photo ou vidéo.

Bien que progressant rapidement, la résolution des images issues des matériels numériques n'atteint pas encore celles obtenues avec les technologies argentiques. Les capteurs CCD ont progressé considérablement ces dernières années, les meilleurs ont aujourd'hui une

résolution de 4 millions de pixels tandis que la résolution d'un film diapositive est d'environ 9 millions de pixels.

La disponibilité des images sous forme de fichier informatique ou sur papier (via une imprimante), les facilités offertes en traitement (amélioration de la luminosité d'une image par exemple), copie, transfert procurent un avantage déterminant au numérique pour une utilisation scientifique.

Certains appareils numériques ont une interface informatique autorisant un contrôle à distance de l'appareil (prise de vue, pilotage du zoom, mise au point, configuration), caractéristique intéressante pour une utilisation sur un engin sous-marin. Le choix d'un appareil, tributaire de l'offre du marché, doit aussi prendre en compte la facilité d'intégration dans une enceinte résistante, les liaisons de données ainsi que les paramètres de l'optique et du détecteur.

Un point notable pour l'imagerie scientifique est qu'avec le numérique, la nécessité d'incruster des données sur les photos disparaît. Les images sont stockées comme les données sous forme de fichiers informatiques, il est donc facile de les associer sur le même support de stockage ou lors de l'exploitation par des logiciels. Il faut en revanche respecter une convention pour le nom des fichiers images qui permette de faire facilement la liaison entre l'image et les informations (position, immersion...) associées. La meilleure solution étant d'inclure date et heure (TU) dans le nom des fichiers.

L'utilisation de fichiers à la place d'images pose la question de la protection du copyright et de l'authenticité des images, les copies et manipulations étant plus faciles sur des données numérisées. L'existence de techniques de protection des images par incrustation en filigrane peut répondre à cette question.

Dans le domaine sous-marin, on mentionnera les matériels proposés commercialement par les sociétés Desert Star/Etats-Unis (appareil photo à CCD développé spécifiquement pour le compte de la NOAA) et West Tech/Norvège (conditionnement en enceinte 3000 mètres d'un appareil numérique Olympus).

Si l'intérêt du numérique est indéniable, on soulignera que pour faire une bonne photo, il faut y consacrer du temps et soigner le cadrage, l'éclairage et les réglages.

### *Appareils photographiques Noir & Blanc à CCD refroidi*

Ces appareils sont depuis longtemps utilisés en imagerie scientifique de laboratoire et en astronomie où il est nécessaire d'observer des sujets à très faible luminosité. Le refroidissement du détecteur confère au capteur une bonne dynamique et une bonne sensibilité tout en améliorant le rapport signal/bruit. Cette dynamique importante (jusqu'à 96 dB ou 16 bits) peut être appréciable en imagerie sous-marine où la forte atténuation de l'eau produit des contrastes importants entre les sujets proches et distants. A titre de comparaison la dynamique de l'œil humain est de 110 dB ou 19 bits (sa résolution est d'environ 1' d'arc, un capteur équivalent devrait donc avoir 3000 points par ligne pour un champ de 50 °). Le marché de ces équipements dans le domaine sous-marin est étroit (applications militaires et dans une moindre mesure scientifiques).



Cette technique est bien adaptée à l'imagerie optique à longue portée (10 mètres). Un équipement de ce type (caméra Quantix de Photometrix) a déjà été essayé de l'intérieur du Nautilus en 1998. Cet appareil a donné de bons résultats mais son intégration en enceinte résistante sous-marine est difficilement envisageable [4]. Des contacts ont aussi eu lieu avec la société française Lheritier qui propose un appareil bâti sur ce principe.

### 5.3 Eclairage

Quelles que soient les techniques utilisées en photo ou en vidéo, l'éclairage est un facteur prépondérant tant dans le dosage de la puissance, la répartition des sources que dans la technologie employée.

En ce qui concerne les sources lumineuses, peu d'améliorations notables sont à attendre depuis l'apparition des lampes à arc à spectre lumière du jour. Ces sources sont maintenant couramment utilisées en sous-marin en complément des lampes à incandescence. Des versions à bas coûts et faible puissance avec électronique intégrée existent maintenant pour l'automobile.

Cependant, la conception de systèmes d'éclairage (réflecteurs, disposition des sources) bénéficie aujourd'hui des progrès récents accomplis dans les logiciels de simulation et de conception assistée par ordinateur. Des retombées sont à attendre sur le choix des sources, leur disposition et la conception des réflecteurs.

### 5.4 Hublots et correcteurs

La mise au point d'optiques de caméras sous-marines résistant à une pression hydrostatique élevée (750 bars) pose des problèmes techniques difficiles, surtout pour des optiques à focale variable. Les grands champs souhaités et la limitation des distorsions recommandent de recourir à des hublots sphériques. La fabrication de ces derniers en verre minéral est délicate. Cette solution est cependant préférable parce qu'elle permet de réduire significativement les dimensions et la masse de l'ensemble caméra par rapport à des hublots en matériau plastique (PMMA).

La conception et l'intégration des correcteurs d'aberrations pour des enceintes soumises à de fortes contraintes mécaniques imposent le recours à des compétences spécialisées.

### 5.5 Lasers

L'emploi de sources laser dans de nombreux domaines a contribué aux progrès et à la baisse des coûts de ces composants. En sous marin, leur intérêt principal concerne la mesure.

#### *Imageurs laser (lidar)*

Les systèmes d'imagerie basés sur un balayage laser ont depuis longtemps donné lieu à des développements. Des prototypes sous-marins ont été réalisés avec comme inconvénients principaux le coût et l'encombrement.

Un démonstrateur sous-marin a été réalisé par Bertin/Cybernetix il y a quelques années sur financement CEPM. Sa fonction était l'inspection de structures immergées offshore. Ce produit n'a pas eu de débouchés industriels.

De nombreuses études sont en cours sur ce sujet, en particulier aux Etats-Unis avec pour objectif des applications militaires (détection de mines) et des projets d'emploi à des fins scientifiques.

Les avantages potentiels de cette technologie sont la portée (> 10 m), la faible sensibilité à la turbidité et la capacité d'acquisition simultanée de l'image optique et de la bathymétrie. Les contraintes liées à l'intégration en sous-marin de cette technologie semblent difficiles à surmonter à coût acceptable.

## 5.6 Mesure sur images sous-marines

Ce problème de dimensionnement des objets observés est d'autant plus critique avec les engins téléopérés où la vision humaine stéréoscopique est absente. Pour y répondre, différentes techniques sont mises en œuvre :



Laser 6000m

- L'installation de pointeurs lasers parallèles pour donner l'échelle de référence dans le champ de l'image. La miniaturisation des lasers à semi-conducteur facilite aujourd'hui leur conditionnement pour une utilisation sous-marine. Un essai est en cours sur Victor.
- La stéréo photogrammétrie qui consiste à déduire la géométrie d'un objet à partir de deux ou plusieurs vues de cet objet prises de points de vue différents. Des logiciels d'aide au dépouillement - on citera en particulier Photomodeler, produit bon marché déjà utilisé dans le monde sous-marin - existent aujourd'hui. La tâche de mise en correspondance des points homologues, qui se fait manuellement reste fastidieuse. Pour avoir deux points de vue simultanés, il faut mobiliser deux canaux vidéo et se cantonner à un champ de mesure restreint. Des recherches sont en cours en vue d'automatiser les traitements.
- Distance mesurée par l'autofocus d'une caméra,
- Un télémètre acoustique associé à un pointeur laser (Spot Range de Seatex). Ce système a été installé sur le Nautille au début des années 90 mais sa mise en œuvre était jugée trop compliquée et les résultats décevants. Dans certaines configurations d'utilisation (sujet non perpendiculaire à l'axe de visée), la largeur du lobe du sondeur entache la mesure d'une erreur significative,
- Etalon disposé dans le champ de l'image (règle, cadre),
- Eclairage spéciaux (d'un volume déterminé, en rideau...).

## 6 Environnement industriel et scientifique

### 6.1 Environnement industriel et domaines d'applications connexes

Plusieurs domaines d'activité présentent des points communs avec nos besoins en imagerie.

*Le secteur de l'exploitation des ressources pétrolières et minérales:* c'est là que se trouve le marché principal des caméras et projecteurs sous-marins. Des matériels de série sont proposés, y compris par des sociétés françaises (Hytec, Exavision), des compétences en imagerie existent aussi chez des systémiers intégrateurs (ECA, ComexPro, Cybernetix). L'image est principalement pour les pilotes d'engins robotisés un moyen de contrôler les opérations en temps réel. Le facteur qualité des images n'est ici pas déterminant. Ceci limite les recouvrements avec le domaine de l'image scientifique.

On peut rapprocher de ce champ d'application, le nucléaire et l'inspection de barrages et conduites d'eau ou d'assainissement.

Des points d'intérêt communs existent potentiellement sur les aspects mesures et contrôle de structures immergées.

#### *Applications sous-marines militaires :*

En France, peu de travaux sont apparemment menés dans le domaine de l'image sous-marine pour des applications militaires, contrairement à ce qui se passe aux Etats-Unis. Les développements basés sur les lasers portent plutôt sur des systèmes de surface. Des compétences en optique sous-marine existent chez des industriels comme Thomson Marconi Sonar.

#### *Le secteur des médias et de l'image grand public*

Le monde sous-marin est un domaine attractif pour le grand public. Le succès des documentaires sur le sujet et le nombre d'Aquariums et de musées marins existant aujourd'hui sur les côtes françaises en témoignent. C'est un secteur potentiel d'ouverture susceptible de faire progresser les équipements de nos moyens d'intervention (réalisation de documentaires, diffusion des images vers des centres ouverts au public).

#### *L'astronomie, le spatial et l'imagerie scientifique :*

Ces disciplines sont à la base de développements innovants. Elles jouent en rôle moteur dans le progrès des instruments et capteurs d'image. Ces avancées sont susceptibles d'avoir des retombées sur nos applications, une fois pris en compte les facteurs coût et intégration.

Le Pôle Optique Photonique POPSud créé récemment en région PACA illustre la dynamique induite par l'astronomie dans ce secteur.

### *L'archéologie sous-marine*

L'investigation archéologique sous-marine porte en grande majorité sur des épaves situées à faibles profondeurs (< 60 mètres) et sur des sites de taille réduite (de l'ordre de la cinquantaine de mètres).

Les points communs avec l'observation scientifique se trouvent dans le besoin d'effectuer des relevés quantitatifs (relevé de la géométrie 3D d'une épave) et dans l'intérêt pour les reconstitutions de type mosaïques.

Des collaborations potentielles sur les épaves profondes peuvent éventuellement être renouvelées (cf. paragraphe 3.1 – campagne Nautilion).

## **6.2 Environnement scientifique**

Etude de V. Rigaud.

On distingue plusieurs domaines dans l'environnement scientifique :

- Celui assez restreint de **l'optique en milieu marin**,
- Celui de **l'optique** et des aspects physiques associés, en particulier dans des écoles et instituts spécialisés (SupOptique, ESPEO Université d'Orléans, CEA LETI...),
- Celui de **la vision par ordinateur** qui repose sur de nombreux laboratoires universitaires ou académiques spécialisés par type d'applications sur des thématiques variées et des laboratoires plus génériques, en particulier à l'INRIA, travaillant sur les méthodes.

### 6.2.1 Optique en milieu marin

La référence en la matière est le LPCM (Laboratoire de Physique et Chimie Marine – CNRS/INSU) de Villefranche dont les thèmes de recherche comprennent les propriétés du milieu marin et l'exploitation des données satellitaires de couleur de l'océan.

A l'UBO (Université de Bretagne Occidentale), le laboratoire de Spectrométrie et d'Optique Laser a des travaux en cours sur la propagation en milieu turbide et l'imagerie sous-marine laser.

On citera aussi le Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) de l'UTV (Université de Toulon Var).

Des compétences existent aussi chez Thomson Marconi Sonar (applications militaires) et au CNES (couleur de l'océan).

### 6.2.2 Laboratoires et thématiques de recherche en Optique « physicienne »

Les nouveaux champs d'application de l'optique (stockage, transport et visualisation d'informations, mesure et contrôle, procédés industriels, médical...) civils ou militaires ont initié des recherches sur les technologies dans le domaine de la lumière visible mais aussi de l'infrarouge, de

l'ultraviolet et des rayons X. Un panorama des principaux laboratoires est dressé, leurs travaux sont cependant tournés vers des applications souvent éloignées des nôtres.

### *Institut d'Optique Théorique et Appliquée d'Orsay*

L'IOTA se situe au centre de gravité du groupement francilien « Optics Valley ». Il comprend :

- Le laboratoire Charles Fabry dont les travaux font référence dans les domaines suivants : optique atomique, optique quantique, optique non-linéaire, activité xérogels, polymères, biocapteurs optiques, non-linéarités photoréfractives, physique des couches minces, surfaces et interfaces, physique des images, surfaces et composants optiques,
- Le Laboratoire d'Optique Appliquée de l'Institut d'Optique (LOA/IO) est un groupe chargé de répondre à des demandes des industriels dans le domaine de l'optique instrumentale sous diverses formes : expertises, évaluations théoriques de systèmes optiques, études de faisabilité sur banc de calculs, modélisations optiques et photométriques, études et réalisations de maquettes ou de prototypes originaux sur cahier des charges. Cette équipe appartient au **GIFO (Groupement des Industriels Français de l'Optique)** et intervient largement dans les domaines suivants : optique instrumentale, optoélectronique, capteurs optiques (à laser, à fibres optiques, ...), dispositifs d'éclairage, vision et traitement des images,
- Ecole Supérieure d'Optique dont les principaux thèmes de recherche et de formation sont : laser et matière, optique et photonique, physique des plasmas.

### *Ecole Supérieure PEO (Orléans)*

Avec deux laboratoires : le LESI (applications médicales, traitement en temps réel des signaux et des images) et l'ESPEO-GREMI (étude des plasmas).

### *Les Laboratoires CNRS du SPI*

Ces laboratoires sont rassemblés dans la section ondes électromagnétiques, optique, acoustique.

Ils étudient et exploitent les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques de l'optique aux hyperfréquences. La liste non exhaustive qui suit montre l'hétérogénéité des laboratoires de physique dans ce domaine, avec une forte tendance vers la nano optique, l'optique non linéaire, les plasmas, et de nombreuses valorisations laser/télécommunications. Les principaux sont :

- Laboratoire Optique Pierre-Michel Duffieux (LOPMD) de Besancon,
- Institut de recherche en communications optiques et microondes (IRCOM) LIMOGES,
- Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique ORSAY,

- Laboratoire d'optique électromagnétique LOE MARSEILLE,
- Laboratoire d'optique des surfaces et des couches minces LOSCM à MARSEILLE,
- Optique du champ proche : nano-optique BESANCON.

### *Le CEA LETI*

L'activité est relative d'une part à l'optronique (détection infrarouge, conception de circuits et de composants, extraction de paramètres, télémétrie laser, microlidars, composants pour l'observation spatiale...).

Et d'autre part aux instruments et systèmes de traitement dans les domaines suivants : capteurs à fibre optique, mesures 3D, analyse d'images.

Un système de reconstruction d'épaves archéologiques à été transféré à l'IEASM en reconstruction 3D (JY Empereur, statue de Ptolémée).

### *L'ONERA - Département Optique Théorique et Appliquée (DOTA),*

Avec 145 chercheurs spécialisés dans les domaines de l'optique et de l'optronique, l'ONERA couvre tous les aspects de ces disciplines qui intéressent les systèmes militaires et civils. L'ONERA développe et maîtrise des chaînes instrumentales optiques, depuis la source jusqu'aux post-traitements, dans une gamme de longueurs d'onde allant de l'infrarouge à l'ultraviolet. En 20 ans d'expérience, il est devenu un pôle d'excellence dans quatre spécialités : la modélisation de la scène ; l'instrumentation optique de hautes performances, notamment dans l'infrarouge ; l'imagerie optique adaptative ; les applications laser utilisées en observation ou contre-mesures.

On citera aussi les laboratoires centraux de grands groupes industriels : Alcatel orienté télécommunications et Thomson tourné vers les applications militaires.

### *Autres unités*

Dans les secteurs suivants, se trouvent des unités possédant de fortes compétences en optique et imagerie :

- Astronomie avec des développements amonts sur les détecteurs (on citera le LAM – ex-LAS à Marseille),
- Spatial : imagerie et détecteurs (CNES...),
- Armement, fort investissement dans les lasers et l'infrarouge,
- Médical : marché important pour l'imagerie stimulant des recherches (optique en milieu diffusant...).

### 6.2.3 Vision par ordinateur

#### *Le GDR-PRC ISIS (unité G-720 du CNRS)*

C'est une structure légère et fédérative mise en place conjointement par le CNRS et le MENRT rassemblant 1100 chercheurs répartis en 134 équipes des universités du CNRS et de l'INRIA. Les principaux laboratoires sont : LAAS, LETI, INRIA, LAG, LIFIA GRAVIR, IRCYn, I3S, ENST...

ISIS s'ouvre à l'information, à la vision et aux télécommunications, accentuant le dialogue avec les partenaires industriels au travers d'opérations recherche-industrie. Ses axes scientifiques s'articulent autour de l'ensemble des processus de l'observation à l'interprétation de l'information : traitement de données hétérogènes, étude des processus non stationnaires, modélisation, traitement, analyse et interprétation d'images, traitement sous contraintes et architectures.

De nombreux projets sont soutenus par l'industrie (exemples : segmentation des images sismiques, Elf Aquitaine ; méthodes de restauration, CNES ; boîte à outils temps-fréquence compression d'images "SATellite" CNES ...).

Les principaux projets en cours sont : Imagerie Cérébrale Fonctionnelle, Radar à Ouverture Synthétique, Action Coordonnée en Compression, Outils de Segmentation d'Images Animées pour MPEG-4/7 (RNRT), VISIR : Vidéo, Image et Son Indexation et Recherche, Modèles perceptifs pour la Vision, Sureté-Surveillance-Supervision lié à la vision.

Ces actions se déroulent pour l'essentiel à L'INRIA dans les laboratoires CNRS ou universitaires du groupement.

#### *L'INRIA*

Cet institut regroupe les équipes robotique, automatique, vision dans un thème commun : « Interaction homme-machine, images, données, connaissances », qui met bien dans son intitulé en évidence le lien fort entre traitement, manipulation et accès aux données d'imagerie. Ce couplage est clairement exprimé dans le descriptif du contenu de ce thème :

*« La modélisation d'objets tridimensionnels et la reconnaissance de scènes, en prenant éventuellement en compte le mouvement, fournissent des techniques de vision par ordinateur nécessaires au pilotage des systèmes robotisés et interagissent avec la synthèse d'images (simulateurs, illumination artificielle, production audiovisuelle). Le développement des réseaux fournit des contraintes nouvelles pour la transmission des images (compression, paquetisation, transmission progressive) comme la recherche et la manipulation de documents dans des banques d'images ».*

## 7 Recommandations du groupe de travail

La création du groupe de travail a été initiée par la nécessité de répondre aux demandes des utilisateurs des moyens profonds. **Il est cependant apparu qu'une grande partie des conclusions pouvait s'appliquer aux moyens d'observation sur le plateau continental et côtiers.** Les points communs se situent principalement au niveau des capteurs, des équipements d'acquisition, de l'archivage et des logiciels de traitement. Les différences majeures entre les applications sont les contraintes d'intégration mécaniques liées à la pression, la turbidité des eaux, et l'éclairage qui peut être naturel dans certaines applications côtières.

### 7.1 Recommandations générales

Vecteur : Compte tenu de la distance d'observation et de la résolution (cm ou mm), l'imagerie optique est bien adaptée à des engins à contrôle précis (sous-marin habité, ROV) et non sujets au pilonnement. En ce qui concerne les moyens d'intervention profonds, **l'effort doit donc porter en priorité sur Victor et Nautille.** Avec son câble à fibre optique et sa capacité à faire des plongées longues (> 24 heures), Victor est aujourd'hui l'engin le plus à même de recevoir des équipements d'imagerie performants. Dans un second temps, on pourra cependant évaluer l'intérêt de réaliser un moyen d'investigation optique plus léger (de type SCAMPI mais avec une télétransmission sur fibre optique). On peut aussi envisager de faire de l'observation optique à partir de véhicules autonomes, notamment avec capteurs à longue portée et en biologie pélagique.

**Favoriser les actions en collaboration pour les projets d'envergure.** Soit avec des intervenants des domaines connexes à notre champ d'applications, domaines où une image de bonne qualité est demandée (médiias, musées, archéologie, intervention sous-marine à vocation militaire). L'évolution vers des équipements vidéo haute définition pourrait par exemple s'inscrire dans ce cadre. Soit avec des organismes scientifiques (en particulier européens) dans une logique de factorisation des études et de réduction des coûts. Soit avec des laboratoires de recherche. Des actions d'opportunité éventuellement couplées avec le secteur de l'éducation contribueront à valoriser les moyens de l'Institut et les travaux scientifiques. Il faut dans ce cas prêter une attention particulière aux droits des images.

Sur nos moyens propres et notamment sur les engins profonds, **la modularité, la compatibilité et l'interchangeabilité des équipements doivent être privilégiées.** La standardisation des matériels et logiciels permet une plus grande souplesse de configuration, une simplification de la mise en œuvre et de l'exploitation.

### 7.2 Actions recommandées

Les coûts indiqués sont des estimations qu'il faudra affiner dans le cadre des fiches projets.



### 7.2.1 Actions à court terme

#### *Vidéo*

Pour répondre aux attentes des utilisateurs, une priorité est de **passer à un format d'enregistrement numérique (a priori standard DVCAM) pour les vidéos destinées aux scientifiques**. Pour le NAUTILE, les scientifiques demandent que cette évolution soit réalisée avant la fin du grand carénage 2000/2001. (Coût estimé de cette évolution : 250 kF pour le Nautile, idem pour Victor).

Une autre action prioritaire est de répondre à la demande d'**installation d'une caméra verticale couleur avec éclairage adapté sur Victor** (Coût : 300 kF). Le couplage avec une mesure d'altitude permet d'extraire simplement des informations quantitatives des observations. Une étude orientée vers une utilisation en biologie benthique est en cours sur ce point en 2000.

Dans la conception de la chaîne d'acquisition **vidéo**, il est important de considérer celle-ci comme une **source d'images fixes**.

#### *Photographie sous-marine couleur*

Appareil photo à film argentique : il n'est pas opportun de consacrer aujourd'hui des ressources significatives au développement d'équipements photos à film pour les engins, il faut par contre **rechercher les améliorations susceptibles de produire des résultats à faible coût** (les pistes évoquées sont : travail sur la position des sources lumineuses et du capteur, sur l'éclairage, émulsions nouvelles). Les évolutions programmées sur le flash du Nautile (asservissement du flash à une cellule) sont jugées intéressantes, elles devront être valorisables pour la photo numérique.

#### *Photographie numérique longue portée (monochrome)*

Le besoin d'effectuer une couverture optique systématique d'une zone dont les dimensions vont de l'hectare à la dizaine d'hectares est clairement exprimé par diverses communautés d'utilisateurs. **Il convient de doter Victor – plate-forme la plus adaptée pour remplir ce type de mission - de moyens de prise de vue verticale longue portée (10 mètres)**. Cet équipement pourra être associé avec intérêt à d'autres capteurs (capteur acoustique pour relevé bathymétrique en particulier), cf. [8]. Ce besoin de quadrillage d'un chantier rejoint celui de l'inspection détaillée du champ de débris d'une épave profonde. Le développement ou l'acquisition d'un tel outil permettra à l'Ifremer d'accomplir des campagnes de type Derbyshire (cf. paragraphe 4.1). Le coût du capteur d'images longue portée avec éclairage associé est estimé à 2000 kF, la durée du projet à 18 mois. L'impact sur la télétransmission Victor pour la remontée des informations doit être analysé.

#### *Eclairage*

L'effort de modélisation entrepris dans ce domaine (caractérisation des sources, logiciel de simulation, optimisation des configurations d'éclairage) doit être poursuivi avec pour objectif le test en simulation

de configurations d'éclairage avant essais in situ. Le but est d'aboutir à l'implantation de nouvelles solutions : déport sur perche, gradateur, projecteurs orientables, nouveaux réflecteurs. Sur le Nautille, le placement optimum des projecteurs nécessitera probablement des modifications de la face avant.

### *Mosaïques d'images*

Afin d'optimiser l'exploitation des images acquises lors du quadrillage d'un chantier - notamment en prise de vue verticale - il est nécessaire de **développer un outil logiciel adoptant une gestion géographique de l'image** valorisant les travaux amont effectués en traitement d'image et ayant pour fonction :

- de gérer de grandes bases d'images avec leurs données associées (position géographique, altitude, orientation...),
- de fournir rapidement un produit élaboré en automatisant en partie la construction de mosaïques d'images et en permettant un affichage multi-résolution.

Le coût d'un tel outil qui doit s'appuyer sur un positionnement précis du vecteur est estimé à 500 kF.

### *Archivage et conservation des données*

Une recommandation importante porte sur la nécessité de **centraliser les images et les données issues des campagnes des engins sous-marins et de prendre des dispositions pour assurer de bonnes conditions d'archivage**. Le coût élevé de l'acquisition de ces informations justifie la mise en place de moyens garantissant la protection du patrimoine qu'elles constituent. Un accès facile au produit des campagnes passées favorisera de plus une analyse de l'évolution des chantiers dans le temps. Voir à ce sujet les conclusions du groupe de travail « Données Victor » - juillet 1997 [7].

Pour la vidéo, un des problèmes à résoudre est celui de la duplication (ou du double archivage) afin de disposer en fin de campagne d'une copie pour l'équipe scientifique et d'une copie pour le centre d'archivage.

On donne à titre indicatif le volume d'informations que produira une campagne Victor (12 plongées de 24 heures) : 864 heures de vidéo (soit 288 bandes de 3 heures) et 3 Gigaoctets de données (soit 4 CD-ROM).

## 7.2.2 Actions nécessitant une phase d'étude

### *Photographie sous-marine couleur*

Photo numérique couleur : Sur les engins profonds, l'amélioration des moyens de prise de vue photographiques est une priorité. L'effort doit porter sur **l'intégration sur les engins d'un appareil photo numérique couleur**. L'axe privilégié étant la marinisation d'un équipement disponible sur étagère. Un problème à résoudre est celui de la liaison de contrôle et de transmission des images sur Victor (dans un premier temps - en 2001 - les travaux pourront être financés sur la ligne études mentionnée ci-dessous).

### *Hublots de caméras*

**Les travaux de mise au point d'enceintes résistantes profondes à hublot verre à dôme sphérique doivent se poursuivre** compte tenu des avantages à attendre au niveau de la quantification des observations, de la réduction de la masse et des dimensions des équipements. La composante mesure sur image doit être prise en compte au niveau de la conception des hublots et des enceintes (pour le centrage du capteur) afin de limiter les aberrations géométriques sur les images.

### *Mesure sur image*

Pour répondre à la nécessité croissante d'avoir une approche quantitative des observations, il est nécessaire de proposer des outils fournissant des informations de dimensions et d'orientation des sujets observés sur les images.

Dans ce but, **étudier et tester des solutions permettant d'extraire des données quantitatives des images**. Les dispositifs candidats peuvent être à base de lasers de pointage, de télémètres, de traitement d'image. La stéréo photogrammétrie est aussi à considérer.

Dans un premier temps, il est recommandé de proposer des solutions simples.

Envisager aussi le transfert des recherches amont en reconstruction 3D à partir d'images. La calibration des caméras étant souvent un point critique pour obtenir une bonne précision de mesure, ce point devra être traité avec attention (financement sur les lignes études et développement technologique).

Pour les besoins halieutiques, étudier un système d'éclairage permettant de quantifier le volume d'eau observé.

### *Télévision Haute Définition*

**Faire une étude sur l'opportunité d'embarquer sur les engins des équipements vidéo haute définition** en considérant son intérêt pour l'image animée mais aussi pour les images fixes capturées. A coté des aspects techniques - et en particulier du choix d'un format - l'analyse devra inclure une évaluation des coûts et considérer le problème de la mise à disposition des images auprès des utilisateurs.

### *Capacité d'études et veille technologique*

Il faut, en outre, **effectuer une veille technologique** dans les domaines suivants qui peuvent avoir des retombées sur nos applications :

- Les caméras industrielles numériques,
- Les standards vidéo,
- Les lasers.

Un ligne budgétaire est à prévoir pour les évaluations et les études préliminaires (300 kF en 2001).

### 7.2.3 Compétences nécessaires et essais

Il importe de disposer d'une capacité d'étude et de développement technologique en systèmes optiques. L'exploration de nouvelles solutions consiste principalement à intégrer et à adapter au sous-marin des technologies ou produits existant sur le marché. Pour mener à bien les projets et études proposés, **l'Ifremer devra s'appuyer sur des compétences externes mais aussi sur des ressources internes pérennes**. Les besoins identifiés en interne concernent les spécificités de l'optique en milieu marin (connaissance du milieu et modélisation, cette compétence peut être partagée avec la thématique des capteurs optiques de caractérisation du milieu), les aspects système et les essais et la qualification d'équipements.

En complément des études et tests en laboratoire, **il faut prévoir des essais à la mer pour évaluer et qualifier dans des conditions d'opération réalistes les systèmes d'acquisition d'images et de mesure associés** avant transfert pour exploitation opérationnelle.

## 8 Références

- [1] Compte rendu de la 2ème réunion du groupe de travail « Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins » - Réf. DNIS/SM/IM/00.179 – 08/06/2000
- [2] Compte rendu de la 1ère réunion du groupe de travail « Systèmes Optiques des Engins Sous-Marins » - Réf. DNIS/SM/IM/00.136 – 31/03/2000
- [3] Mosaïque d'images optiques sous-marines - Pré-étude en vue d'une opération avec VICTOR – Réf. DNIS/SM/IM/99-576 – JF. Cadiou – 21/12/99
- [4] Photo numérique grande portée – Recherche d'une caméra à CCD refroidi – Réf. DITI/SM/97.534 -JL Michel – 20/10/97
- [5] Compte rendu de mission à la Woods Hole Oceanographic Institution pour le post-traitement des images du Derbyshire 97 - Réf. DITI/DSI/CRM/97-040 – F. Lecornu – 30/09/97
- [6] Opération Derbyshire – compte rendu de mission - P. Valdy, Y. Houard - 01/05/97 ».
- [7] Rapport de synthèse – Groupe Données VICTOR 6000 » - V2.0 du 01/07/97 – Rédacteurs AM. Alayse, P. Farcy, F. Lecornu et A. Laponche
- [8] Compte rendu du Groupe de Travail Module de Reconnaissance ROV – Réf. DITI/SM/Br-97/50 - JP. Peyronnet, AM. Alayse, JP. Foucher, R. Person, 25/05/97
- [9] Subsea Video Measurement – Etude du traitement des données acquises au moyen de la vidéo du ROV Victor 6000 – J. Newman – Nobska Associates – Copyright Ifremer – 21/03/97
- [10] Etude sur l'amélioration de l'éclairage externe du Nautille – société Optis – Réf. Genavir 1995 008-01-a-RAP
- [11] Photo, vidéo et éclairage sur les engins sous-marins d'Ifremer – Réf. Genavir, M. Dubois 06/92

## **Annexe 1: Ordre du jour des réunions du groupe**

### **Réunion 1** (Brest le 28/01/2000)

#### *Présentations sur l'existant à l'Ifremer*

- Equipements Nautile, Robin, Victor, Cyana
- Scampi
- Exploitation des images
- Moyens de post-traitement
- Archivage vidéo
- Travaux en cours à TMSI
- Développements amont en robotique/vision
- Simulation d'éclairage
- Etudes " Quantitative vidéo " + Mosaique avec Victor

**Participants :** JF. Cadiou, D. Desbruyères, Y. Fouquet, D. Latrouite (représentant DRV/RH), G. Bavouzet, M. Dubois, C. Marget, M. Gouillou, V. Rigaud, A. Bonfiglio, F. Lecornu, A. Peuch

### **Réunion 2** (en visio conférence le 03/05/2000)

- Remarques sur le compte rendu de la première réunion
- Synthèse des besoins des utilisateurs
- Etat de l'art des engins scientifiques similaires à ceux d'Ifremer
- Etat de l'art technique
  - . Formats vidéo
  - . Capteurs photo / vidéo, éclairage
  - . Reconstruction, traitement et mesure sur images

**Participants :** JF. Cadiou, P. Briand (représentant DRO/EP), Y. Fouquet, V. Trenkel, M. Dubois, M. Gouillou, V. Rigaud, F. Lecornu

### **Réunion 3** (Brest le 10/07/2000)

#### *Discussion du rapport de synthèse du groupe de travail*

**Participants :** JF. Cadiou, D. Desbruyères, Y. Fouquet, V. Trenkel, G. Bavouzet, M. Gouillou, F. Lecornu

---

## **Annexe 2 : Imagerie Optique Sous-Marine des Engins Profonds - Synthèse des besoins des utilisateurs**

---

# Imagerie Optique Sous-Marine des Engins Profonds

Synthèse des besoins des utilisateurs

Confidentielle

Restreinte

Libre



## SOMMAIRE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>UTILISATEURS SCIENTIFIQUES RENCONTRÉS</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>GÉNÉRALITÉS</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>ECHELLES DE TRAVAIL</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>PHOTOGRAPHIE</b> .....	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>VIDÉO</b> .....	<b>5</b>
	6.1 Images vidéo numérisées.....	6
	6.2 Enregistrement vidéo .....	6
	6.3 Télévision Haute Définition (TVHD).....	7
<b>7</b>	<b>COULEUR VERSUS NOIR/BLANC</b> .....	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>PORTÉE</b> .....	<b>8</b>
<b>9</b>	<b>PRISE DE VUE VERTICALE</b> .....	<b>8</b>
	9.1 Survey optique à une altitude de 2 à 4 mètres.....	8
	9.2 Survey optique à une altitude de 5 à 10 mètres.....	8
<b>10</b>	<b>MOSAÏQUES D'IMAGES</b> .....	<b>9</b>
	10.1 Mosaique locale .....	9
	10.2 Reconnaissance optique sur profil linéaire .....	9
	10.3 Mosaique optique systématique d'un site (quadrillage).....	10
	10.4 Couplage imagerie optique / bathymétrie .....	10
<b>11</b>	<b>MESURE SUR IMAGES</b> .....	<b>10</b>
<b>12</b>	<b>ECLAIRAGE</b> .....	<b>11</b>
<b>13</b>	<b>VECTEUR</b> .....	<b>11</b>
<b>14</b>	<b>ARCHIVAGE ET CONSERVATION À TERRE</b> .....	<b>11</b>
<b>15</b>	<b>DIVERS</b> .....	<b>12</b>

## 1 Introduction

Une réflexion sur l'amélioration des capacités des engins sous-marins profonds en imagerie optique est en cours à Ifremer. La première phase de cette réflexion a conduit à établir les besoins des utilisateurs dans ce domaine.

Ce document synthétise les éléments recueillis lors de réunions et d'entretiens qui se sont déroulés fin 1999 et début 2000.

## 2 Utilisateurs scientifiques rencontrés

F. Gaill, F. Pradillon - INSU/CNRS/Laboratoire de Biologie Cellulaire et Moléculaire du Développement  
 J.L. Cheminée, J. Bourgois, M. Cannat, A. Mauffret - IPGP/Paris VI  
 G. Gorsky - Laboratoire d'Océanographie Biologie et Ecologie du Plancton marin  
 D. Latrouite, V. Trenkel, H. Troadec - IFREMER DRV/RH  
 D. Bideau, J.P. Foucher, Y. Fouquet, H. Ondréas, B. Savoye, M. Voisset – IFREMER DRO/GM  
 M. Sibuet, D. Desbruyères, K. Olu, P. Briand, M.C. Fabri, P. Rodier – IFREMER DRO/EP  
 P. Gente, M. Maia - UBO  
 F. Lallier - Station Biologique de Roscoff,  
 J. Mascle, G. Bellaiche, M.O. Beslier, B. Mercier de Lepinay, F. Michaud, E. Ruellan - Géosciences Azur

H. Bluhm, M. Klages et T. Soltwedel de l'Alfred Wegener Institute (Bremerhaven) ont par ailleurs apporté leur contribution en répondant à un questionnaire transmis par courrier.

## 3 Généralités

NAUTILE, VICTOR, CYANA, SCAMPI et ROBIN sont des engins sous-marins opérant en portée optique (de l'ordre de la dizaine de mètres). A coté des échantillons prélevés et des mesures effectuées in situ, **les images** acquises en plongée forment une composante importante du produit d'une campagne. **Elles constituent le seul enregistrement pérenne des observations.** Dans une logique d'interdisciplinarité, cette donnée de base qu'est l'image a vocation à être exploitée par différents utilisateurs scientifiques ayant ou non pris part à la campagne.

L'image est par ailleurs le seul moyen d'observation et de perception de l'environnement en temps réel sur les engins inhabités.

On peut distinguer trois types d'utilisation de l'image :

- L'analyse scientifique avec en particulier l'étude de :
  - . la morphologie in situ (organismes et structures géologiques). On notera ici que l'image est essentielle pour l'étude des organismes gélatineux dont l'intégrité ne peut être préservée lors du prélèvement,
  - . l'évolution temporelle d'un site ou d'un peuplement
  - . le contrôle et la documentation d'un événement : mesure, dépôt, prélèvement (ceci permet de replacer l'échantillon dans son contexte)...

- . l'appréhension des dimensions et de la distribution des objets observés
- . la détection de phénomènes localisés (suintements...)
- . en biologie : l'identification, l'étude des densités et de la structure des peuplements, l'observation du comportement et des traces, l'interaction avec le milieu et les autres espèces
- L'illustration dans les communications scientifiques (publications, congrès...)
- La communication vers le grand public (presse, posters, télévision...).

## 4 Echelles de travail

Les échelles de travail pertinentes en imagerie optique dépendent de la discipline concernée.

En géologie, les échelles intéressantes sont :

- Pour certaines observations précises, le décimètre (gros plan sur une cheminée hydrothermale), on souhaite alors voir des détails dont la dimension est inférieure au millimètre,
- Le m<sup>2</sup>, examen de détail avec une résolution centimétrique,
- La zone de 10m x 10m,
- L'hectare (100m x 100m),
- Des profils de plusieurs dizaines de kilomètres (exploration et étude des structures).

En biologie benthique :

- Observation de détail quand on se focalise sur une espèce. Le détail intéressant peut être de l'ordre du 1/10<sup>e</sup> de mm (en général millimétrique). Le champ est de l'ordre du décimètre,
- Le mètre ou la dizaine de mètres pour la micro distribution,
- 100 m (description d'un site actif),
- Des profils de plusieurs kilomètres servant à évaluer l'hétérogénéité spatiale des peuplements et du fond.

En halieutique :

- Classification d'individus de taille 10 cm à 1 m,

En biologie pélagique les organismes observés ont une taille allant du mm à plusieurs mètres.

En biologie, les échelles temporelles des phénomènes étudiés sont : la seconde et l'heure (comportement d'un animal), le jour et le mois (croissance), l'année (évolution des peuplements).

## 5 Photographie

Les images photographiques ont une résolution très supérieure (plusieurs millions de pixels) à celle des images vidéo (400.000 pixels). Ces images sont principalement utilisées pour la publication et les communications. Elles apportent cependant un complément utile aux images vidéo pour l'analyse scientifique. Pour l'étude

d'organismes benthiques de très petite taille, la photographie est considérée comme un élément essentiel pour le travail scientifique.

**L'amélioration des équipements photos sur Nautille et Victor est une priorité.** Le besoin est de pouvoir faire des photos à des distances variables (de 0.5 à 10 mètres) **avec un bon contrôle du cadrage, un zoom variable et un éclairage adapté.** Le capteur devant si possible être asservi sur l'éclairage de la scène. La configuration actuelle (distance de mise au point - en général 3 m - figée pendant toute la plongée et éclairage réglé pour cette distance) est trop rigide et donne un faible pourcentage de photos exploitables (surexposition...). Le contrôle du cadrage dans le Nautille est actuellement difficile (moniteur situé derrière l'observateur, champs vidéo/photo différents).

Il est reproché à l'éclairage photo (flash) d'écraser les perspectives et de donner un rendu plus froid. L'utilisation de 2 têtes de flash peut être une solution mais il faut pouvoir faire des photos – sujet rapproché - avec l'éclairage des projecteurs seulement.

Le souhait de passer à la photo numérique est souvent exprimé. La résolution des capteurs CCD devient suffisante pour soutenir la comparaison avec le film. **La disponibilité des images sous forme de fichier informatique ou sur papier (via une imprimante), les facilités offertes en traitement, copie, transfert procurent un avantage déterminant aux images numériques.** Les diapositives initialement souhaitées pour les présentations ont tendance à être remplacées par des transparents édités à partir de fichiers informatiques (permettant la composition d'images, l'insertion de données et de commentaires). Certains utilisateurs souhaitent conserver les appareils photo classiques (à film) qui offrent un piqué d'image qui n'a pas encore été démontré en sous-marin avec des technologies numériques.

En 1998 et en 1999, des essais ont été faits avec un appareil photo numérique opéré à partir de l'intérieur de la sphère du Nautille. De très bonnes photos ont été obtenues mais cette technique – inconfortable et mobilisant le hublot de l'observateur - ne peut pas être pratiquée en continu. Le problème principal rencontré durant ces essais était le manque de netteté de certaines photos (attribué à un faible éclairage, le flash n'étant pas utilisé).

Les photos doivent être datées avec la même référence que celle des données. Pour les films, l'inscription de la date hors de la zone de l'image est à préférer. Pour les fichiers informatiques, exploiter si possible des champs de données associés aux images (ex : IPTC / JPEG).

Le fait qu'une partie significative de l'exploitation des données d'une campagne soit faite à bord du navire alors que toute l'équipe scientifique est rassemblée, milite pour la disponibilité rapide des photos. Elles aident à définir les orientations des plongées suivantes. Il faut au minimum assurer un contrôle qualité de l'acquisition par développement d'un échantillon dans le cas de la photographie sur film.

Dans certains cas, il serait intéressant de disposer d'un appareil photo en bout de bras avec contrôle du cadrage et éclairage adéquat. Pour l'observation de détails sur une cheminée ou un affleurement par exemple.

## 6 Vidéo

**La vidéo avec une caméra orientée vers l'avant est le moyen privilégié pour la reconnaissance optique.** La visualisation d'une bande vidéo après la plongée permet de revivre celle-ci. Le déroulement temporel et la continuité de l'image donnent une perception plus globale de l'environnement. Avec une vue en oblique, **le mouvement**

**de la vidéo améliore la perception du relief, des pentes.** L'exploration avec enregistrement vidéo peut être pratiquée sur des profils de plusieurs dizaines de km.

La distance d'observation va de 1 mètre à la distance maximum de visibilité. En géologie, il est alors préférable d'avoir une caméra fixe pour éviter les pertes de repères. Dans ces phases de reconnaissance, il faut le plus grand champ possible. Une vision panoramique (pour augmenter le champ de vision réduit par rapport à celui de l'œil de l'observateur d'un sous-marin habité) est à ce titre intéressante sur Victor. Dans ces 2 cas, caméra fixe et panoramique, un éclairage adapté aux caméras et à leur zone de vision s'impose. Une caméra longue portée (5 à 10 m) peut être utile en reconnaissance.

Aujourd'hui un des avantages de la vidéo est la grande souplesse existant pour le cadrage (zoom + orienteur).

En géologie, la vidéo avec le commentaire en temps réel qui lui est associé, est le document essentiel utilisé pour l'établissement des coupes, des cartes géologiques. La vidéo est également importante pour revoir les sites et les conditions d'échantillonnage des roches et des fluides.

En biologie, l'image animée est un moyen d'observation des relations entre les espèces. Elle permet aussi d'étudier le comportement et les mouvements des animaux que l'on peut fixer pendant plusieurs minutes.

Sur un engin inhabité, c'est le moyen de contrôler les opérations effectuées en plongée. Une caméra sur le bras pourrait apporter une aide pour certaines opérations de télé-manipulation.

Pour certaines études de biologie, l'emploi d'une caméra endoscopique serait utile.

En halieutique, une caméra fixe est souhaitée pour le comptage (champ fixe et large). La caméra principale à zoom est alors utilisée pour l'identification des espèces.

## 6.1 Images vidéo numérisées

Malgré la résolution limitée des images vidéo PAL (768 x 576 pixels), **l'intérêt de la capture d'images par numérisation à partir de la vidéo est réel** (possibilité de numériser a posteriori, utilisation de différentes caméras, choix d'un meilleur cadrage, faculté de zoom de la caméra principale Nautil, Victor et Cyana, mise au point réglable, éclairage souvent meilleur).

Les images vidéo numérisées constituent de bons documents de travail. Les meilleures images (pas de bougé, éclairage optimal) peuvent servir à illustrer des publications scientifiques.

Ces images sont très utiles pour le marquage d'un prélèvement ou d'une mesure ponctuelle. Elles peuvent par exemple permettre de distinguer rapidement plusieurs échantillons stockés dans le même panier.

## 6.2 Enregistrement vidéo

Il faut avoir une datation correcte des images vidéo (en synchronisme avec les données capteurs et la navigation). Plutôt que l'incrustation de données textuelles sur l'image, privilégier la synchronisation des enregistreurs vidéo (time-code) et faciliter le lien avec les données enregistrées en fichier. On évite ainsi de "polluer" l'image. La possibilité d'incruster des données doit cependant être conservée. Le dépouillement des bandes vidéo peut alors se faire très simplement. L'incrustation a aussi l'avantage

de protéger les images (identification similaire à un copyright) d'une utilisation frauduleuse.

Les utilisateurs disposent en général dans leur laboratoire d'équipements S-VHS (rarement Betacam). La difficulté d'accéder aux enregistrements Betacam et le fait qu'ils ne contiennent que des extraits de la plongée sont parfois déplorés.

**La demande est forte pour disposer d'enregistrements vidéo de meilleure qualité** (que le S-VHS) et **il n'y a pas d'obstacle majeur à une transition vers un format numérique** (type DVCAM) si les prix des équipements restent raisonnables (< 50 kF). Le gain significatif (tant sur la vidéo que sur les images numérisées à partir de celle-ci) apporté par les formats numériques - démontré en particulier lors de la campagne HOPE avec l'embarquement dans le sous-marin d'un magnétoscope DVCAM - justifie cette transition.

L'absence de dégradation lors de la duplication des bandes numériques est un atout majeur. Ceci permet à plusieurs scientifiques de disposer de documents de haute qualité. Un autre avantage important du numérique est l'amélioration de la conservation des enregistrements dans le temps. La plus grande facilité d'exploitation, la meilleure qualité de l'arrêt sur image sont aussi appréciables. La nécessité d'assurer une période de transition avec possibilité de choisir entre 2 formats (S-VHS et numérique) est à étudier.

La demande de pouvoir dupliquer des bandes vidéo et faire du montage vidéo simplifié à bord du navire (sélection de séquence, titrage et ajout de commentaires) a été exprimée.

### 6.3 Télévision Haute Définition (TVHD)

Avec une définition de 2000 x 1000 points image, la TVHD représente un saut significatif en qualité. La faible diffusion des équipements fait que le coût des matériels est aujourd'hui très élevé. Cette technologie est jugée intéressante et les investissements potentiellement induits sont à mettre en regard du coût des vecteurs. Dans l'éventualité de l'implantation de tels équipements sur les engins, il faudrait assurer à l'utilisateur un accès facile aux enregistrements (exportation vers d'autres formats plus courants...). Du fait de la haute résolution des images, la TVHD peut être un moyen de fournir des images fixes de bonne qualité.

Les bénéfices majeurs sont à attendre au plan de l'analyse scientifique mais la vidéo haute définition est aussi un bon moyen de mettre en valeur les travaux de recherche en direction du grand public.

## 7 Couleur versus Noir/Blanc

La **couleur** apporte souvent une information déterminante :

- En biologie : **essentielle pour l'identification et la caractérisation des organismes et bactéries** (distinction individus morts / individus vivants, indications sur le stade de développement, l'état physiologique, détection de fer, observation de certains organes pigmentés, caractérisation de phytodétritus ...). La couleur est aussi nécessaire pour voir la diffusion de colorant dans les organismes,
- En géologie : parfois nécessaire pour caractériser les structures observées. (sédiments ou formations géologiques, détection de suintements). **Indispensable** en combinaison avec la texture **pour déterminer la nature des roches rencontrées.**

Ceci est particulièrement vrai avec Victor où l'absence de vision directe rend plus difficile la caractérisation des observations.

## 8 Portée

L'atténuation de la lumière dans l'eau varie très sensiblement en fonction de la longueur d'onde (la bande optimale se situant dans le bleu/vert, 475 nm pour les eaux profondes, la propagation se dégradant très sensiblement dans le rouge). La distance usuelle maximale à laquelle on peut obtenir des images ayant une gamme chromatique étendue est de ce fait réduite à environ 3 ou 4 mètres.

Au-delà de 4 mètres, l'acquisition d'images se fait en conséquence en monochrome. Avec des capteurs et un éclairage adapté, on peut alors envisager une portée de l'ordre de 10 mètres. Ce qui présente un intérêt :

- en détection/recherche/exploration avec un engin inhabité, l'image doit alors être rafraîchie à cadence suffisante (< 3s)
- en prise de vue verticale sur des zones à relief significatif (voir ci-dessous).

## 9 Prise de vue verticale

**La prise de vue avec caméra vidéo ou photo verticale facilite l'exploitation quantitative des images.** Des calculs géométriques simples permettent d'extraire des données (surface, largeur des failles, orientation des structures). Ces calculs doivent cependant s'appuyer sur des mesures (en particulier l'altitude) suffisamment précises et cohérentes avec la prise de vue. La mesure d'altitude doit être faite au niveau de la caméra, les offsets doivent être connus.

L'intérêt de la prise de vue verticale est renforcée par la possibilité de réaliser des mosaïques d'images (voir ci-dessous).

On notera que la prise de vue verticale n'est pas adaptée à l'étude des poissons qui n'aiment pas être observés par le dessus.

On peut distinguer deux profils de mission en fonction du capteur employé :

### 9.1 Survey optique à une altitude de 2 à 4 mètres

- Image couleur,
- Fauchée inférieure à 4 mètres,
- Site à faible relief pour limiter les fortes distorsions géométriques et d'éclairage,
- Résolution sub-centimétrique.

Ce profil est intéressant en biologie benthique sur fond sédimentaire (quantification de la biomasse).

### 9.2 Survey optique à une altitude de 5 à 10 mètres

- Images monochromes,
- Caméra longue portée,

- Fauchée jusqu'à 10 mètres. Couverture de zones de grandes dimensions,
- Sites à relief significatif, les déformations géométriques étant réduites si l'on prend du recul par rapport à la scène,
- Résolution de l'ordre du centimètre.

**Profil présentant un intérêt majeur dans plusieurs disciplines pour la réalisation de cartes structurales et géologiques sur des chantiers** (champs hydrothermaux, zones de fracture...) dont les dimensions peuvent dépasser le km<sup>2</sup>.

Cette technique répond au besoin de certaines études de géologie qui impliquent 2 à 3 transects de plusieurs km en travers d'une faille (en portée optique maximum).

**Il est intéressant d'associer au capteur optique d'autres mesures** (relevé bathymétrique fin de la zone survolée, mesures physiques ou chimiques dans la colonne d'eau, mesures géophysiques : magnétisme, gravimétrie, mesures électromagnétiques, courantométrie).

## 10 Mosaïques d'images

Trois classes de mosaïques sont identifiées.

### 10.1 Mosaïque locale

Consiste à intégrer plusieurs images d'une même séquence pour améliorer la perception visuelle d'un objet intéressant. On obtient par composition une image d'un champ plus grand et d'une taille plus importante. Le capteur n'est pas forcément disposé en position verticale.

L'intégration se faisant sur un temps limité et l'objectif étant d'avoir une perception plus globale d'un objet, des erreurs (dérive, déformations) dans l'image reconstruite sont acceptables.

**Cette fonctionnalité est jugée très intéressante pour de nombreuses applications** : cheminée de source hydrothermale (morphologie de la structure, étude des peuplements, distribution et interactions avec le milieu), suivi d'une faille, organismes pélagiques de grande dimension (jusqu'à 5 mètres).

La demande est généralement de disposer de la mosaïque en temps différé.

### 10.2 Reconnaissance optique sur profil linéaire

Les géologues manifestent un intérêt pour des reconnaissances optiques sur des profils de plusieurs kilomètres avec une fauchée d'une dizaine de mètres et une caméra verticale (longue portée, noir & blanc).

En biologie benthique sur fond sédimentaire, on a un besoin similaire mais à une altitude inférieure (cf. paragraphe 9.1).

La mise en correspondance d'images ne concerne que des images successives. On se rapproche donc du cas précédent (mosaïque locale). La dérive doit cependant être corrigée par la navigation mais il n'est pas nécessaire de composer les images obtenues sur différents profils. La mosaïque porte ici sur un nombre d'images beaucoup plus grand que dans le cas de la mosaïque locale.



### 10.3 Mosaïque optique systématique d'un site (quadrillage)

Il faut ici intégrer des prises de vues successives sur une plus grande échelle mais aussi mettre en correspondance des images obtenues en suivant différents profils de navigation. L'utilisation des données complémentaires aux images, en particulier le positionnement, est indispensable pour la construction de la mosaïque.

La zone type à couvrir va de 100 m x 100 m à 500 m x 500 m. Dans ce dernier cas, la couverture totale avec un capteur longue portée peut être réalisée en moins de 48 heures.

Les zones d'intérêt sont situées : sur des zones de fracture, sur site hydrothermal actif (avec étude de la distribution et de la répartition des espèces, évolution d'un site dans le temps), sur la plaine abyssale pour le comptage d'organismes. On peut ici parler de **cartographie optique à l'échelle du chantier** sur lequel les objets sont positionnés les uns par rapport aux autres. Le capteur optique est alors utilisé en position verticale. On peut cependant étendre cette utilisation à la couverture d'une paroi verticale de grande surface (falaise de 200 m de haut x 20 m de large).

En halieutique, le besoin porte sur la couverture de plusieurs zones de références de 20m x 20m en eau turbide).

La reconstruction d'une mosaïque " finie " doit se faire en temps différé et être possible à bord du navire. Cette tâche peut être réalisée par l'équipe scientifique avec le support d'outils logiciels adéquats. Il est néanmoins intéressant d'avoir une mosaïque brute produite automatiquement en temps quasi-réel (on peut ici établir un parallèle avec les traitements des données des multi-faisceaux de surface).

### 10.4 Couplage imagerie optique / bathymétrie

La représentation conjointe de l'image optique et du relief dans une vue 3D présente un intérêt. La résolution des données image et relief doit alors être compatible sans forcément être identique (un facteur 10 est acceptable). Pour éviter les problèmes de mise en correspondance liés à la navigation, il est souhaitable d'acquérir les deux types de données lors de la même passe.

## 11 Mesure sur images

En géologie, les mesures souhaitées concernent : la **taille** des roches, des failles et fissures (de 10 cm à 3 m), le pendage du fond et des strates, l'**orientation** de certaines surfaces (échelle de la dizaine de mètres), l'épaisseur des couches sédimentaires (1 cm à 2m), les dimensions des cheminées. Une précision de 10% est acceptable.

En biologie, la demande de dimensionnement porte sur : la taille des animaux (étude de population), l'orientation d'un plan, la distance relative, les surfaces et volumes. La **précision** demandée est de **5 à 10 %**.

En halieutique, il faut pouvoir classer les poissons rencontrés (en mouvement) en fonction de leur taille. L'objectif principal est l'estimation des densités. La connaissance de la distance parcourue, des surfaces couvertes et du volume d'eau observé est essentielle.

La demande porte surtout sur une mesure dans la phase d'exploitation, mais une indication en temps réel serait appréciable.

Il faut connaître les angles d'installation des caméras sur le véhicule support pour reconstituer les directions d'observation en dépouillement.

Moyens évoqués : lasers de pointage, règle en bout de bras pour avoir une échelle et l'orientation des plans, sonar à balayage orienté vers le bas pour avoir le pendage du fond, stéréovidéogrammétrie, reconstruction 3D à partir d'images successives.

## 12 Eclairage

L'éclairage est identifié comme un **point important conditionnant la qualité des images photo et vidéo**. Une plus grande souplesse dans le réglage (intensité et orientation) en cours de plongée serait appréciée.

Sur fond sédimentaire, un éclairage légèrement rasant est demandé afin de faire ressortir les structures en surface. D'une manière plus générale, il existe avec les engins télé-opérés un besoin de faire ressortir le relief. Les ombres obtenues avec un éclairage adapté peuvent apporter une réponse sur ce point.

### *Besoins spécifiques au pélagique*

Un éclairage latéral ou en rideau (avec lentilles de Fresnel si possible) des organismes gélatineux est souhaité afin de faire ressortir les organismes du fond. Une lumière rouge présenterait l'avantage de ne pas perturber les organismes. Pour le prélèvement, un éclairage dans l'axe de la boîte de capture serait utile pour positionner le sujet à prélever.

En halieutique, se pose le problème de l'influence perturbatrice de la lumière sur le comportement des poissons. L'éclairage doit être aussi réduit que possible, ce qui peut nécessiter l'utilisation de caméras à haute sensibilité.

## 13 Vecteur

Pour étudier précisément un site ou un objet particulier, un engin à contrôle étroit (type Nautil, Victor) s'impose. Il autorise le suivi d'une fissure ou d'une trace d'animal. Sa mobilité, l'absence de pilonnage en font une meilleure plate-forme pour la prise de vue. Il a l'avantage de pouvoir combiner image et prélèvement.

Un engin remorqué non motorisé de type SCAMPI est utile pour faire des profils d'exploration (en complément sur une campagne océanographique basée sur des moyens de surface). Ses principaux avantages sont sa légèreté et sa facilité de mise en œuvre. Il peut servir à préparer une campagne ROV/sous-marin habité. Son utilisation sur site tourmenté est risquée (accrochage possible).

**Les demandes d'amélioration portent en priorité sur Nautil/Victor.**

## 14 Archivage et conservation à terre

Le besoin d'archiver dans de bonnes conditions et de manière centralisée les images enregistrées lors des campagnes est exprimé. Le soin à apporter aux données collectées à la mer doit être mis en rapport avec le coût d'acquisition de ces données. **Il faut garantir leur pérennité et faciliter l'accès de la communauté scientifique à des données de campagnes passées** (pour étudier l'évolution temporelle d'un site par exemple).

## 15 Divers

Il faut pouvoir imprimer les images (numériques) à bord du navire. Une qualité moyenne d'impression est en général suffisante. Dans certains cas, un tirage sur papier photo est souhaitable.

Des outils d'amélioration de la qualité des images par traitement – éventuellement automatique et en temps réel - seraient appréciés (correction de contraste...).