

Rédacteur : E. RAUGEL, J. OPDERBECKE

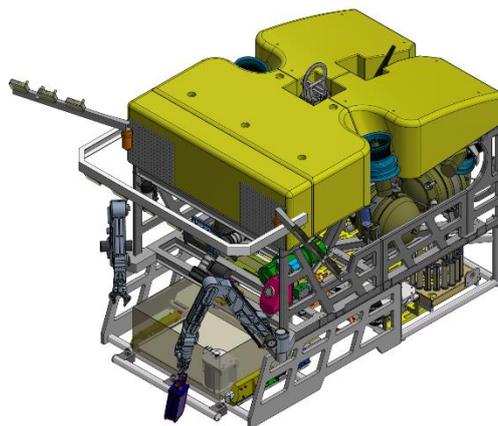
Service : DFO/SM/D

N° Chrono : 18.0327

Indice : A du 09/11/2018

INSTRUCTION D'UN SCENARIO A DEUX ROVS PROFONDS DANS LA TGIR FLOTTE :

RAPPORT TECHNIQUE DE PHASE 0



Visibilité Archimer :

- Internet
- Intranet Ifremer
- Equipe :
- Groupe d'utilisateurs :
- Confidentiel

Diffusion :

Référence	: IMN/SM/18.327	Nombre pages	: 49
N° Analytique	: -	Nombre figures	: -
N° Contrat	: -	Nombre d'annexes	: -

Sujet/Titre :

INSTRUCTION D'UN SCENARIO A DEUX ROVS PROFONDS DANS LA TGIR FLOTTE :

Rapport technique de phase 0

Résumé :

Dans le cadre des réflexions sur le renouvellement de la flotte, il a été demandé d'instruire un scénario à deux ROVs profonds, intégrant une modernisation de *Victor 6000* et le développement d'un second ROV, dans un contexte d'arrêt du sous-marin habité *Nautilus* à l'horizon 2024—2025. Ce document récapitule l'ensemble des études techniques de la phase 0 et plus particulièrement

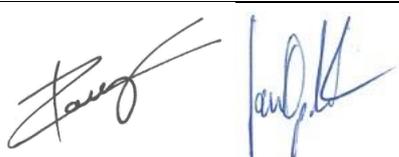
- L'état de l'art des différents ROV grands fonds dans le domaine océanographique ;
- La faisabilité et les verrous technologiques concernant les fonctionnalités et scénarios scientifiques d'un nouveau ROV profond ;
- Les grands choix d'architecture à considérer pour un nouveau ROV profond ;
- Une proposition d'organisation et de calendrier de travail pour une phase 1.

Mots clés :

Historique des révisions

Indice	Description	Date	Rédacteur(s)	Vérificateur(s)	Approbateur(s)
A	Version initiale	09/11/2018	E. Raugel J. Opderbecke	O. Lefort	O. Lefort

Signatures dernière version - indice A

Rédacteur(s)	
Vérificateur(s)	
Approbateur(s)	

SOMMAIRE

1	Introduction	4
1.1	Objet du document	4
1.2	Documents de référence	4
1.3	Terminologie	4
2	Contexte de la phase 0.....	5
3	Etat de l'art concernant les ROV profonds	6
3.1	Les ROVs précurseurs (90')	6
3.2	Essor des ROVs profonds (années 2000)	7
3.3	Les ROVs profonds de dernières générations (années 2010).....	8
3.4	Analyse de l'état de l'art	9
3.5	Tableau comparatif des ROVs 5000-7000m.....	10
4	Objectifs recherchés dans le développement d'un nouveau ROV profond	11
4.1	Enjeux et objectifs.....	11
4.2	Synthèse du cahier des charges préliminaires.....	11
5	Faisabilité et verrous technologiques concernant les fonctionnalités et scénarios scientifiques d'un nouveau ROV profond.....	13
5.1	Capacité d'emport et de prélèvement.....	13
5.2	Une capacité à transporter virtuellement le scientifique dans les grands fonds	14
5.3	Une capacité de télémanipulation associée à une perception optimisée de l'environnement	18
5.4	Interactions ROV-AUV.....	21
5.5	Inter-changeabilité des équipements scientifiques sur le fond.....	22
5.6	Conclusions	23
6	Les grands choix d'architecture à considérer lors de la phase 1 du projet de nouveau ROV	24
6.1	Points clé de l'architecture du nouveau ROV	24
6.2	Première ébauche du nouveau ROV.....	25
7	Grand-carénage & modernisation du ROV <i>Victor 6000</i>	27
8	Comparatif des performances	29
9	Proposition de phase 1 (2019)	30
9.1	Mise en place d'un groupe de travail scientifique.....	30
9.2	Etude d'avant-projet technique pour le développement du nouveau ROV	30
9.3	Perspectives de collaboration franco-allemande	32
9.4	Structuration des futures phases du projet	32
9.5	Planning et budget pour la phase 1	33
	Annexe I. Analyse des concepts d'architecture système	34
	Annexe II. Prédimensionnement de la puissance	41
	Annexe III. Etat de l'art télémanipulation sur ROVs scientifiques	45
	Annexe IV. Exemple de projecteur nouvelle génération	47
	Annexe V. Recherche de câbles grand fond.....	48

1 Introduction

1.1 Objet du document

Dans le cadre du renouvellement des moyens d'intervention grand fond, il est envisagé de remplacer le sous-marin habité Nautille par un second ROV à l'horizon 2024-2025. Une phase 0 a été initiée en 2018, consistant en un cahier des charges préliminaire [2] et une première analyse technique. Le présent document récapitule l'ensemble des études techniques de la phase 0.

1.2 Documents de référence

Réf	Désignation	Auteur	Rev	Doc. référence
[1]	Scénario relatif aux engins d'interventions retenu lors du comité directeur de la flotte du 6 mars 2018	Ifremer/DFO/D	29/05/2018	DFO 2018.24
[2]	Instruction d'un scénario à 2 ROVs profonds - phase 0 - Cahier des charges préliminaires pour un nouveau ROV d'intervention grand fond	Ifremer/DFO/SM	19/10/2018 indice C	DFO/SM/18.0167
[4]	<i>Victor 6000</i> - Evolutions potentielles pour une modernisation à l'issue du grand carénage 2020	Ifremer/DFO/SM	10/10/2018 indice C	IMN/SM/16-417
[5]	Nouveau ROV phase 0 : CR réunion thématique observatoire et prélèvement	Ifremer/DFO/SM	18/06/2018 indice A	DFO/SM/18-0145
[6]	Bilan des réunions avec les chefs de campagne <i>Victor6000</i>	Ifremer/DFO/SM	03/07/2018 indice B	DFO/SM/18-0181
[7]	Scénario d'intervention grand fond à 2 ROVs – Phase 0 - Retour d'expérience opérationnel GENAVIR	Ifremer/DFO/SM	12/02018 indice A	DFO/SM/18-0329

1.3 Terminologie

AUV	Autonomous Underwater Vehicle
CODIR	Comité Directeur
FOF	Flotte Océanographique Française
MESRI	Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MCO	Maintien en condition opérationnelle
ROV	Remotely Operated Vehicle
TGIR	Très Grande Infrastructure de Recherche

2 Contexte de la phase 0

Actuellement les engins d'interventions français capables d'intervenir dans les grands fonds sont le submersible *Nautile* et le ROV *Victor6000*, tous deux capables de plonger jusqu'à 6000 m de profondeur. Le *Nautile*, mis en service en 1984, est un sous-marin habité. Le ROV *Victor6000*, mis en service en 1997 est un engin télé-opéré, sans présence humaine.

La mise en place d'une Flotte Océanographique Française unifiée s'est accompagnée d'un travail de prospective sur les engins d'intervention en grands fonds, vu notamment l'âge du *Nautile* (32 années de service) qui impose, pour être maintenu, des travaux de modernisation importants. Un arbitrage sur différents scénarios de renouvellement des engins de grands fonds a ainsi été soumis au comité directeur de la Flotte, instance de pilotage stratégique de la TGIR [1]. Lors du comité directeur de mars 2018, le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, qui préside le Comité Directeur de la Flotte, a confirmé que pour des raisons de permanence à la mer, le format de deux engins d'intervention (travaillant en mode chantier et/ou en exploration sur une zone réduite) et d'un engin de Survey (AUV 6000 Coral) a sa préférence pour le futur.

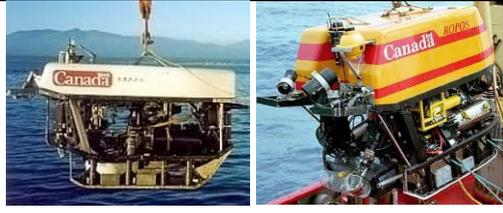
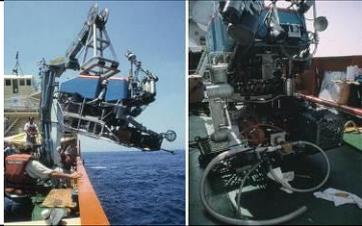
Le Ministère constate, après avoir consulté ses homologues européens, que les autres communautés scientifiques ont toutes fondé leurs stratégies d'interventions grands fonds sur la base de ROVs, et que ces communautés ne sont majoritairement pas intéressées par des plongées habitées grands fonds. Alors que le ministère a la volonté de renforcer la coopération franco-allemande et européenne dans l'horizon de temps considéré, poursuivre avec le *Nautile* conduirait à moderniser cet engin pour le service d'une faible partie de la communauté française, sans espoir de retrouver une masse critique d'utilisateurs par un élargissement européen. Le MESRI est donc favorable à un scénario à deux ROV (en plus de l'engin de survey) et à l'arrêt à moyen terme du *Nautile*.

Il a donc été décidé par le comité directeur de la flotte d'instruire ce scénario d'ici fin 2018 au cours d'une phase 0 qui devra instruire les solutions permettant de répondre avec un nouveau ROV aux principaux avantages du *Nautile* qui ne sont pas actuellement compensés par les atouts de *Victor 6000* : manque de capacité d'emport de charge utile et de prélèvement, et défaut de perception directe de l'environnement d'intervention. L'étude de ce scénario devra prendre en compte les avancées technologiques matures existantes (y compris dans d'autres domaines) ou en phase de maturation, afin de proposer les meilleures solutions visant à accompagner et optimiser les stratégies de campagnes scientifiques pour les 20 ans à venir. La Phase 0 devra en parallèle aboutir à un calendrier permettant de retrouver la disponibilité de deux engins opérationnels.

3 Etat de l'art concernant les ROV profonds

La phase 0 a permis la réalisation d'un inventaire des différents ROVs profonds, pour des immersions d'au moins 5000m. Il s'agit essentiellement de ROVs scientifiques. Le secteur offshore est encore aujourd'hui limité à 3000-4000m. Les premiers ROVs profond apparaissent dans les années 80-90, avec un essor important dans les années 2000. A ce jour, plus de 11 ROVs permettent des plongées au-delà de 5000m. Les différentes caractéristiques sont présentées dans le tableau comparatif (paragraphe 3.5).

3.1 Les ROVs précurseurs (90')

ROV	HYSUB5000 – ROPOS (CSSF ¹)	Jason (WHOI)
		
Mise en service	V1 : 1986 / V2 : 1996	1988
Immersion	5000m	6000m
Masse		1300kg
Vitesse		
Puissance		8 kW – propulsion électrique
Déploiement	Cage / laisse 300m	Lest dépresseur / laisse 100m

ROV	Kaiko (Jamstec)	Victor6000 (Ifremer)
		
Mise en service	1993	1996
Immersion	11000m	6000m
Masse	5.5 tonnes	4.6 tonnes
Vitesse		1.5 nœuds
Puissance	20kW ? – propulsion électrique	~20 kW – propulsion électrique
Déploiement	Top-Hat / laisse 250m	Lest dépresseur / laisse 200m

¹ CSSF : The Canadian Scientific Submersible Facility

3.2 Essor des ROVs profonds (années 2000)

ROV	ISIS (NOC)	Jason 2 (WHOI)
		
Mise en service	2003	2004
Immersion	6000m	6500m
Masse	3,4 tonnes	4,1 tonnes
Vitesse	1.5noeuds	1.5 noeuds
Puissance	18kW – propulsion électrique	~20 kW – propulsion électrique
Déploiement	Déploiement direct	Lest dépresseur propulsé - Laisse 55m Déploiement direct : 4000m
ROV	Kaiko 2 (Jamstec)	ABISMO (Jamstec)
		
Mise en service	2004-2007	2007
Immersion	7000m	11000m
Masse	3.9 tonnes	0.3 tonnes (ROV crawler)
Vitesse		
Puissance	12,5 kVA / propulsion électrique	
Déploiement	Top-Hat	Top-Hat
ROV	ROPOS V3 (CSSF)	Kiel6000 (Geomar)
		
Mise en service	2005	2007
Immersion	5000m	6000m
Masse	3.4 tonnes	3,5 tonnes
Vitesse	2.5 noeuds	3 noeuds
Puissance	40kW – propulsion hydraulique	60kW– propulsion électrique
Déploiement	Direct jusqu'à 3000m Top-Hat prévu pour 5000m	Déploiement direct
ROV	Luso (EMEPC)	HEMIRE (Kordi)
		
Mise en service	2007	2007
Immersion	6000m	6000m
Masse	2.2 tonnes	3.7 tonnes
Vitesse	3 noeuds	1.5 noeuds
Puissance	~ 56kW – propulsion électrique	
Déploiement	Déploiement direct	Lest dépresseur propulsé / laisse 35-75m

Autres ROVs (4000m)

ROV	ROV Doc Ricketts (MBARI)	QUEST (Marum)
		
Mise en service	2008 (remplace Tiburon)	2003
Immersion	4000m	4000m
Masse	4.8 tonnes	3.5 tonnes
Vitesse		
Puissance	56kW	60kW
Déploiement	<i>Déploiement direct</i>	Déploiement direct

En italique : à confirmer

3.3 Les ROVs profonds de dernières générations (années 2010)

ROV	ROSUB (NIOT)	Deep Discoverer (NOAA)
		
Mise en service	2013	2016
Immersion	6000m	6000m
Masse	3.8 tonnes	4.1 tonnes
Vitesse	2.5 nœuds	
Puissance		
Déploiement	Top Hat	Lest dépresseur propulsé – laisse 30m

ROV	Aegir6000 (univ. Bergen)	Kaiko MK IV 01 & 02 (2 ROVs identique a priori)
		
Mise en service	2015	2015
Immersion	6000m (opération actuelle : 4000m)	7000m
Masse	3.6 tonnes	5.5 tonnes
Vitesse	3.2 nœuds	
Puissance	95-125kW	ROV hydraulique 75HP = 56kW
Déploiement	Top Hat (limite 4000m) – laisse 1000m	Top Hat

ROV	6000m innovative Comanche commercialisé par Sub-Atlantic	? (Shenyang Institute of Automation and the Institute of Oceanology)
		
Mise en service	?	2017
Immersion	6000m	5600m
Masse	1,1 tonne (à confirmer pour la version 6000m)	?
Vitesse	3 nœuds	?
Puissance	35kW – propulsion hydraulique	?
Déploiement	Cage (à confirmer pour la version 6000m)	?

3.4 Analyse de l'état de l'art

La masse des ROVs profonds est la plupart du temps comprise entre 3 et 4 tonnes et dépasse rarement 5 tonnes. A ce titre, le ROV *Victor6000* est déjà dans la gamme haute des ROVs profonds, avec une masse de 4.6 tonnes. Ils présentent tous une architecture mécanique similaire avec des dimensions contraintes par l'objectif de containérisation (facilité de transport). Le gabarit masse et volume d'un ROV traduit le compromis entre les avantages de la compacité (opérabilité, empreinte sur le navire, manœuvrabilité en zone escarpée) et la recherche de capacités significatives (capacité d'emport, régleur de ballast à volume important, volumes de stockage, puissance-inertie).

En termes des performances de propulsion, une vitesse de 1.5 nœuds semble le minimum sur l'ensemble des ROVs identifiés. A partir de 2003-2005, on constate l'émergence de ROVs plus puissants permettant entre autre des vitesses plus importantes (ROPOS, QUEST, Kiel6000, Doc Ricketts). Il s'agit, pour la plupart, de ROV en déploiement direct, nécessitant un niveau de propulsion plus important pour compenser l'impact du câble grand fond.

Le déploiement direct simplifie notablement la mise en œuvre mais peut présenter certaines difficultés sur le niveau de manœuvrabilité/mobilité sur le fond et un risque de casse du câble au point d'inflexion (voir annexe I). Les ROVs développés à partir de 2010 sont donc équipés d'une laisse avec une liaison fond surface optimisé (lest dépresseur propulsé pour le Deep Discoverer de la NOAA, ou top Hat).

Le déploiement par top-Hat est probablement le plus satisfaisant car il permet d'allier simplicité de déploiement avec la manœuvrabilité associée à une laisse (voir annexe I). Cette technologie est très largement répandue dans le secteur offshore jusqu'à 4000m. Pour des immersions plus profondes, ce mode de déploiement implique des charges très importantes. Pour un déploiement direct ou par lest dépresseur, le diamètre du câble (acier) est compris entre 17 et 20mm, alors que pour un déploiement par top-hat, les diamètres dépassent 38mm (câble aramide). Cela conduit à des moyens très lourds ; la CMU pour la manutention du ROSUB (NIOT) est de 30 tonnes.

Il est à noter que le concept cage du ROPOS a été abandonné pour la Version 3 du ROV (2005) qui est mis en œuvre en déploiement direct mais uniquement jusqu'à 3000m. Un top-hat est prévu pour les immersions plus importantes mais aucune date de mise en service n'est planifiée à priori.

De même le ROV Aegir6000 de l'université de Bergen, prévu 6000m, est entré en service en 2015 avec un déploiement jusqu'à 4000m par top-hat (2000m en déploiement direct).

Nota : la plupart des ROV profonds sont alimentés en 3000V ou plus. Le ROV Victor6000 est l'un des rares à fonctionner en 2000V. Cela conduit à une limitation de la puissance au fond.

3.5 Tableau comparatif des ROVs 5000-7000m

ROV	Victor 6000	ISIS	Quest	Jason	ROPOS	ROV Kiel	LUSO	HEMIRE	ROSUB	Kaiko MK IV	Deep Discoverer	Aegir6000
Institut	Ifremer	NOC	Marum	WHOI	DSSF	Geomar	EMEPC	KORDI	NIOT	Jamstec	NOAA	Univ. Bergen
Mise en service	1998	2003	2003	V1:1998 V2:2004	2005 (V3)	2007	2007	2007	2013?	2015	2016	2015
Immersion	6000m	6500m	4000m	6500m	5000m	6000m	6000m	6000m	6000m	7000m	6000m	6000m operation 4000m
Masse engin	4600kg	3400kg	3500kg	4128kg	3393kg	3500kg	2200kg	3700kg	3800kg	5500kg	4150kg	3600kg
Longueur	3,1m	2,7m	3,3m	3,4m	3,05m	3,5m	1,9m	3,3m	2,53m	3m	3,05m	2,75m
Largeur	2,1m	1,5m	1,9m	2,2m	1,64m	1,9m	1,6m	1,8m	1,5m	2m	1,82m	1,7 m
Hauteur	2,5m	2m	2,3m	2,4m	2,17m	2,4m	2m	2,2m	1,8m	2,6m	2,43m	2,2m
Tension	2000V	3000V	3000V		3000V	3800-4160V	440VAC		6600V	3000Vac	2800V	
Puissance	23kW	18kW	60kW		40kW	60kW	60kVA			~60kW		95-125kW
Poussée	180kgf	200kgf		272kgf		530kgf	370kgf forward 250kg lateral 300kg vertical		426kgf forward 220kgf lateral			
Vitesse	1,5nd	1,5nd		1,5nd forward 0,5 lateral 1nd vertical	2,5nd forward 1nd lateral 1,5nd vertical	3nd forward 2nd lateral 2 nd vertical	3nd forward 1,6nd vertical	1,5nd forward 1nd lateral 1,5nd vertical	2,5nd forward 2nd lateral 1,5 vertical			3,2nd forward 1,6nd lateral
Puissance hydraulique		3,7kW			30kW (prop. hydraulique)	15kW	11 kW			56kW (75HP)		
Charge utile	Air : 376kg Eau : 87kg	90kg	250kg (avec skid)	130kg	130kg	100kg	100kg	200kg	150kg	Air : 300kg	181 kg (eau)	350 kg
Télémanipulation	7fct Maestro	7fct Shilling Titan 4	7fct Schilling Orion	7fct Shilling Titan 4	7fct Shilling Titan 4	7fct Orion	7fct Schilling Titan4		7fct	7 fct Schilling Atlas 250kg	7fct Shilling Orion	7fct Shilling Titan 4
	5 fct Sherpa	7 fct Kraft Predator	5 fct Schilling Rigmaster	7 fct Kraft Predator	7fct Shilling Titan 4	5 fct Schilling Rigmaster	5 fct Schilling Rigmaster		5 fct	7 fct Schilling Atlas 250kg	7 fct Kraft Predator	7 fct Schilling Atlas 250kg
Type de déploiement	Lest dépresseur	Déploiement direct	Déploiement direct	Lest dépresseur propulsé & Déploiement direct (4000m)	3000m : direct 5000m: top hat	Déploiement direct	Déploiement direct	Lest dépresseur propulsé	Top Hat	Top Hat	Lest dépresseur propulsé	2000m : direct 4000m : top Hat
Cable GF	acier 21mm	acier 17,3mm	acier 17,6mm	cable : 17mm		acier 19mm	Kevlar: 25,7mm		Kevlar : 38mm	Kevlar : 45mm	17mm	
Laisse	200m	-	-	25-55m	-	-	-	35-75m	400m	250m	30m	1000m

En italique : à confirmer

4 Objectifs recherchés dans le développement d'un nouveau ROV profond

4.1 Enjeux et objectifs

Le nouveau ROV devra permettre de réaliser de nouveaux scénarios opérationnels tels que ceux décrits dans le cahier des charges et pouvoir s'adapter aux challenges des projets scientifiques pour les 20 à 30 ans à venir. A ce titre, et en rupture par rapport à l'état de l'art des engins existant actuellement il devra :

1. Fournir, au travers de son concept, de ses fonctionnalités et de ses performances, un outil innovant permettant de réaliser des travaux scientifiques de manière différente. L'approche système vise à concevoir des fonctionnalités novatrices pour le ROV avec par exemple des ascenseurs actifs, une capacité de porter des charges lourdes sous le lest dépresseur du câble, ou avec des modules scientifiques en rupture avec la capacité actuelle au niveau des poids, volumes et puissances électriques.
2. Mettre à disposition de nouveaux concepts de perception à distance de l'environnement de travail, en associant des technologies émergentes de l'informatique avec une panoplie d'instruments optiques et acoustiques et des méthodes de réalité augmentée. La perception à distance permettra d'appréhender une zone élargie de la scène, en rupture avec les fonctions actuelles de *Victor 6000* afin de combler en partie les lacunes du ROV dans ce domaine. Des fonctions intelligentes de prétraitement et d'aide à l'exploitation de la donnée seront implémentées dans le système informatique du ROV, afin d'accélérer l'appropriation scientifique de la donnée et la génération de résultats durant la campagne.
3. Etre en capacité d'accueillir de nouveaux types de charges utiles et d'outils (ex. pour le prélèvement, de sondage ou de carottage) et ouvrir à de nouvelles applications (par exemple le déploiement d'observatoire) nécessitant des capacités d'emport et des puissances aujourd'hui non disponibles sur *Victor6000*. Ces capacités ouvriront la voie pour une génération d'observatoires optimisés pour un déploiement dans l'océan profond pour des durées moyennes de quelques jours à quelques semaines. Il sera un outil de choix pour la mise en réseau avec des câbles optiques légers, tel que expérimentés dans le projet *DeepSeaNet* et proposés dans un schéma ambitieux du projet *Synobsig*.
4. Etre la « brique de base » pour de futures opérations multi-systèmes, avec par exemple le déploiement simultané ROV et AUV (notamment CORAL) ou des interactions de déploiement/de service sur des observatoires. Un des schémas proposés est de réaliser des rendez-vous dans les plongées ROV et AUV, afin de donner accès depuis la surface, par une communication sous-marine à haut débit entre les deux engins, aux données récoltés par l'AUV dans une première phase de la plongée, et de reprogrammer sa mission en fonction d'une première analyse des données.

4.2 Synthèse du cahier des charges préliminaires

Sur la base des objectifs arrêtés par le comité directeur de la flotte et de la consultation limitée à quelques équipes scientifiques un cahier des charges préliminaire a fait l'objet d'un document spécifique [2], validé par le comité directeur de la flotte de juillet 2018. Ce document liste les performances et capacités « enveloppe » qu'un nouveau ROV profond devrait pouvoir atteindre, et dont la faisabilité fait l'objet du présent rapport. Ce cahier des charges préliminaire indique :

1. une capacité d'emport augmentée par rapport à *Victor6000* permettant d'assurer des plongées avec une approche pluridisciplinaire impliquant un grand nombre d'équipements scientifiques, comme l'exploration et l'analyse de site d'émission de fluides (sources hydrothermales, pockmarks...);

2. une capacité de prélèvement importante de l'ordre de 100kg dans l'eau, qui permettra par ailleurs d'assurer le transport de charges lourdes, notamment en vue du déploiement d'observatoires ;
3. une capacité à utiliser des outillages hydrauliques pour des opérations spécifiques, par exemple le prélèvement de roche par forage ;
4. des capacités de vision optimisée intégrant des capteurs de dernières génération et des fonctionnalités nouvelles de réalité augmentée.

Le tableau ci-dessous récapitule les éléments principaux de ce cahier des charges préliminaires:

Fonctions / Contraintes	Cahier des charges
Navires supports	N/O <i>Pourquoi Pas ?</i> N/O <i>Marion Dufresne</i> N/O <i>Atalante</i> Navires européens de l'OFEG
Immersion maximale	6000m
Cycle d'utilisation	24h/24h
Capacité d'emport	240-270 daN dans l'eau
Réglage utile de pesée	~ 150 daN
Manœuvrabilité	au niveau voire supérieure à celle de <i>Victor6000</i>
Tenue dans le courant	> 1 nœud ²
Puissance disponible (charge utile)	Hydraulique ~ 10kW Electrique : à définir
Télémanipulation	2*7 fonctions Capacité ≥ 100daN

Par ailleurs, l'analyse du retour d'expérience met en évidence l'intérêt de disposer d'un système ascenseur annexe permettant la remontée d'échantillons en cours de plongée tout en limitant l'impact sur les opérations du ROV (réduction des temps de transit zone de travail / ascenseur).

² Le niveau de tenue dans le courant est à confirmer auprès de la communauté scientifique en fonction des zones d'exploration à courant potentiellement stratégiques (par exemple les têtes de canyon du Golfe de Gascogne)

5 Faisabilité et verrous technologiques concernant les fonctionnalités et scénarios scientifiques d'un nouveau ROV profond

Des ruptures de performances et de sont nécessaires, afin de réaliser des missions nouvelles telles les analyses in-situ multi-capteurs, la mise en œuvre d'outils de prélèvement lourds ou le déploiement d'observatoires temporaires. La réalisation de missions de ce type avec un engin télé-opéré nécessitent des avancées en termes de capacité d'emport et de puissance électrique. Une conception nouvelle d'architecture permettra également d'envisager un saut de technologie dans la perception « à distance » de l'environnement et l'assistance aux opérations d'intervention sous-marine par des fonctions robotiques et d'imagerie avancées. Les principales ruptures sont étudiées ci-après, et dans les annexes correspondantes.

5.1 Capacité d'emport et de prélèvement

5.1.1 Capacité d'emport d'équipements scientifiques

La capacité d'emport ainsi que les fonctionnalités scientifiques seront à arrêter à l'issue d'une phase d'avant-projet/définition (phase 1) sur la base d'une consultation exhaustive de la communauté scientifique. En phase 0, l'analyse du besoin a été réalisée sur la base de réunions thématiques (prélèvement/observatoire) et sur des discussions avec certains chefs de mission de *Victor6000* [6]. Il en est ressorti le besoin d'une capacité d'emport importante permettant de mieux valoriser les plongées avec une approche pluridisciplinaire). Afin de déterminer la capacité d'emport maximale probable du nouveau ROV et d'en étudier la faisabilité, un scénario de plongée « enveloppe » ciblé sur l'analyse de sites d'émission de fluide (source hydrothermale, pockmarks...) conduit à considérer l'intégration d'un grand nombre d'équipements scientifiques (voir tableau ci-dessous), tout en conservant une capacité de prélèvement de l'ordre de 30 à 50 daN [2].

Equipement	priorité	Emplacement	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse (kg)	Poids ds eau (kg)
ISMS GASPARD	1	Module	1120	295	360	105	50
PEPITO	1		580	550	430	66	21
CHEMINI Fer et Sulfures	1		380	220	264	16	6
aspirateur à larves	1		200	200	200	6	2,3
spectromètre RAMAN	2		1264	380	563	59	30
<i>Rack de sondes (3 sondes)</i>	1					28	4
SMF	2		604	448	200	51	32
<i>Aspirateur à faune (Victor6000)</i>	1		869	869	508	105	20
Bathysonde CTD	1	Face avant	808			25	16
PEGAZ	1	Panier/ Plateau	210	210	522	3	1
Carottier lame seul	1		280	190	534	11	7
Rack 2 carottiers lames (grand)	1		630	480	534	59	75
Rack 4 carottiers tubes	1		730	300	560	8	13
Boite de prélèvement isotherme	1		345	285	380	11	20
2 Seringues titane	1					11	6
Réglage pour prélèvement (régleur)	1					30	30

Un premier dimensionnement du nouvel engin cible alors une capacité d'emport d'équipements scientifiques d'environ **265daN dans l'eau**, soit plus du double de celle de *Victor6000*. L'architecture de l'engin devra par ailleurs faciliter l'intégration de ces charges utiles en mettant l'accent sur la modularité. A ce titre, il est envisagé une standardisation des interfaces sur les 2 ROVs.

5.1.2 Capacité de réglage de pesée. Transport de colis lourds et d'observatoires.

Les ROVs s'inscrivent dans un concept de prélèvement propre pour faire face à l'évolution de la réglementation, l'ajout de poids des échantillons devant être compensé par un ballast d'eau et non pas par un largage de grenaille d'acier. L'objectif est de proposer un engin avec une capacité de réglage de pesée sans impact sur l'environnement et basé sur le principe du régleur réversible en place sur le ROV *Victor6000* et sur le HROV *Ariane*.

L'un des enjeux du nouveau ROV sera par ailleurs de déplacer des charges lourdes sur le fond, notamment dans le cadre du déploiement d'observatoire sur le fond ou la mise en œuvre d'outillage lourd. En première approche, la charge à considérer se situe aux alentours de 90-100daN.

L'utilisation de la propulsion pour la manutention de telles charges risque d'engendrer la mise en suspension de sédiment et de rendre impossible tout retour visuel des opérations. Le régleur doit permettre un ajustement de pesée optimale pour des manœuvres précises sans sollicitation importante de la propulsion. Cela conduit à considérer un volume utile de réglage d'au moins 90daN, à ajouter au volume nécessaire au réglage de pesée (estimation préliminaire 50 daN). La phase 0 considère donc l'intégration d'un régleur de 150 litres³ (50daN pour la dépesée, 90daN utile et 10daN de marge sécurité).

L'étude du nouvel engin envisage ainsi d'augmenter massivement la capacité de réglage passant de 70 sur Victor6000 à 150 litres sur le nouveau ROV. Etant donné qu'un volume socle de 40 litres de cette capacité est réservé à la compensation de la dépesée de l'engin en profondeur à 6000m, **la capacité de compensation "utile" passera de 30 à 100 litres**. Ce gain sera un atout majeur du nouvel engin, le placera en tête des ROVs scientifiques et le rapprochera des capacités "à grenaille" du Nautille. Un tel volume doit s'accompagner d'une augmentation de la vitesse de réglage. En première estimation, un débit de vidange d'au moins 3-4 l/min sera nécessaire (allègement de 90daN en moins de 30min).

Cette première approche aboutit à une capacité d'emport de l'ordre de 265 daN dans l'eau et 650 à 700kg dans l'air, associée à un régleur réversible de 150 litres pour une capacité utile de réglage d'environ 100daN.

5.2 Une capacité à transporter virtuellement le scientifique dans les grands fonds

L'objectif est de répondre avec des technologies nouvelles aux limitations de la vision par caméra pour les interventions sous-marines par rapport à la vision directe. Aujourd'hui, le pilotage d'engin et l'exploration scientifique se basent sur le retour d'images vidéo depuis plusieurs cameras intégrées autour de la face avant du porteur afin d'interpréter l'environnement de travail, identifier les objectifs et gérer les manœuvres. Cette méthode atteint rapidement des limites de performance et d'efficacité dans les tâches d'intervention: l'humain doit surveiller l'exécution des opérations depuis plusieurs points de vue bidimensionnels pour en déduire une approche tridimensionnelle de la scène, nécessaire à la pose ou à la préhension d'objets (outillage, échantillons...) et à l'analyse de cible (position, dimensions...).

³ Le pré-design du nouveau ROV se base sur la sphère 150 litres du régleur (non réversible) du Nautille.

L'enjeu est donc de dépasser cette approche historique par une approche de vision augmentée renouant avec le transport de l'humain dans les grands fonds – ce transport se faisant de manière virtuelle⁴.

Les nouvelles techniques de télé-opération, évoquées dans le paragraphe 5.3.3, permettront alors de réaliser des déplacements, des observations et des actions en interface avec l'environnement marin, dans **une démarche imitant progressivement celle de l'humain dans les milieux terrestres**. La transition vers de nouvelles techniques de pilotage, dépassant les displays bidimensionnels et les actions d'opérateurs experts intermédiaires entre les scientifiques, la machine et la scène, se fera progressivement et tendra à terme vers un environnement de réalité augmentée ou un scientifique interagira directement avec l'environnement modélisé. **La machine technique s'effacera et donnera au scientifique un ensemble sensoriel, perceptif et gestuel par rapport à une scène étendue**. L'opérateur prendra un rôle de superviseur qui accompagnera l'opération en surveillant sa sécurité, en conseillant sur des aspects pratiques et opérationnels. Les nouvelles techniques constitueront un complément pour enrichir l'expérience de la plongée.

5.2.1 Fonctionnalités clés associées à la vision augmentée

L'évolution des modes de pilotage et de la conduite des opérations scientifiques se basera sur plusieurs principes clés :

1. Un modèle visuel tridimensionnel de l'environnement sous-marin

Les mesures de profondeurs issues de sondeurs acoustiques et d'outils optiques (photogrammétrie, profileurs Laser et LIDAR) seront intégrées dans un modèle 3D haute résolution qui cumulera les données d'environnement sur l'ensemble de la plongée et également sur un ensemble de plongées. Le modèle 3D est « habillé » de la texture visuelle fournie par l'imagerie optique photo-vidéo. Ces techniques sont aujourd'hui disponibles hors-ligne. Une disponibilité en temps réel, entièrement automatisée, est envisageable d'ici 2 ou 3 ans. Le visionnage de ces modèles sera possible de façon classique par écran 2D-3D, ou de façon immersive avec des outils de type casque virtuel. Le modèle 3D étant géo-référencé, l'analyse dimensionnelle est directement transposable par opérations graphiques.

2. Intégration de données multidimensionnelles

Le modèle d'environnement sera enrichi avec des « couches » thématiques correspondant à des données de capteurs métiers spécifiques, qu'elles soient réalisées au cours de la plongée ou lors de plongées antérieures. Pratiqué au stade actuel dans les outils SIG 2D et 3D hors ligne, les « layers » métiers seront une aide précieuse dans l'exploration de sites. L'analyse différentielle entre données antérieures et nouvelles représente une perspective particulièrement riche pour la caractérisation de l'évolution temporelle de l'environnement par exemple.

3. Le positionnement du point de vue relatif au modèle étendu d'environnement

Grace à la construction du modèle tridimensionnel et visuel de l'environnement, le scientifique pourra naviguer dans un environnement virtuel, sans être limité par le champ de vision instantané du robot⁵. L'indication du champ de vision réel et surtout du champ atteignable par les manipulateurs (bras, sondes, préleveurs...) dans le modèle global permettra en même temps de guider les actions d'intervention, et de fournir les bases pour une nouvelle ergonomie graphique permettant de situer des commandes dans le modèle d'environnement.

⁴ Les techniques de réalité virtuelle se réfèrent souvent à une mise en correspondance de modèles de structures connues avec des données sensorielles. Ici, il s'agit d'utiliser des techniques de type SLAM (simultaneous localization and mapping) en milieu naturel non-structuré.

⁵ Un « robot virtuel » matérialisera graphiquement le point de vue par rapport à la scène

4. Vers des manipulations entièrement automatisées

Aujourd'hui, en fonction des objectifs définis par les scientifiques, l'opérateur analyse la faisabilité des opérations demandées et estime le positionnement le plus adéquat pour le ROV puis réalise l'ensemble des actions de télémanipulation. L'objectif sera de réduire autant que possible l'intermédiaire entre le scientifique et la zone de travail, au travers de fonctions automatisées. Les manipulations pourraient être réalisées à terme par un scientifique au travers d'une machine virtuelle, facilitant l'ensemble des opérations grâce à des fonctions entièrement automatisées comme la saisie graphique des cibles de manipulation (coraux, roches...) au travers du modèle d'environnement et la gestion automatique des outillages standards (carottiers, aspirateur, sondes...).

5. L'aide à l'analyse par intelligence artificielle

La reconnaissance d'espèces, de phénomènes géologiques et de concordance de signatures de mesures, indiquera en temps réels des éléments potentiellement intéressants aux scientifiques. Une action de prélèvement ou d'analyse in-situ pourra être motivée par des détections algorithmiques d'anomalies.

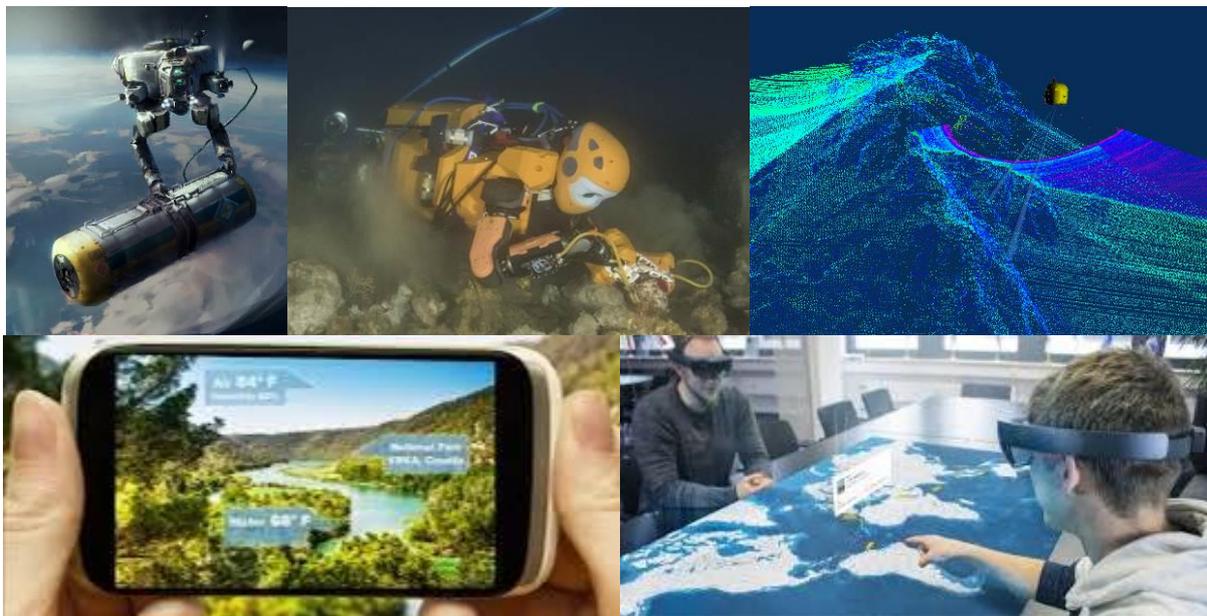


Figure 1 : exemples de fonction de vision augmentée

6. Modèle diffusé et exploration partagée

La construction progressive du modèle sera adaptée à une diffusion par lien satellite aux laboratoires terrestres. Les dispositifs de téléprésence bénéficieront des techniques immersives dans les modèles multidimensionnels de l'environnement. Sans être présent sur le lieu d'opération, des équipes pourront participer aux travaux à distance (compétences complémentaires etc.), en temps réel ou en temps différé. Des annotations et autres points d'intérêts permettront d'organiser un véritable travail collectif au travers d'une interface commune. Ces perspectives se concrétiseront au fur et à mesure.

5.2.2 Equipements optiques

Le système d'imagerie optique comportant caméras, dispositifs d'éclairage et outils de commande sera pensé dans son ensemble pour permettre l'introduction des évolutions décrites dans le paragraphe précédent.

Eclairage

Selon le retour d'expérience *Victor6000* et du *Nautilie*, le besoin en termes d'éclairage est de l'ordre de 280 000 Lumens. En prenant des équipements dans l'état de l'art, l'alimentation électrique nécessaire sera d'environ 4kW. A titre d'exemple, pour couvrir ce besoin, 14 projecteurs de type LED-V-Series de Bowtech seront nécessaires (voir annexe).

Système de vision et d'éclairage déporté

Au-delà de la puissance, il est impératif de proposer une répartition optimale des projecteurs pour avoir un éclairage uniforme de l'ensemble de la zone de travail que ce soit pour des opérations de chantier ou d'exploration. L'éclairage doit ainsi assurer une illumination optimale de la scène pour les nombreux points de vue réalisés simultanément par l'ensemble des capteurs.

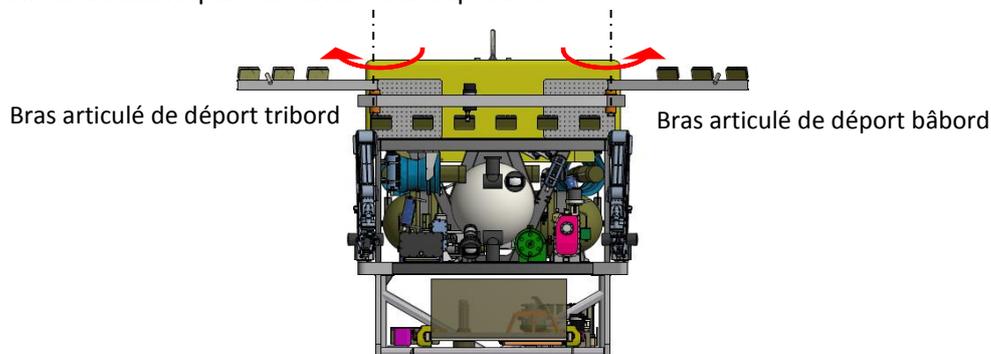


Figure 2 : dispositif de bras articulés pour le déport des éclairages et de caméras

Il est envisagé d'avoir des bras articulés permettant le déport de projecteurs et de caméras, en vue d'un gain significatif en termes de qualité d'éclairage et de vision annexe. En effet, cette extension permettra de positionner les éclairages avec un angle de projection latérale. Le champ d'éclairage résultant sera plus homogène et éliminera certains artefacts d'éblouissement. En outre, la vision déportée apportera à l'opérateur des informations importantes sur la profondeur de champ, et sur des zones de travail potentiellement non visibles (masquées) à partir des caméras embarquées du ROV. Ces nouvelles informations vidéo pourraient également être utilisées pour les fonctions de réalité augmentée.

Indépendance visuel du scientifique et du pilote

L'image vidéo instantanée restera, dans un mode complémentaire avec l'approche de réalité augmentée décrite précédemment, une source de perception exploitée dans certaines phases de la plongée et dans l'analyse scientifique hors ligne.

Sur le ROV *Victor6000*, les scientifiques et les pilotes se partagent actuellement la camera principale orientable, et donc le champ de vision sur la scène. A l'opposé, le *Nautilie* permet au scientifique et au pilote une vision directe indépendante. Le fait de proposer une indépendance visuelle au scientifique et au pilote sera une plus-value majeure par rapport à la situation actuelle sur *Victor 6000*, et permettra de tendre vers une solution apportant une amélioration significative de la perception et de la prise de vue pour le scientifique.

Le découplage entre les vues scientifiques et les vues du pilote par deux ensembles d'imagerie sera donc non seulement une démarche pour améliorer les conditions directes de perception, mais sera également un

élément clé pour ouvrir le schéma traditionnel de pilotage à une approche nouvelle. A ce titre, il est envisagé d'intégrer au moins deux caméras très haute résolution, chacune sur orienteur commandé séparément. Par ailleurs, les deux vues pourront être couplées dans des modes préprogrammés pour créer une vue unique de type **panoramique** (juxtaposition) ou **stéréo** (recouvrement).

L'organisation du travail entre le scientifique et le pilote va donc évoluer. A titre d'exemple, lors des opérations d'exploration sur des falaises, le pilote gardera un rôle assurant la sécurité de l'engin ce qui lui impose d'orienter la caméra vers le haut (dans le sens de déplacement), tandis que le scientifique disposant de sa propre indépendance visuelle pourra conduire l'analyse du site de façon plus pertinente avec un angle de vue l'horizontal voir plongeant avec l'autre caméra.

Autre dispositif possible : le mini ROV d'inspection

Un mini ROV d'inspection pourrait être proposé en équipement modulaire (charge utile). Il serait déployé depuis le ROV, avec un rayon d'action d'une cinquantaine de mètre ; il permettrait

- l'exploration de zones difficiles d'accès comme des épaves ou des anfractuosités,
- des prises de vue totalement déportées et pilotées de la zone de travail.

En fonction de l'avancement des technologies, il pourrait être proposé un mini ROV sans laisse, avec un modem optique pour la communication avec l'engin, ce qui permettrait une grande liberté de mouvement.



Figure 3 : exemple de mini ROV

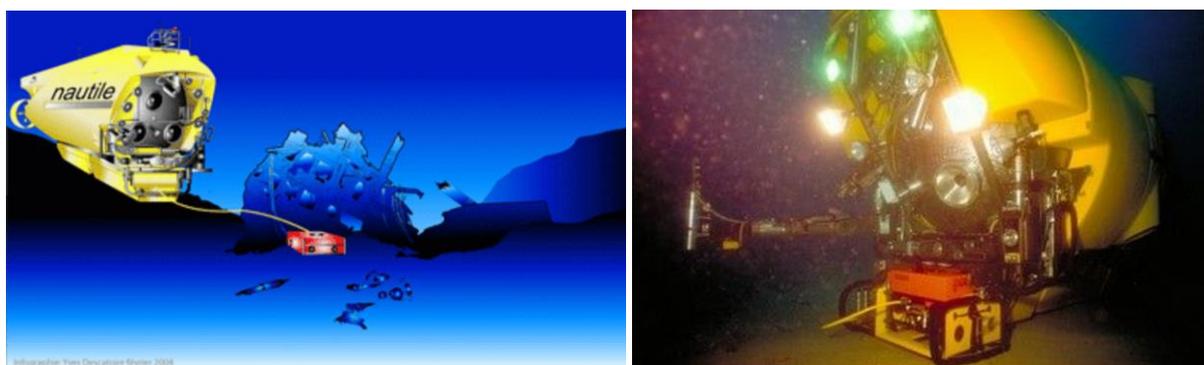


Figure 4 : mini ROV ROBIN qui a été déployé depuis le Nautilus

5.3 Une capacité de télémanipulation associée à une perception optimisée de l'environnement

5.3.1 Critères de choix des bras manipulateurs

L'état de l'art sur la télémanipulation équipant les ROVs scientifiques est disponible en annexe de ce document. Celui-ci montre que la configuration la plus courante est l'utilisation de deux bras dextres instrumentés à 7

fonctions. Pour certains de ces engins néanmoins, le choix d'un grabber à 5 fonctions ou d'un bras à 7 fonctions non instrumentés a été guidé par un besoin plus important de capacité de charge du bras. Par exemple, les bras Schilling Atlas et Rigmaster ont des capacités de charge bras tendu, respectivement de 250kg et 180kg, bien supérieure aux bras instrumentés (par exemple 120kg pour le Schilling Titan4).

Tout naturellement le nouveau ROV profond devra être équipé de 2 bras manipulateurs hydrauliques dextres à 7 fonctions ; ils devront être instrumentés pour un contrôle en position des bras (fonctions robotiques). Une telle configuration à deux bras dextres permettra :

- d'obtenir une dextérité optimale dans l'ensemble de la zone de travail du ROV (bâbord et tribord) sans privilégier l'un ou l'autre des bras, et avec le même niveau de précision et performance,
- de gérer une répartition plus équilibrée des tâches à effectuer entre les deux bras en fonction des outils utilisés et des contraintes opérationnelles locales,
- d'obtenir une meilleure accessibilité du contenu du panier et des équipements de la face avant du ROV, puisque les deux bras seront utilisables en fonction de la zone à atteindre,
- d'avoir plus d'efficacité dans l'interaction avec les équipements sous-marins statiques (observatoires, stations fond) ou mobiles (ascenseurs),
- d'exploiter des fonctions avancées de robotique telles que les mouvements automatiques, la gestion des collisions, le travail collaboratif, ...

La question du retour d'effort sur un des bras manipulateurs doit être posée. Le retour d'efforts permet de ressentir au niveau de l'organe de commande les efforts exercés sur chacun des axes du bras. Ces informations transmises à l'opérateur directement au niveau de l'organe de commande (raidissement, vibrations) lui permettent de mieux contrôler l'effort de serrage de la pince (objets fragiles) ou de mieux maîtriser l'application d'un effort désiré et dans une direction désirée (carottage dans le sédiment ou dans la roche). L'opérateur peut également ressentir tout effort parasite s'exerçant sur le bras, causé par un éventuel contact entre le manipulateur et son environnement immédiat.

Ainsi, afin de répondre au cahier des charges préliminaire, les bras manipulateurs devront avoir les caractéristiques principales suivantes :

- ✓ posséder 7 degrés de liberté et un retour de position de chacun de ses axes articulaires,
- ✓ avoir une cinématique et un volume de travail qui permet d'optimiser la zone d'intervention devant le ROV (longueur bras tendu de l'ordre de 2m),
- ✓ avoir une capacité de charge de l'ordre de 100daN bras tendu (la charge maximale du bras dans d'autres postures sera supérieure) pour permettre :
 - l'arrimage rigide du ROV sur des structures d'accueil (ascenseurs, stations,..),
 - la manipulation d'objets ou colis lourds,
 - l'utilisation d'outils spécifiques nécessitant une puissance importante (carottier, foreuse de roches,...)

On devra donc s'orienter sur une télémanipulation avec 2 bras 7 fonctions avec une capacité de plus de 100daN. Pour envisager des fonctionnalités robotiques avancées, il est nécessaire que les bras soient instrumentés. Deux bras de type

Schilling Titan 4 (voire un Titan 4 et un Kraft si le retour d'effort s'avère pertinent), ou Maestro modernisés par rapport à la version en place sur Victor6000 seraient adaptés.

Le choix de la solution sera réalisé en phase 1 du projet en cohérence avec les perspectives d'évolution de la télémanipulation du ROV *Victor6000* prévue dans la phase de modernisation, soit en vue d'une complémentarité fonctionnelle des deux engins, soit en vue d'une standardisation.

5.3.2 Autres équipements associés à la télémanipulation

Outillages hydrauliques :

Des outillages hydrauliques devront pouvoir être utilisés par le ROV, pour la réalisation d'interventions dites lourdes. L'un des outillages identifiés en phase zéro est une foreuse pour le prélèvement de roche. Mais d'autres outillages pourront être proposés en fonction des besoins tout au long de la vie de l'engin (disqueuse, coupe câble, tronçonneuse...). En se basant sur des produits existants, la puissance hydraulique peut être estimée à environ 10kW. A titre d'exemple la foreuse ci-dessous nécessite 30l/min à 175 bars, soit une puissance de 9kW.

Stinger ROV Operated Drilling Tool

The Imenco Stinger ROV Drilling Tool is a portable hydraulically operated drilling machine which can be operated by a work class ROV. It is designed for subsea drilling operations on a variety of applications and steel thicknesses.

Main features:

- Simple and reliable robust design
- Simple in-situ setup, operation and retrieval by assistance of standard work class ROV.
- Low maintenance with easily replaceable parts when necessary
- Quick and simple change of drill bit
- Interchangeable drill bits up to Ø 135 mm
- Can be supplied with Suction Pad, Magnetic or Claw type-fixing brackets
- Can be supplied with integrated Valve Pack for RPM and Feed control
- Supplied with full documentation and instructions



Main dimension (approx.)	330 mm x 410 mm x 570 mm	Max drill dept (wall thickness)	40 mm (depending on drill bit)
Dry weight (approx.)	46 kg	Stroke length	85 mm
Submerged weight (approx.)	40 kg	Hydraulic supply	Max 175 bar / 20 - 30 l / min
Drill diameter	12 mm to 135 mm	Country of Origin	Norway

Figure 5 : exemple d'outillage hydraulique de carottage pour ROV (société Imenco)

Système d'arrimage :

Pour simplifier les tâches de manipulation nécessitant à la fois l'utilisation simultanée des deux bras et l'immobilité de l'engin, un système d'arrimage indépendant pourrait équiper le ROV, par exemple sous la forme d'un bras télescopique simple avec système de clamping rigide. Déchargé de cette fonctionnalité qui immobilise un bras, l'opérateur pourrait continuer d'exploiter les deux manipulateurs. A titre d'exemple, cela permettrait la réalisation d'interventions complexes en pleine eau sur des observatoires (opérations actuellement réalisées sur des observatoires en très faible fond par des plongeurs).

5.3.3 Fonctionnalités associées à la télémanipulation

L'une des innovations importantes est l'accroissement de « l'immersion » de l'opérateur dans les tâches de télémanipulation afin de rendre celles-ci moins fatigantes et plus performantes, par l'utilisation de fonctions ou d'équipements de robotique avancés tels que :

- la réalité augmentée : incrustation sur les écrans vidéo du pilote (données issues des caméras embarquées ou déportées du ROV) d'informations relatives à la tâche et à la situation courante des bras manipulateurs par rapport à l'environnement : zones de travail accessibles par les manipulateurs, visualisation des verticalités des bras, distance entre objets de la scène, ...

- les systèmes haptiques : le retour d'information sensoriel, en particulier tactile pour le retour des efforts de serrage, de contact, de charge des bras, sera optimisé de manière à fournir le plus d'informations pertinentes au pilote,
- la génération de mouvements automatiques directement à partir des retours d'informations disponibles à l'opérateur (fonctions « click&go »)

Optimisation de la manipulation d'outillages et d'équipements scientifiques.

Aujourd'hui, les mouvements automatiques des manipulateurs utilisés pour l'approche, la saisie ou le rangement d'outils ou d'équipements, sont préprogrammés avant la plongée du ROV. Pour un gain en rapidité de mise en œuvre et en précision d'exécution, ces mouvements automatiques pourraient être générés par apprentissage en temps-réel par l'opérateur au cours de la plongée. Le système de vision déterminera la pose des bras par rapport à la scène en utilisant des marqueurs optiques installés sur les manipulateurs afin d'établir leur position par rapport au modèle 3D issu de la réalité augmentée (voir paragraphe 5.2.1).

Exécution automatique de tâches spécifiques.

La manipulation de colis lourds ou volumineux, le passage d'outils ou la manipulation d'un seul objet à l'aide des deux bras, sont des tâches qui pourraient être facilitées par l'introduction de fonctionnalités avancées liées au travail collaboratif des deux manipulateurs, en particulier le pilotage coordonné des deux bras manipulateurs, ou la gestion des collisions entre les bras et leur environnement.

Manipulation avec retour d'effort.

Le contrôle de la manipulation par retour d'effort serait exploité dans des tâches nécessitant précision et contrôle des efforts exercés sur l'outil ou l'objet manipulé. Les données de retour d'effort seront directement reçues du bras manipulateur s'il est équipé de cette fonctionnalité, ou issues de l'exploitation numérique des données existantes liées au fonctionnement du bras (pression hydraulique, retour de mesures sur le fonctionnement des actionneurs hydrauliques, erreurs entre positions et recopies résolvers,..). Ces données seront exploitées au niveau de l'organe de commande et du poste de pilotage de la télémanipulation.

5.4 Interactions ROV-AUV

Le déploiement non supervisé des AUVs permettra prochainement une mise en œuvre simultanée des 2 systèmes, pour une opération optimale et potentiellement supérieure au retour d'expérience *Nautille* (campagnes FUTUNA, PARISUB, SMARTIES).

Il pourrait par ailleurs être imaginé des opérations au cours desquels les 2 systèmes réalisent des travaux en interaction. L'intégration d'un modem optique à haut débit (R&D Ifremer ou produits émergents) permettra d'implémenter des rendez-vous de communication avec l'AUV6000 actuellement en cours de réalisation (projet CORAL). Ces rendez-vous auront pour objectif d'accéder à des ensembles de données de « survey » à différentes étapes d'une plongée AUV longue durée, et d'éventuellement reprogrammer la mission de l'AUV. Le ROV joue alors un rôle de relais de communication à haut débit.

Par ailleurs, ce moyen de communication entre l'AUV et le ROV permettrait d'ouvrir la porte à des scénarii d'intervention en rupture avec des travaux en interaction des 2 engins sur la même zone de travail. Il serait aussi possible, dans une certaine mesure, de proposer un pilotage temps réel de l'AUV lorsque le ROV est à proximité.



Figure 6 : interaction ROV-AUV

Un exemple de travail collaboratif serait la détection de panaches de fluide par l’AUV combinée à des travaux des mesures et de prélèvements réalisés par le ROV en fonction des données transmises par l’AUV. Une autre application serait la mise en place d’une configuration de l’AUV6000 pour que celui-ci assure la fonction d’assistant aux travaux du ROV, notamment en tant que porte-outil ou ascenseur pour la récupération d’échantillons en cours de plongée. Dans ce cas, l’AUV est piloté pour se poser à proximité du ROV à un point défini au préalable, puis remonte de façon autonome en fonction des besoins.

5.5 Inter-changeabilité des équipements scientifiques sur le fond

Un changement de configuration de charges utiles sur le fond permettrait d’adapter le ROV aux différentes opérations prévues et ainsi optimiser et élargir les capacités d’intervention sur le fond lors d’une même plongée. Cela pourrait être réalisé aux travers de l’ascenseur sur lequel plusieurs modules (ou racks) de charges utiles interchangeables seraient disponibles. Le ROV viendrait se clamber sur l’ascenseur pour déconnecter et enlever le module en place, puis récupérer le nouveau module souhaité. Un tel dispositif doit encore être étudié plus précisément pour connaître l’impact sur les choix d’architecture et donc sa viabilité pour un engin opérationnel. La connexion/déconnexion électrique reste en particulier un point dur qui pourrait être résolu par des liaisons électriques inductives et des liaisons wifi sous-marines pour les données.

La réflexion autour de cette fonctionnalité doit être poursuivie pour définir plus précisément les besoins de reconfiguration – notamment au regard de la capacité d’emport du ROV. A titre d’exemple, il pourrait être proposé les racks suivant :

- Un rack intégrant le panier de prélèvement
- Un rack dédié à des équipements de mesure
- Un rack dédié au prélèvement sous pression
- Un rack dédié au prélèvement de roche intégrant les outillages ad-hoc
- Un rack dédié au transport de colis lourd (observatoire)
- Un rack dédié aux interventions sur observatoire avec un dispositif d’arrimage (voir paragraphe 5.3.2) permettant des interventions fines nécessitant les 2 bras dextres du ROV.

5.6 Conclusions

L’instruction de l’ensemble des axes précédents permet de conclure à leur faisabilité d’ici 2024, moyennant une montée en puissance progressive quant à la transposition virtuelle des scientifiques dans les grands fonds :

1. La capacité d’emport et de réglage de la pesée nécessaire à la mise en œuvre de modules multidisciplinaires, des outillages lourds, de prélèvements importants ou permettant de déployer et de déplacer des observatoires est atteignable. La capacité d’ajustement de la pesée de l’engin assurera ainsi un déplacement avec un minimum de propulsion de façon à limiter les pertes de visibilité liées au soulèvement de sédiment. L’utilisation d’outils d’intervention lourde comme la foreuse à roche sera possible sur le nouveau ROV.
2. Sur la base d’actions de R&D et de développement concernant la vision et la perception à distance de l’environnement des fonctions avancées de réalité augmentée pourront être implantées. Il est à noter que ces fonctionnalités seront dans la mesure du possible exploitées sur *Victor6000* dans le projet de modernisation et par la suite sur le ROV hybride *Ariane*. L’accent sera par ailleurs mis sur les capacités de suivi des plongées à distance, de façon à permettre la participation d’équipes scientifiques depuis un poste à terre.
3. L’architecture système du second ROV ne sera pas nécessairement celle du *Victor6000*, c’est-à-dire utilisant un lest dépresseur et une laisse souple. Différents concepts seront approfondis en phase 1 de projet comme le lest propulsé en vue d’augmenter la manœuvrabilité sur le fond ou le déploiement direct en vue d’une réduction des charges mécaniques sur le câble grand fond.
4. Des solutions existent selon le concept retenu pour le nouveau ROV pour permettre le déploiement optimisé d’un ascenseur : ascenseur déployé depuis le lest dépresseur servant aussi d’ascenseur, ascenseur autonome ou encore ascenseur à câble déployé jusqu’à 6000m⁶ grâce au concept de lest dépresseur propulsé, qui permettra de travailler avec deux câbles au-delà de 2000 m. Le choix sera arrêté en phase 1.
5. La modularité des équipements scientifiques pourra s’inscrire dans une optique de standardisation, d’interfaçage rapide et de mise en place sur l’ensemble des engins profonds. La possibilité d’une modularité d’équipements sur le fond, au travers d’un ascenseur serait un atout majeur permettant d’adapter l’engin à des travaux très différents sur une même plongée.

⁶ Limitation actuelle à 2000m depuis le *Pourquoi Pas?* pour des raisons de sécurité.

6 Les grands choix d'architecture à considérer lors de la phase 1 du projet de nouveau ROV

6.1 Points clé de l'architecture du nouveau ROV

6.1.1 Puissance

L'augmentation de la puissance électrique est une nécessité pour les ROVs scientifiques, afin de mettre en œuvre des outils « gourmands » en énergie, comme une foreuse à roche, des éclairages nombreux et déportés, des manipulateurs puissants, ou encore un système propulsif garantissant une tenue améliorée dans le courant.

Les prédimensionnements, disponibles en annexe de ce document, ciblent une puissance électrique de l'ordre de 40 à 50kW, c'est-à-dire **plus de 2 fois la puissance actuelle de Victor6000**. Cette augmentation sera obtenue par le choix d'un câble ad-hoc, et éventuellement par une architecture de déploiement sans lest dépresseur. Par ailleurs, il est à noter que cette puissance est totalement en cohérence avec la capacité de la plupart des ROVs étudiés dans l'état de l'art (cf. paragraphe 0)

6.1.2 Mode de déploiement

Le mode de déploiement doit être compatible avec la fourniture d'une puissance de 50kW (*Victor6000* limité à 20kW environ), tout en assurant un niveau de manœuvrabilité et de mobilité optimal sur le fond.

La phase 0 a permis une première analyse qui a conduit à l'identification de plusieurs solutions :

- **Déploiement par lest dépresseur**

Ce mode de déploiement permet de valoriser le retour d'expérience de *Victor6000*. Néanmoins, il implique des charges mécaniques importantes sur le câble ; au-delà de 4000-5000m d'immersion, les spécifications du câble sont dépassées avec un risque de défaut d'isolement électrique d'autant plus grand que la puissance (et la tension) à fournir est importante. Les premières consultations auprès des principaux câbliers semblent confirmer que les câbles classiques en acier sont hors limites. Il sera donc nécessaire de privilégier des solutions alternatives comme les câbles aramides, déjà utilisés sur certains ROVs profonds (par exemple le Luso, le Kaiko et le ROSUB), mais est assez peu connus au niveau de l'institut. Des travaux de qualification seront nécessaires pour mieux appréhender cette technologie. Par ailleurs, le diamètre plus important de ce type de câble pourrait imposer des changements de treuil et d'appareils de pont, à prendre en compte lors de la modernisation du Pourquoi pas ? et dans le cahier des charges des futurs navires hauturiers.

Comme on l'a vu, le déploiement par lest dépresseur permettait d'envisager des fonctionnalités nouvelles :

- Le lest pourrait être utilisé comme porte charge pour le déploiement d'observatoire ou d'un ascenseur pour le stockage d'outillages et de prélèvements.
- Une motorisation du lest dépresseur offrirait un certain nombre d'avantages, avec un gain supplémentaire de mobilité du niveau du ROV par des déplacements contrôlés du lest (repositionnement en vue de changement de cap par exemple). Associé à une laisse courte, un lest propulsé permettrait un point de vue du ROV dans son environnement au travers de capteurs

d'imagerie optique et/ou acoustique⁷. Par ailleurs, cette motorisation permettrait d'assurer un écartement de sécurité lors du déploiement d'un second câble à la mer. Il pourrait alors être envisagé l'utilisation d'un ascenseur à câble jusqu'à 6000m (immersion actuellement bridée à 2000m).

- **Déploiement direct (sans lest dépresseur)**

Ce mode de déploiement permet de limiter la charge mécanique sur le câble et ainsi de lever le verrou identifié dans le cas du déploiement avec lest dépresseur. Il s'agit donc d'une solution viable et déjà largement utilisée sur des ROVs profonds, notamment le ROV ISIS (NOC), le ROV Quest (Marum), le ROV Kiel (Geomar) et le Jason 2 (WHOI). Par ailleurs, les phases de mise à l'eau et de récupération sont optimisées par la mise en œuvre d'un seul colis, ce qui permet une meilleure « rentabilité » dans le cas de plongée courte (type *Nautile*, *Ariane*). Néanmoins, l'impact sur la manœuvrabilité et la mobilité sur le fond devra être analysé, en se rapprochant d'instituts comme Geomar, Marum, WHOI ou le NOC pour bénéficier de leur retour d'expérience. La faisabilité de la mutualisation du câble avec *Victor6000* sera à analyser (compatibilité du pied de câble par exemple).

Le choix du mode de déploiement dépendra des retours de consultation sur les câbles et de l'analyse approfondie à réaliser en phase 1 du projet.

6.2 Première ébauche du nouveau ROV

Les études préliminaires de conception se basent, sans vouloir anticiper sur l'architecture future de l'engin, sur l'analyse de faisabilité quant aux fonctionnalités, aux poids et aux volumes des différents composants du système. Le devis de poids conduit à un vecteur d'environ 5,4 tonnes (charges utiles comprises), masse principalement lié au niveau de capacité d'emport et de prélèvement requis.

Les dimensions sont contraintes par l'objectif de containerisation du ROV pour faciliter son transport : longueur ~ 3.4m, largeur ~ 2.2m, hauteur ~ 2.5m (démontage du module charge utile en partie basse du ROV pour le transport – comme pour *Victor6000*).

Le design préliminaire se base sur les équipements suivants :

- Une structure en 2 parties : le ROV et un module charge utile en partie basse,
- Un flotteur d'environ 3 540 litres⁸
- Un ballast réversible de 150 litres (voir partie dédiée),
- Une architecture propulsive similaire à celle de *Victor6000*⁹,
- Une architecture électrique basée sur 4 enceintes (identiques à celles de *Victor6000*),
- Un lest de sécurité de 165 daN¹⁰,
- Un lest d'évolution de 50 daN,
- Un ensemble d'équipements de navigation et de positionnement (GPS, capteur d'immersion, DVL, Phins, CTD, balise)
- Une face avant avec
 - 2 bras 7 fonctions¹¹

⁷ Fonctionnalité en place sur la plupart des ROVs à lest dépresseur notamment Jason (WHOI), Deep Discoverer (NOAA) et Hemire (KORDI).

⁸ La mousse syntactique prise en compte est celle qui a été retenue pour l'AUV6000 CORAL. La densité nominale est de 495kg/m³, mais le dimensionnement a été réalisé en prenant le cas pénalisant d'une densité de 527kg/m³.

⁹ Il sera possible d'augmenter la puissance des propulseurs sans impact mécanique (les tuyères pourraient rester les mêmes).

¹⁰ Dimensionnement du lest de sécurité par rapport à la capacité du régleur.

¹¹ Le pré-design est réalisé sur le cas dimensionnant de 2 bras Schilling Titan4

- 2 cameras sur Pan &tilt,
- un plateau amovible (sur lequel pourra être mis un panier ou des outillages spécifiques)
- 2 bras articulés¹² en partie haute de l'engin pour le déport d'éclairage et des prises de vue

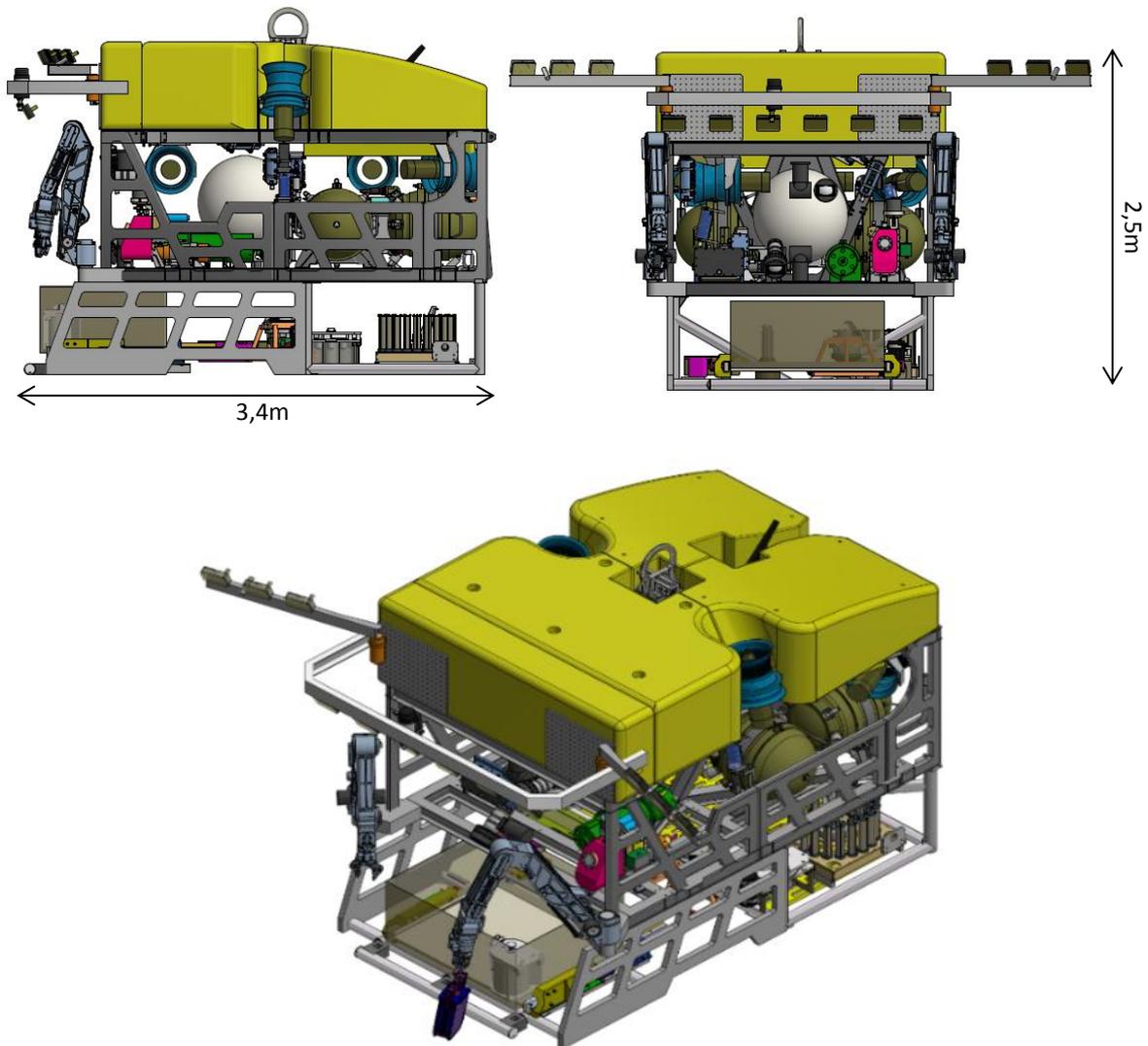


Figure 7 : Vue d'ensemble préliminaire du nouveau ROV

¹² Ces bras articulés pourraient par ailleurs être utilisés comme points d'appui pour certaines opérations en pleine eau, comme le prélèvement de roche par exemple)

7 Grand-carénage & modernisation du ROV *Victor 6000*

Le ROV *Victor6000* est utilisé à la mer depuis sa phase d'essais en 1996, il est opérationnel depuis 1999. En 2010, le premier grand carénage a permis de moderniser le système informatique et d'effectuer la transition numérique des capteurs et du stockage des données d'imagerie optique.

Il s'avère nécessaire de proposer plusieurs actions de modernisation pour adapter le système aux modes opératoires qui ont largement évolués depuis les débuts de l'exploitation du système. Les avancées technologiques dans les domaines de la robotique, en informatique et en instrumentation permettraient aujourd'hui d'améliorer les performances de *Victor6000* par rapport aux attentes et méthodes scientifiques et en poursuivant l'optimisation du coût d'exploitation. Une capacité d'emport plus importante et une meilleure modularité des équipements scientifiques permettant une adaptation accrue aux missions d'exploration pourront également être proposés sans reprendre l'architecture globale de l'engin.

Selon les scénarii détaillés dans le paragraphe suivant, le grand carénage et la modernisation sont réalisés soit en 2 phases distinctes, soit en une seule phase unique.

7.1.1 Evolutions dans le cadre de la gestion des obsolescences

Le première objectif du grand carénage est le remplacement des éléments obsolètes en cohérence avec l'analyse du retour d'expérience opérationnel et avec le cycle de maintenance initialement prévu à la conception. Les éléments principaux sont les suivants :

- Le contrôle commande embarqué, qui recouvre le « système temps réel » (STR) fera l'objet d'une refonte complète en raison de son obsolescence. Pour homogénéiser les engins et réduire les coûts, le nouveau système pourra être similaire à celui du HROV *Ariane* (et qui sera intégré sur le futur AUV Coral).
- Le Système de Transmission de Puissance (fond) sera fiabilisé en modernisant les cartes, sources de pannes. Pour le transformateur fond ; une solution avec un deuxième industriel va permettre d'assurer la disponibilité sur plusieurs années. Ces évolutions permettront par ailleurs d'augmenter la puissance disponible de 3kW, qui sera répartie entre la propulsion et la centrale hydraulique.
- Des évolutions sont prévues pour la gestion d'obsolescences au niveau du bras 7 fonctions Maestro

Enfin, le grand carénage intégrera toutes les opérations de maintenance prévues à l'échéancier précédent. Sur la base de contrôles et de qualifications (vieillesse structurel), l'échéancier et le cycle de vie seront remis à jour.

7.1.2 Evolutions des fonctions et performances scientifiques

Au-delà de la gestion des obsolescences, la modernisation du ROV *Victor6000* étudiera, lors de la phase 1, principalement la possibilité à augmenter les capacités d'emport, de prélèvement, de télémanipulation et à la mise en place d'équipements de dernière génération et de fonctionnalités nouvelles [4]. Le niveau d'évolution retenu sera défini en fonction de la complémentarité souhaitée sur les deux ROVs.

Après bientôt 20 ans de service, une modernisation de *Victor 6000* est jugé pertinente en particulier pour augmenter la capacité d'emport d'équipements scientifiques ainsi que les capacités de prélèvement. Le premier niveau d'évolution consiste dans le remplacement des flotteurs actuels pour un gain significatif simplement par l'amélioration des caractéristiques des éléments de flottabilité (gain de 94 daN dans l'eau). Il est aussi envisagé une refonte de l'architecture électrique qui s'accompagnerait de la diminution de poids par la réduction du nombre d'enceintes résistantes.

En deuxième phase, en vue de l'optimisation des opérations de prélèvement et d'intervention, il peut être envisagé d'accroître la capacité de prélèvement de 30 à 70 daN (à 6000m) par une augmentation du volume du régleur¹³, et de remplacer le bras annexe 5 axes (Sherpa) par un bras 7 axes (Schilling Atlas).

La recherche d'un gain supérieur de la capacité d'emport nécessiterait une refonte structurelle complète de l'engin¹⁴. Mais l'architecture système générale limite les marges d'évolution de certaines caractéristiques et en particulier la puissance électrique. Une augmentation du gabarit poids-volume du véhicule, visant un niveau similaire à ce qui est proposé pour le nouveau ROV, mais sans adaptation de la puissance, risquerait de diminuer la manœuvrabilité et les performances dynamiques du robot.

Des évolutions fonctionnelles sont également envisagées pour l'ensemble imagerie par la mise en place d'un éclairage plus homogène sur la base de projecteurs LED, de capteurs de nouvelle génération et de fonctionnalités de vision augmentée, sans pouvoir atteindre l'ampleur des fonctions et équipements envisagés pour le nouveau ROV.

Enfin, le projet s'accompagnera d'une modernisation nécessaire des équipements informatiques et des logiciels associés. Les évolutions du système informatique seront en grande partie issues des développements réalisés dans le cadre du nouveau ROV. La mutualisation qui permet de réduire les coûts s'accompagne d'une standardisation des outils avec une simplification de la prise en main par une équipe opérationnelle et une gestion commune en vue d'une optimisation du maintien en condition opérationnelle.

¹³ L'augmentation du volume du régleur serait réalisé par l'ajout d'une virole centrale au niveau de la sphère du régleur permettant d'augmenter son volume de 70 litres à 110 litres dont 40 litres sont nécessaires pour l'ajustement de la pesée propre de l'engin. Il n'est néanmoins pas prévu d'augmenter le débit de réglage qui restera aux alentours de 2 litre/min

¹⁴ Le changement de structure et de flotteur permettrait de proposer une capacité d'emport de l'ordre de 200 kg de l'eau (650kg dans l'air) avec un volume accessible similaire à celui du nouveau ROV.

8 Comparatif des performances

Le tableau ci-dessous dresse une comparaison des caractéristiques du nouveau ROV avec celles du *Nautille* et de *Victor6000* actuel.

	<i>Nautille</i>	<i>Victor6000</i>	Nouveau ROV
Masse engin	18,5 tonnes	4,6 tonnes	5,4 tonnes
Immersion	6000m	6000m	6000m
Vitesse maximale	2 noeuds	1-1,5 noeuds	1,5-2 noeuds ¹⁵
Ajustement de pesée	200daN largage grenaille	65daN@2Lmin	150daN@4lmin¹⁶
Capacité emport dans l'air		507 daN	700 daN
Capacité emport dans l'eau	200 daN	114 daN	265 daN
Volume dédié charge utile	1200 litres	~ 2700 litres	3200 litres ¹⁷
Télémanipulation	6fct/4fct	7Fct/5fct	7fct/7fct
Centrale hydraulique	<1kW	5 kW	près de 20kW¹⁸
Puissance disponible engin		20kw	45-50 kW¹⁹
Autonomie	8 h	24/24	24/24
Nombre d'opérateurs	8	8	8
Transport	convoi exceptionnel	container	container

¹⁵ Augmentation des capacités propulsives en cours d'étude

¹⁶ Nouveau ROV : capacité de réglage utile ~ 110daN utile à 6000m (soit un facteur 4-5 par rapport à Victor6000 et 1,5-2 après modernisation), avec un réglage 2 fois plus rapide

¹⁷ Partie module similaire voire identique sur les 2 ROVs : interchangeabilité des charges utiles (et synergie de développement des équipements scientifiques)

¹⁸ Intervention lourde avec outillage hydraulique (ex. : foreuse à roche)

¹⁹ Les contraintes de quotas de puissance qui limitent les opérations *Victor6000* seront nettement réduites par l'augmentation de la puissance disponible.

9 Proposition de phase 1 (2019)

Au-delà des certitudes de faisabilité acquises suite à la présente phase 0, une phase préliminaire de définition et de structuration du projet (Phase 1) sera nécessaire en vue de :

- Mieux définir le besoin scientifique et finaliser le cahier des charges pour le nouveau ROV
- Fixer certains choix techniques en particulier la liaison fond surface (déploiement direct ou par lest dépresseur)
- Rédiger un dossier d'avant-projet technique (définition préliminaire) du système
- Structurer le projet de développement en cohérence avec le programme de grand carénage de *Victor6000*.

Cette phase est programmée sur une période de 12 mois, couvrant a priori l'année 2019. L'ensemble du dossier de phase 1 sera présenté en comité directeur de la flotte de fin 2019 afin d'acter le lancement des études de conception et la construction, pour une mise en service du nouveau ROV et la modernisation de *Victor 6000* d'ici 2025.

9.1 Mise en place d'un groupe de travail scientifique

Les études de phase 0 se sont centrées, compte tenu des délais courts, sur l'analyse système et les concepts ROVs possibles. Une consultation très préliminaire d'une partie de la communauté scientifique a permis d'identifier le périmètre prévisible du projet de développement et d'identifier les verrous technologiques attendus, afin de s'assurer de notre capacité à les traiter. Le niveau de consultation de la communauté scientifique ne permet pas à ce stade de rédiger un cahier des charges avec un niveau de détail technique et scientifique suffisant pour engager le développement. Une collecte poussée des besoins scientifiques est donc nécessaire au travers d'une consultation élargie de la communauté scientifique. Cela passera par la constitution d'un groupe de travail scientifique (GTS) intégrant un panel représentatif des futurs utilisateurs. L'objectif de ce groupe, dans cette phase 1 du projet, sera de définir finement le besoin scientifique et de valider le cahier des charges avec l'équipe projet. Par la suite, ce groupe de travail accompagnera le projet tout au long du développement ; il pourra conseiller voire arbitrer certains choix techniques, concernant notamment les charges utiles, les interfaces ou encore la modularité.

La constitution de ce groupe de travail devra être réalisée rapidement dans le 3 premiers mois de la phase 1 afin de bénéficier d'un temps de réflexion et d'échange suffisant pour converger sur un cahier des charges.

La première étape serait la mise en place d'un workshop pour la restitution des réflexions préliminaires de phase 0 et le démarrage des échanges avec l'équipe projet. Ces échanges pourraient s'étaler sur 6 à 7 mois, avec la finalité d'un cahier des charges validé.

Jalons proposées :

- Workshop de restitution phase 0 et démarrage (GTS) : T0 + 3 mois
- Rédaction d'un cahier des charges : T0 + 9 mois
- Validation du cahier des charges : T0 + 10 mois

9.2 Etude d'avant-projet technique pour le développement du nouveau ROV

L'équipe projet devra mener en parallèle un ensemble d'études techniques sur la base des éléments de phase 0 et des discussions avec le groupe de travail scientifique de façon à proposer une définition préliminaire du système.

Le plan de charge que représente cette phase est résumé ci-après.

Lotissement	Responsabilité	Service du responsable de lot	Estimation plan de charge
Projet	Structuration de la phase1 (plan de projet)	DFO/SM/D	1000 h
Système	Architecture système Rédaction du cahier des charges et du dossier de définition préliminaire	DFO/SM/D	2000 h
Mécanique & hydraulique ROV	Architecture mécanique et hydraulique de l'engin	DFO/SM/2IDM	1000 h
Electrique & puissance ROV	Architecture électrique de l'engin et gestion de la puissance	DFO/SM/S3E	500 h
Robotique	Fonctions de navigation, de positionnement et de robotiques avancées (asservissement, télémanipulation)	DFO/SM/PRAO	500 h
Vision	Fonctions et des équipements d'imagerie. Road-map de développement sur la vision augmentée	DFO/SM/PRAO	700 h
Systèmes informatiques	Poste surface / ergonomie de pilotage	DFO/SM/PRAO	300 h
Liaison fond surface	Liaison fond surface et des modes opératoires	DFO/SM/D	1000 h

9.2.1 Liaison fond-surface

Un travail approfondi sera nécessaire sur le choix de la liaison fond surface et du mode de déploiement. Dans l'hypothèse d'un déploiement direct, il faudra poursuivre les discussions avec les instituts Geomar, Marum et Woods Hole en vue de bénéficier de leur retour d'expérience. Le déploiement par lest dépresseur implique l'identification d'un câble ad-hoc, qui pourrait nécessiter des essais de qualification dans le cas du passage à un câble aramide. Par ailleurs, les fonctionnalités complémentaires au niveau du lest (propulsion, porte-charge) devront être analysées plus précisément pour évaluer leur intérêt opérationnel.

9.2.2 Architecture ROV

La définition de l'architecture de l'engin dépendra pour beaucoup des retours du groupe de travail scientifique sur les axes de développement notamment en termes de capacité d'emport. Dans un premier temps, il sera en particulier nécessaire d'évaluer le potentiel d'un ROV tout hydraulique. Ce point pourra être important dans l'évaluation des stratégies de développement et du choix d'une maîtrise d'œuvre Ifremer ou industriel, selon que l'on s'oriente vers l'achat d'un vecteur nu issu des technologies offshores, ou que l'on s'oriente vers la réalisation d'un engin spécifique. Puis sur la base des premiers retours du groupe de travail scientifique (T0+6mois), les études d'avant-projet sur le ROV pourront être initiées avec une définition préliminaire à proposer à l'issue de la phase 1.

9.2.3 R&D et fonctionnalités avancées (vision augmentée, robotique...)

Les engagements en termes de vision augmentée et de robotique impliquent des développements et des actions de R&D à plus ou moins long termes. Les coopérations nécessaires en ce domaine, au-delà des premiers interlocuteurs déjà identifiés au niveau national ou international devront être stabilisées. Les technologies et les fonctionnalités accessibles dès l'entrée en flotte devront également être clairement identifiées et une roadmap d'intégration des évolutions sera à construire afin de planifier les développements prévus (projets contributifs, collaborations...).

9.2.4 Analyse système & dossier de définition préliminaire

L'analyse système²⁰ permettra le lien entre les différentes études techniques de sous-ensembles (vecteur, liaison fond-surface...); elle arbitrera l'ensemble des choix au regard des besoins scientifiques, de l'impact sur l'architecture système et de l'environnement opérationnel de la flotte océanographique française (FOF).

A l'issue de la phase 1, un dossier d'avant-projet système sera rédigé; il servira de référence en vue de la rédaction des spécifications techniques (phase 2 de conception).

9.3 Perspectives de collaboration franco-allemande

Dans le cadre du label d'Université d'Excellence (DFG) que Brème a gagné (contre les concurrents Kiel et Hambourg) et d'un programme majeur d'investissement accordé par le BMBF concernant un bâtiment supplémentaire Marum: « Centre de Recherche en Océan Profond » et équipements lourds, Brème projette de s'équiper d'un ROV 5000m (limitation par rapport à l'offre industrielle) qui devra remplacer le QUEST 4000 que Marum opère actuellement. Le choix d'un ROV industriel repose sur le retour d'expérience généralement positif avec Quest, et un réalisme quant à la capacité de développements internes (équipe d'ingénierie peu nombreuse). Marum veut complète l'achat du ROV par des développements de type charge utile, outils d'exploitation informatique,...

Dans ce contexte, des coopérations sur les briques technologiques et des fonctions avancées (vision, logiciels, outillages puissance...) pourront être envisagées. Il serait souhaitable de ne pas se limiter à Marum et d'élargir l'instruction d'une telle coopération à l'AWI avec qui l'Ifremer à une expérience de coopération ancienne autour de Victor6000, et peut être à Geomar.

Une mission en Allemagne dédiée à ce sujet au premier trimestre 2019 à Marum, mais également à l'AWI, pourra permettre de clarifier le niveau d'engagement sur des coopérations technologiques souhaitées par l'ensemble des parties.

9.4 Structuration des futures phases du projet

Si certains développements sont communs, le projet de développement du nouveau ROV restera dissocié du projet de grand carénage de *Victor6000*, chacun ayant des objectifs et des échéanciers propres. Il s'agit donc de proposer une structuration cohérente pour chacun de ces projets.

9.4.1 Structuration du projet de développement d'un nouveau ROV

La phase de structuration du projet aura lieu en phase 1 et intégrera une mise à jour des budgets, du calendrier et des plans de charges. Une organisation projet sera proposée conformément au processus qualité P4 de l'Ifremer. Le potentiel d'une maîtrise d'ouvrage industrielle, même partielle, sera évalué pour proposer un développement en adéquation avec les enjeux scientifiques et opérationnels, dans le respect des budgets et des ressources mis à disposition (cf. également 9.2.2.)

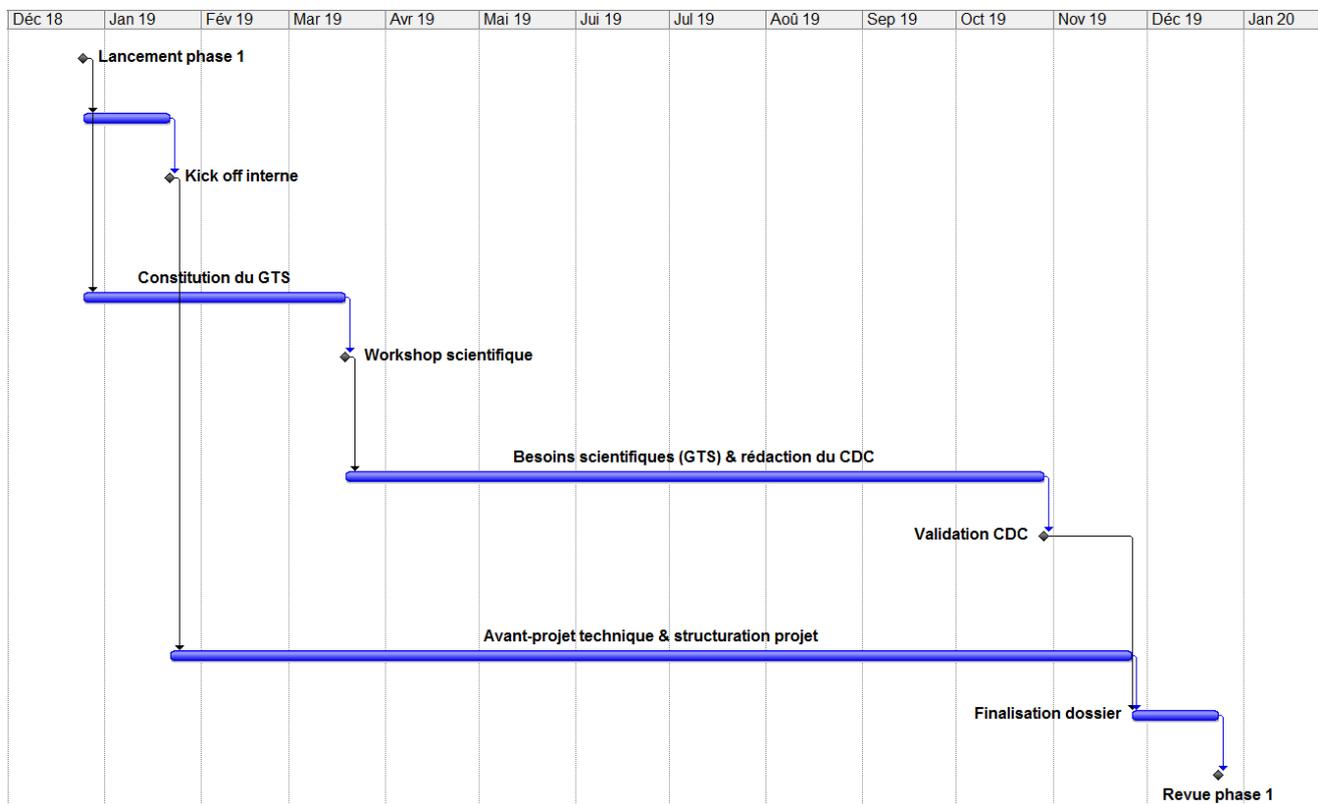
²⁰ Les études système se basent sur une analyse fonctionnelle, au regard des enjeux scientifiques et opérationnelles. Elles permettront la rédaction des différentes spécifications fonctionnelles de sous-systèmes. Le lot système sera alors en charge de la coordination de l'ensemble des études, de la définition des interfaces et des interactions dans les différents développements.

9.4.2 Structuration de projet de modernisation de Victor6000

Le projet de grand carénage pourrait être scindé en 2 parties distinctes. Une première étape de grand carénage aurait pour objectif principal la gestion des obsolescences. Elle serait conduite rapidement et intégrerait un certain nombre d'évolutions pour assurer un premier niveau de modernisation. Une deuxième phase de modernisation serait réalisée une fois le nouveau ROV en service, afin d'intégrer à Victor6000 certains développements réalisés dans le cadre du nouveau ROV et ainsi mutualiser les coûts de fonctionnement de fonctionnalités nouvelles et de MCO des engins. Le périmètre sera à définir plus précisément en fonction des synergies avec les développements proposés pour le nouveau ROV.

9.5 Planning et budget pour la phase 1

Le planning ci-dessous décrit la phase 1 de structuration et de définition fonctionnelle du nouveau ROV.



Un budget de l'ordre de 400 k€ est nécessaire en phase 1 pour assurer les études d'avant-projet concernant le nouveau ROV (mode de déploiement, qualification de câble, maquettage de concept, test de composant...).

Annexe I. Analyse des concepts d'architecture système

I.1 Déploiement par lest dépresseur

Il s'agit du mode de déploiement du ROV *Victor 6000*. Le retour d'expérience est satisfaisant notamment en termes de manœuvrabilité et de mobilité sur le fond. La mise en œuvre de 2 colis complexifie les procédures de mise à l'eau et de récupération et implique un grand nombre de personnel sur le pont ; néanmoins dans une optique de plongées longues, ces temps ne sont pas rédhibitoires.

Avantage :

- Principe éprouvé avec un niveau de mobilité et de manœuvrabilité satisfaisant.

Inconvénients :

- Mise en œuvre de 2 colis à la mer
- Point de vigilance sur la fiabilité de la laisse (REX Victor6000)

I.1.1 Axe d'optimisation 1 : le lest propulsé & laisse courte

Les lests dépresseurs utilisés pour le déploiement des ROVs profonds sont équipés de propulseurs, notamment celui du Deep Discoverer (NOAA), du Jason 2 (WHOI) et du Hemire (KORDI). L'objectif est de permettre la visualisation du ROV en opération au travers de caméras et d'éclairage depuis le lest. 2 propulseurs latéraux permettent de contrôler la rotation et les déplacements transversaux de façon à conserver le ROV dans le champ de vision. Cette fonctionnalité n'est possible qu'à la condition d'une laisse courte ; a priori comprise entre 30 et 70m selon l'état de l'art.

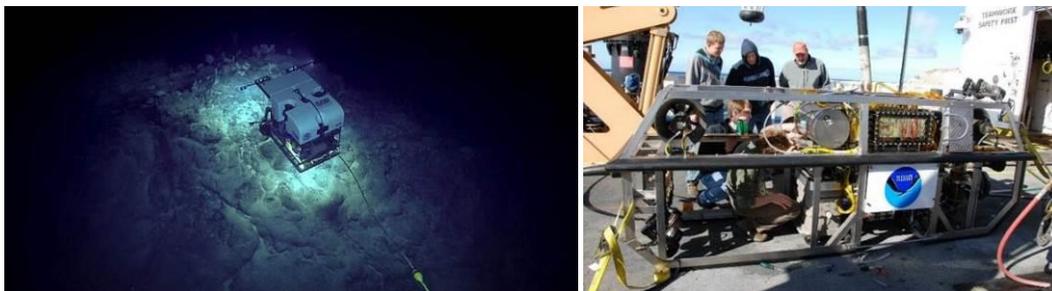


Figure 8 gauche : ROV Deep Discoverer vu depuis son lest (Seirios) - droite : le dépresseur actif Seirios (image NOAA)

A ce titre, le Victor6000 fait figure d'exception avec un lest passif et une laisse longue (200-300m). Une laisse longue permet des excursions plus importantes (gain de mobilité) avec un navire en station, une laisse plus courte pourrait simplifier les phases de mise en œuvre. Dans ce cas, la position du navire support doit être asservie sur celle du ROV pour assurer une mobilité suffisante. Pour cela, le navire doit avoir un niveau de DP suffisant pour permettre ce type d'asservissement (ROV tracking). Dans cette option, d'autres capteurs pourraient être intégrés sur le lest notamment un sonar pour bénéficier d'une imagerie acoustique du ROV dans son environnement (fonction en parfaite adéquation avec les enjeux de vision augmentée détaillés ci-après).

Au-delà de la vision, cette configuration permettrait de réduire les temps de mise en œuvre et les coûts de maintenance²¹.

²¹ Le REX Victor6000 fait état d'un budget de l'ordre 90 k€ par an pour le remplacement de laisse ; ce coût pourrait être divisé par 3 avec une laisse courte.

I.1.2 Axe d'optimisation 2 : le lest propulsé & laisse longue

Le déploiement avec laisse courte implique un navire asservi en position donc avec un niveau de DP suffisant. Dans le cas contraire la laisse longue type *Victor6000* est nécessaire. L'intégration d'une motorisation sur le lest permettrait d'améliorer le niveau de manœuvrabilité par rapport au mode de gestion actuellement en place.

Le suivi en continu du ROV par le lest permet de limiter les temps de stand-by nécessaires au repositionnement du lest après un déplacement de navire, suite à un changement de cap de route important de l'engin ou une excursion au-delà du rayon d'action de la laisse (200m). Ce sont des situations fréquentes dans le cas de plongées d'exploration.

Une poussée de 100daN pourrait être suffisante pour assurer un déport du lest de l'ordre 200m (cette poussée est réalisable avec un des propulseurs du HROV Ariane), soit une distance suffisante pour permettre des excursions importantes sur le fond.

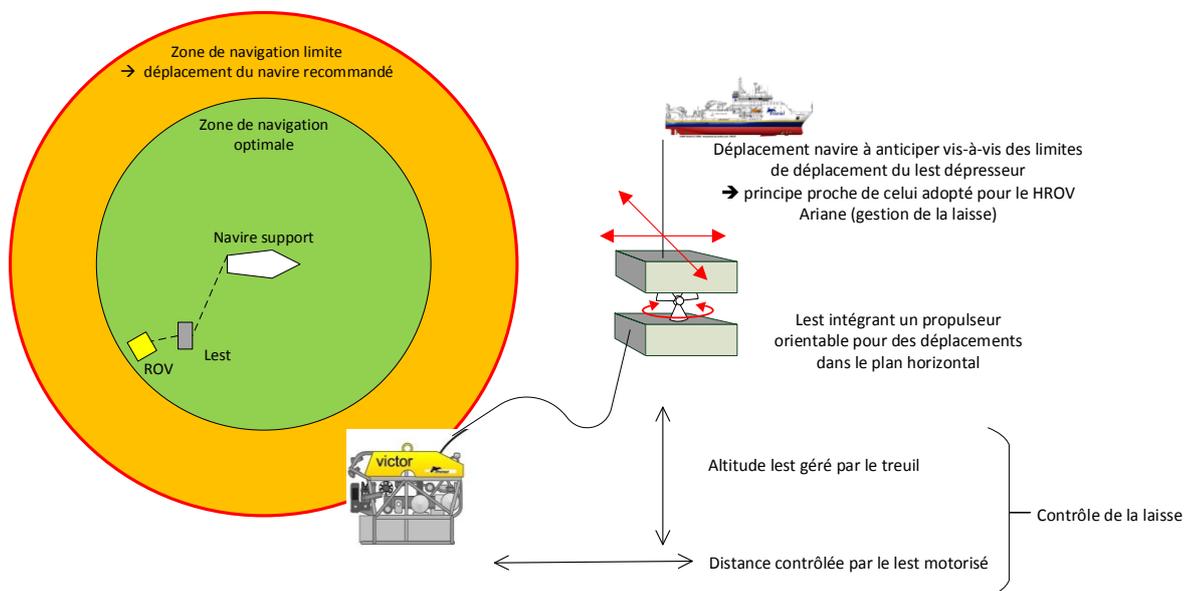


Figure 9 : Principe du lest motorisé

Le lest propulsé serait piloté de façon à rester à une certaine distance à l'arrière du ROV de façon à maintenir l'arche flexible de découplage. Lorsque le lest arrive en limite d'excursion avec sa propulsion, le déplacement du navire support sera nécessaire.

Au-delà de la manœuvrabilité, le lest motorisé permettrait un certain nombre d'autres avantages :

- Dans le cadre d'un déploiement avec un ascenseur à câble, le contrôle actif du lest permettrait d'assurer un écartement de sécurité du câble grand fond, et donc d'envisager ce type d'opération à des immersions plus importantes de ce qui est possible aujourd'hui (limitation à 2000m).
- Dans le cas d'un lest porte charge (voir ci-après), le contrôle dynamique du lest permettrait de faciliter la pose ou la récupération des colis (observatoire, ascenseur, outillage...)
- Le lest pourra intégrer un certain nombre de charges utiles notamment pour optimiser la perception de l'environnement du ROV (imagerie acoustique).

L'architecture propulsive du lest et les modes d'asservissement système devront faire l'objet d'une étude spécifique. Si la gestion en cap n'est pas nécessaire, alors une simple propulsion orientable dans le plan pourrait s'avérer suffisante.

Prédimensionnement de l'écartement en fonction de la poussée de la propulsion (calcul statique)

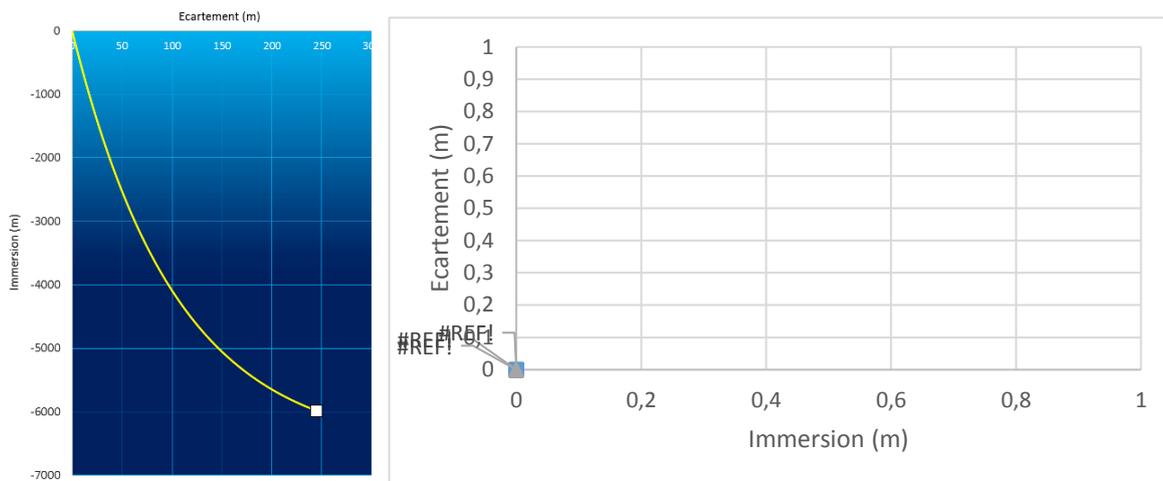


Figure 10 : prédimensionnement de la poussée du lest

I.1.3 Axe d'optimisation 3 : le lest porte charge

Le transport de colis via le lest dépresseur est en cours d'étude. Celui-ci serait muni d'un treuil pour la pose sur le fond et la récupération des colis (voir schéma ci-dessous). Si ce dispositif s'avérait viable, il permettrait la gestion d'un système porte outil (permettant par exemple les changements de configuration de l'engin (voir paragraphe 5.5) ainsi que le déploiement et la récupération d'observatoires ou d'outillages lourds avec de multiples avantages :

- La pose relativement précise du colis, avec le ROV à proximité²² (dans le rayon d'action de la laisse) ;
- La récupération sans largage de lest et conforme aux objectifs d' « observation verte ».

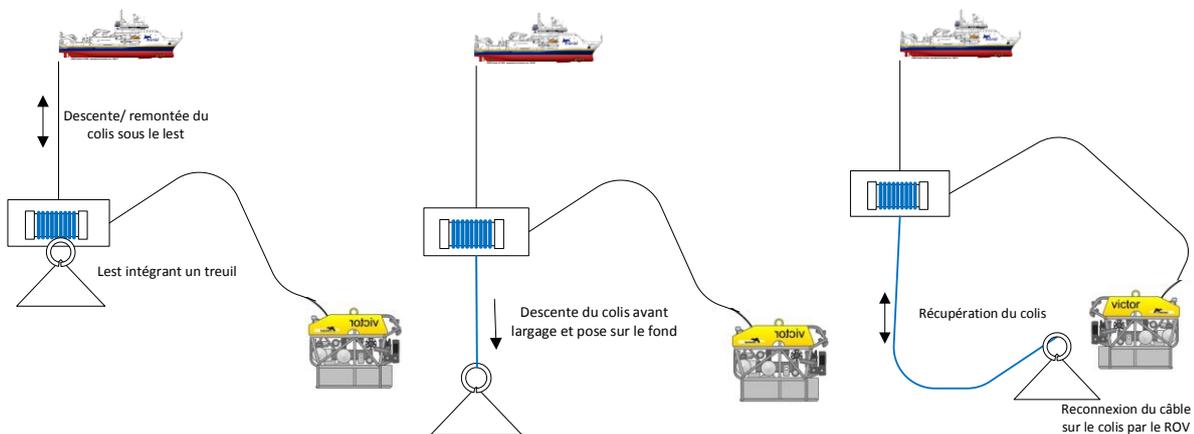


Figure 11 : principe de déploiement d'un colis par le lest dépresseur porte charge

²² Les déplacements (ou le positionnement fin) du colis sur le fond pourront être réalisées par le ROV.

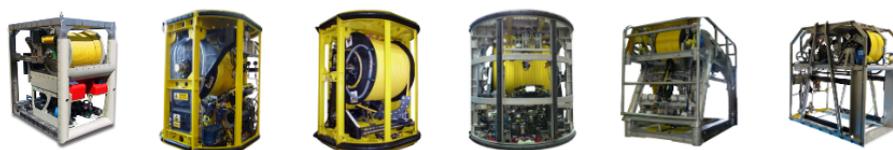
I.2 Déploiement par cage ou par « Top-Hat »

Le déploiement par cage ou *Top-Hat* permet de combiner la simplicité d'une mise en œuvre d'un seul colis avec la manœuvrabilité offerte par un déploiement avec laisse.



Figure 12 - gauche : déploiement du ROPOS par cage (abandonné depuis 2005) – droite : déploiement du ROSUB par Top-Hat

Le concept de déploiement par *Top-Hat* est privilégié pour l'ensemble des Work-Class ROVs. Il s'agit par ailleurs du mode de déploiement employé dans l'offshore. Néanmoins, ces applications couvrent principalement des immersions maximales entre 3000 et 4000m. Il s'agit a priori des valeurs maximales accessibles avec un câble acier classique d'un diamètre proche de celui de *Victor6000*.



TMS Model	Electric TMS	Type IV	Type V	Type VI	Garage Type A	Garage Type B
Category	Observation ROV TMS	Work Class ROV TMS	Work Class ROV TMS	Work Class ROV TMS	Flying Garage For Work Class ROV	Flying Garage For Work Class ROV
Depth Rating	4,000 MSW 13,000 FSW	4,000 MSW 13,000 FSW	4,000 MSW 13,000 FSW	4,000 MSW 13,000 FSW	4,000 MSW 13,000 FSW	4,000 MSW 13,000 FSW
Safe Working Load	-	11,000 KG	12,500 KG	13,500 KG	15,000 KG	12,600 KG
Through Frame Load	-	8,000 KG	9,000 KG	9,000 KG	8,000 KG	5,000 KG
Weight in Air	-	1,950 KG (EXCLUDING TETHER)	2,300 KG (EXCLUDING TETHER)	3,000 KG (EXCLUDING TETHER)	5,500 KG (EXCLUDING TETHER)	TBC
Teather Capacity	-	27 MM 750 M 35 MM 440 M	27 MM 1150 M 35 MM 760 M	27 MM 1500 M 35 MM 870 M	27 MM 1330 M 35 MM 760 M	27 MM 1150 M 35 MM 760 M
Haul In Speed	-	34 M/ MIN MAX	40 M/MIN MAX	45 M/MIN MAX	54 M/MIN MAX	40 M/MIN MAX
Height	-	2,026 MM	2,215 MM	2,305 MM	4,800 MM	TBC
Diameter	-	1,800 MM	2,025 MM	2,305 MM	NA	NA
Length	-	NA	NA	NA	NA	NA
Width	-	NA	NA	NA	NA	NA
Thrusters	-	NA	NA	NA	4x SUB-ATLANTIC SA380-40	4x SUB-ATLANTIC SA380-40

Figure 13 : exemple de Top-Hat (et de cage) – fiche produit FORUM

Pour une immersion de 6000m (ou au-delà), seul le ROV Kaiko (Jamstec, Japon) et le ROSUB (NIOT, Inde) sont déployés par Top-Hat. Pour tenir la charge, des câbles aramides sont utilisés avec des diamètres très importants (45mm pour le Kaiko et 38.9mm pour le ROSUB) conduisant à des moyens de manutention à la mer devant tenir des charges très importantes (30 tonnes pour le ROSUB). La compatibilité d'opération depuis nos navires impliquent une limite à 22 tonnes (CMU des portiques du *Pourquoi Pas ?* et de *l'Atalante*). Une étude de faisabilité pourra tout de même être menée pour voir s'il est possible d'envisager un déploiement par top-hat depuis les navires de la Flotte, notamment dans l'hypothèse d'une réduction de l'objectif en immersion.

Avantages :

- Manœuvrabilité du ROV (laisse + longueur de la laisse ajustable)
- Déploiement rapide et simple (un seul colis)

Inconvénients :

- Faisabilité à démontrer pour une immersion au-delà de 4000m.

I.3 Déploiement direct

Le ROV est déployé directement au moyen du câble grand fond. Une arche flexible pour le découplage des effets de pilonnement du navire est générée grâce à des flotteurs grésés sur le câble à la mise à l'eau. Ce mode de déploiement est utilisé par plusieurs ROVs grand fond notamment le ROV Kiel (Geomar), le ROV QUEST (Marum), le ROV ISIS (NOC), ou encore le ROPOS (Canadian Scientific Submersible Facility). Par ailleurs, le Jason 2 (WHOI) est aussi déployé sans lest dépresseur jusqu'à 4500m (immersion limitée par la longueur du câble disponible sur le treuil).

Le retour d'expérience des scientifiques interrogés lors de la phase 0 [6] est unanime sur le fait que la manœuvrabilité est moins bonne que celle du ROV *Victor6000*. L'impact du câble doit être compensé par une propulsion plus importante et semble induire des perturbations pénalisantes dans le cadre d'opérations fines nécessitant une bonne précision dans les manœuvres. Néanmoins, des progrès dans la gestion du déploiement direct semblent avoir en partie corrigés les défauts constatés. Les dernières discussions avec Geomar, Marum et WHOI ont permis de constater une certaine satisfaction sur le niveau de manœuvrabilité. Par ailleurs, le WHOI envisage d'abandonner à terme le déploiement par lest déposé²³.

La mobilité sur le fond étant limitée par le rayon d'action de l'arche flexible du câble, il sera nécessaire d'asservir la position du navire support en fonction des déplacements du ROV (ROV tracking), notamment dans le cadre d'opérations d'exploration.

Avantages :

- Déploiement rapide et simple (un seul colis)
- Chantier bord réduit (pas de structure intermédiaire)
- Coût réduit (pas de structure intermédiaire ni de laisse)
- Charge mécanique réduite sur le câble (pilonnement)

Inconvénients :

- Manœuvrabilité et mobilité du ROV contrainte par le câble
- Bon niveau de DP navire nécessaire (asservissement en ROV tracking)

²³ Le WHOI est en attente d'un câble 17mm Rochester compatible avec leur treuil actuel pour un déploiement jusqu'à 6500m.

I.4 Choix du mode de déploiement

Le tableau ci-dessous récapitule les différents critères pour le choix du mode de déploiement.

Déploiement	Charge sur le câble	Manœuvrabilité & Mobilité ²⁴	Mise en œuvre	Simplicité
Direct	5/5	3/5	4/5	5/5
Lest dépresseur	3/5	4/5	2/5	4/5
Lest propulsé	3/5	4-5/5	2/5	3/5
Top Hat	1/5	3-4/5	5/5	2/5

Un des points centraux du nouveau ROV est la mise à disposition au fond d'une puissance de 50kW au niveau de l'engin. La limitation du câble *Victor6000* à une tension maximale à 2100V ne permet pas de dépasser une puissance de 21kW. Il est nécessaire de monter la tension d'alimentation à environ 3000V (ou plus) pour atteindre l'objectif. Cette valeur est cohérente avec ce qui est proposé sur les ROVs profonds (voir état de l'art – partie 0 du document). Il existe des câbles en acier adaptés et utilisés sur des ROVs 6000m (ROV Kiel par exemple...) qui ont une tenue en charge équivalente au câble du *Victor6000*.

Les mesures effectuées lors de campagnes *Victor6000* ont montré que les charges dynamiques liées au pionnement du couple câble/lest dépresseur sont de 1 à 2 tonnes, à ajouter à la charge statique²⁵. Par mer agitée, la tension sur le câble est de 7,8 tonnes à une immersion entre 3500 et 4000m²⁶, ce qui correspond à la valeur maximale de travail définie par le fournisseur du câble. Au-delà de cette immersion, le câble est utilisé hors spécification avec un risque de dégradation. La charge sur le câble à 6000m atteint 9 à 10 tonnes (rupture du câble à 20 tonnes). Selon les fournisseurs de câble, au-delà de charge nominal, le câble exerce une contrainte sur les isolants des conducteurs qui peut conduire à un défaut d'isolement²⁷ voire un claquage. L'augmentation de la tension d'alimentation sur un câble équivalent à celui de *Victor6000* conduirait à un risque de défaillance plus grand.

En outre, dans un souci de flexibilité de programmation des campagnes et de temps de mobilisation, il est souhaitable que la solution de treuil et de câble soit compatible pour le déploiement du nouveau ROV et de *Victor6000*.

La phase 0 a permis une première recherche de câble (voir annexe 2), mais aucun ne couvre totalement les exigences. Dans l'hypothèse où aucun câble acier ne répond au besoin, il faudra retenir l'une des solutions suivantes :

- La première solution est de retenir un mode de déploiement direct (sans lest dépresseur). Des câbles adaptés ont d'ores et déjà été identifiés. Autre point positif, les temps de mise à l'eau et de récupération sont plus courts et donc moins impactant dans l'hypothèse de planification de plongées courtes. Néanmoins, ce choix devra être analysé en termes d'impact sur la manœuvrabilité sur le fond ; pour cela, il faudra se rapprocher des instituts comme Geomar, Marum, WHOI ou le NOC pour bénéficier de leur

²⁴ Notation manœuvrabilité :

- 1/5 très peu maniable sur le fond (ex. palonnier actif)
- 5/5 engin libre de toute contrainte (ex. Nautilie)

²⁵ Ces valeurs sont cohérentes avec les prédictions faites par calcul lors du développement *Victor6000*

²⁶ Par mer agitée, la tension sur le câble est de 7.8 tonnes à une immersion entre 3500m avec mise à l'eau par l'arrière et à une immersion de 4000m avec mise à l'eau par le côté.

²⁷ REX *Victor6000* : les défauts majeurs sur le câble grand fond sont très souvent liés à un défaut d'isolement du conducteur de puissance

retour d'expérience. La faisabilité de la mutualisation du câble avec *Victor6000* sera à analyser (compatibilité du pied de câble par exemple).

- L'autre piste serait de remplacer la solution de câble acier par un câble aramide²⁸. Cette technologie de câble est utilisée sur plusieurs ROV profonds (par exemple le Luso, le Kaiko, et le ROSUB), mais est assez peu connue au niveau de l'institut. Des travaux de qualification seront nécessaires pour mieux appréhender cette technologie. Par ailleurs, le diamètre plus important de ce type de câble imposera probablement des changements de treuil et d'appareils de pont.
- La mutualisation du câble (et du treuil) pour le déploiement des 2 ROVs serait un gain significatif en termes d'opération. Si aucune des solutions précédentes n'apportent satisfaction il sera envisageable de choisir un câble permettant le déploiement de *Victor6000* et du nouveau ROV en limitant l'immersion de ce dernier à 4000m. Cette solution serait provisoire en attendant le développement d'un câble adapté au déploiement 6000m des 2 engins. En effet, des travaux de R&D sont actuellement en cours chez certains fournisseurs pour permettre la levée de ce verrou. Par exemple, NSW (General Cable) développe un câble avec armature carbone/acier qui permettrait d'augmenter la charge admissible et donc d'envisager des immersions plus importantes (voir annexe 2).

Le tableau ci-dessous récapitule les choix réalisés pour le câble sur différents ROVs 6000m dont la tension est de 3000V ou plus.

ROV	Déploiement	Choix sur le câble grand-fond
Deep Discoverer	Lest dépresseur	Prise de risque sur le câble a priori
Kiel	Direct	Choix d'un déploiement direct qui réduit notablement la charge sur le câble
Kaiko IV	Top-Hat	câble textile – diamètre 45mm
Aegir6000	Top-Hat	ROV 6000m avec déploiement limité à 4000m

²⁸ Une consultation est actuellement en cours

Annexe II. Prédimensionnement de la puissance

II.1 Puissance propulsive

L'augmentation des capacités propulsives par rapport au ROV *Victor6000* reste à définir. En effet, si la plupart des Work-Class ROVs ont des performances propulsives plus importantes, ils ne possèdent pas de dispositif de réglage de pesée permettant de réduire de façon significative les besoins de poussée.

L'augmentation de la vitesse qui n'est pas utile dans des phases d'exploration qui se font à faible vitesse. Les phases de transit entre 2 points d'étude sur une même plongée pourraient être réalisées à plus grande vitesse. Les déplacements sont actuellement bridés par la liaison fond-surface et plus particulièrement la gestion de la laisse. L'utilisation de concepts différents à *Victor6000* comme le lest propulsé, associé à une propulsion plus importante permettrait d'augmenter la vitesse et donc les temps de transit entre deux sites.

L'autre facteur à prendre en compte dans le bilan de puissance propulsive est le niveau de tenue dans le courant souhaité. Les discussions préliminaires avec les chefs de mission *Victor6000* [4] ou encore avec Genavir [6] ont permis d'identifier quelques cas où la tenue dans le courant de *Victor6000* s'est avérée insuffisante. Néanmoins, ces cas restent rares. Il pourrait être envisagé de monter à une tenue dans 1,5noeuds tout en conservant une bonne manœuvrabilité. Mais l'intérêt devra être confirmé et arbitré en fonction de la faisabilité de la fourniture de puissance (voir partie dédiée).

Ainsi, l'augmentation de la poussée du ROV devra être motivée par :

- Un besoin supplémentaire associé à un engin de taille plus importante
- Un besoin de tenue dans des courants plus importants
- Une vitesse de transit supérieure si la liaison fond surface le permet

Une première solution pour augmenter les capacités propulsives est d'opter pour une architecture optimisée avec les propulseurs dans l'axe de déplacement. Ce changement permet un gain de 15% sur le rendement propulsif par rapport à l'architecture du ROV *Victor6000*. Par ailleurs, si l'on ajoute une capacité d'orienter la propulsion comme c'est le cas sur le HROV *Ariane*, alors il sera possible d'optimiser l'ensemble des déplacements verticaux/horizontaux. En contrepartie les propulseurs sont hors du gabarit de l'engin ce qui induit :

- Des risques plus grands de détérioration en cas de choc
- Des risques d'accrochage supplémentaires
- Des contraintes de démontages pour le transport

Pour un gain plus significatif, il est nécessaire d'augmenter la puissance de la propulsion soit en augmentant le nombre de propulseurs soit en augmentant leur puissance. La figure ci-dessous une estimation de la puissance nécessaire en fonction de la vitesse souhaitée, sur la base de propulseurs électriques.

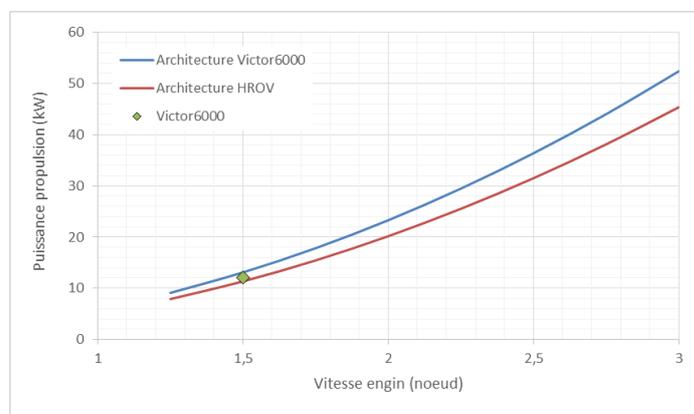


Figure 14 : estimation de la puissance propulsive du ROV en fonction de la vitesse souhaitée

En choisissant des propulseurs de type Innerspace électrique 10HP (poussée 200daN pour une puissance de 11.5kW), il sera possible d'envisager une vitesse maximale de ROV de 2 nœuds avec une consommation électrique de l'ordre 23kW. Il est à noter que ce propulseur entre dans le gabarit de la propulsion Victor6000 – par contre une adaptation de la tension d'alimentation serait à prendre en compte.

D'un point de vue technologique la propulsion hydraulique est plus répandue pour les puissances plus importantes. En outre, une propulsion a un meilleur rendement en hydraulique qu'en électrique. La courbe ci-dessous présente l'écart entre la poussée en se basant sur la technologie Innerspace²⁹.

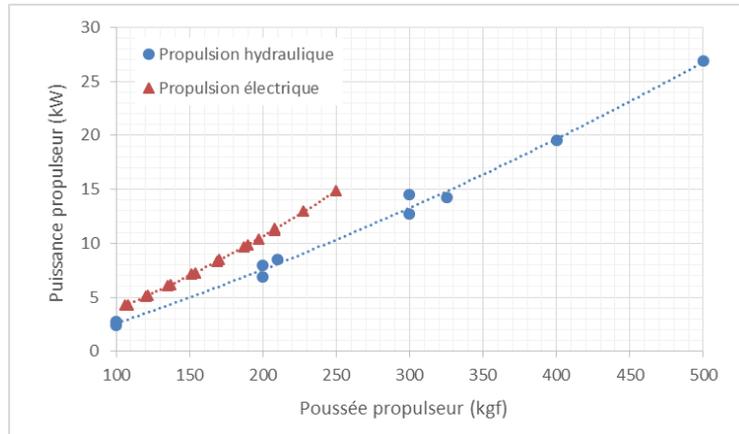


Figure 15 : comparaison des performances des propulseurs électrique et hydraulique (Innerspace)

Ce gain en rendement compense en partie les pertes supplémentaires associées à la centrale hydraulique (rendement conversion électrique → hydraulique ~ 60%). La courbe ci-dessous représente une estimation de la consommation électrique nécessaire à la propulsion en fonction de la vitesse de l'engin.

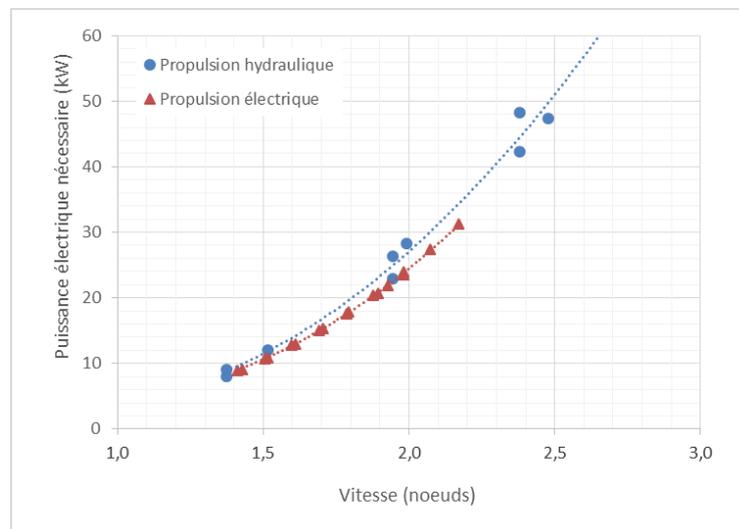


Figure 16 : Puissance électrique nécessaire en fonction de la vitesse d'avancement

²⁹ Propulsion hydraulique : Innerspace 1002-1,23 / 8400-18 & Innerspace 1002 / 4200SA-16
 Propulsion électrique : Innerspace 13450 - 10HP - 400Vdc & Innerspace 13300 - 10HP - 300Vdc

Prédimensionnement de la puissance propulsive (électrique) :

Vitesse maximale	Puissance propulsion
1.5 nœuds (Victor6000)	~ 12-15kW
2 nœuds	~ 23 kW
2.5 nœuds	~ 36 kW

Si le besoin d'une propulsion plus puissante est confirmé en phase 1 du projet, alors l'option d'une propulsion hydraulique sera probablement à étudier. Pour une vitesse de 2 nœuds, la puissance hydraulique est estimée à 17 kW. Néanmoins, avant d'acter un tel choix, il faudra analyser l'impact sur la précision des déplacements sur le fond (notamment à faible vitesse), ainsi que l'impact du bruit sur les équipements acoustiques (sondeurs...).

II.2 Puissance hydraulique

La centrale hydraulique devra être dimensionnée pour l'alimentation des équipements suivants :

- **L'ensemble de télémanipulation** a priori composé de 2 bras 7 fonctions. Le choix de la technologie sera défini après une analyse plus précise du besoin en phase 1. A ce stade, le dimensionnement est réalisé sur la base de 2 bras Titan 4 (débit entre 5.7 et 19 litre/min - pression max : 207 bars)
- **Le régleur réversible** dimensionné à 5.3 kW pour un débit de vidange de 4l/min (sur la base des éléments présentés dans le paragraphe 5.1.2)

Débit de vidange	3 litre/min	4 litre/min	5 litre/min
Puissance nécessaire	5,2 kW	6,9 kW	8,6 kW

- L'interface pour des **outillages hydrauliques** (voir paragraphe 5.3.2)
- L'ensemble de propulsion dans le cas de propulseurs hydrauliques

Le tableau ci-dessous présente une estimation des besoins hydrauliques du ROV

Equipement	Puissance hydraulique
2 bras télémanipulateurs 7 axes	~ 13kW (2*6.6 kW)
Régleur réversible (4l/min)	5 kW
Puissance outillage hydraulique (ex. foreuse à roche)	~ 10 kW
<i>Propulsion (option hydraulique / vitesse 2 nœuds)</i>	~ 20 kW

II.3 Bilan de puissance disponible sur le fond

Le tableau ci-dessous présente différents scénarii d'opération :

Scénario	ROV à propulsion électrique		ROV à propulsion hydraulique	
	Puissance hydraulique	Puissance électrique totale	Puissance hydraulique	Puissance électrique totale
Exploration à $V_{max} \sim 1.5nd$ + réglage de pesée	5 kW	28 kW	15 kW	33 kW
Exploration à $V_{max} \sim 2nd$	-	34 kW	20 kW	40 kW
Exploration à $V_{max} \sim 2nd$ + réglage de pesée	5 kW	43 kW	25 kW	49 kW
Télémanipulation + pesée (ex : transport colis)	18 kW	43 kW	22 kW	44 kW
Intervention lourde + propulsion « légère »	21 kW	46 kW	25 kW	48 kW
<i>Intervention lourde + $V_{max} \sim 1.5nd$</i>	<i>21 kW</i>	<i>54 kW</i>	<i>31 kW</i>	<i>58 kW</i>
<i>Intervention lourde + $V_{max} \sim 2nd$</i>	<i>21 kW</i>	<i>73 kW</i>	<i>41 kW</i>	<i>75 kW</i>

En italique : hors dimensionnement

Le scénario d'intervention lourde est le cas dimensionnant avec une puissance électrique de l'ordre de **46 kW** en propulsion électrique et de **50kW** en hydraulique³⁰. Une intervention lourde dans des conditions de courants très forts, la puissance nécessaire pourrait atteindre 75 kW. Néanmoins, il s'agit de cas extrêmes et à ce stade des études, il ne semble pas pertinent de surdimensionner le ROV pour de telles opérations. Les études de phase 1 permettront d'affiner les scénarii d'utilisation et donc de revoir si besoin ce dimensionnement.

La centrale hydraulique sera un élément majeur du système avec une puissance de l'ordre de 20 kW dans le cas d'un ROV à propulsion électrique et de 25 kW dans le cas d'un ROV à propulsion hydraulique.

Nota : à ce stade, il n'est pas prévu de réaliser des opérations lourdes avec une puissance propulsive maximale, qui conduiraient à une puissance hydraulique entre 30kW (1,5 nœuds) et 40kW (2 nœuds). L'ajustement de pesée permet en partie de s'affranchir de la propulsion qui sert principalement au maintien en position du ROV.

Le système devra donc être dimensionné pour une alimentation du ROV de 50kW ou plus. Dans le cas du déploiement via un lest dépresseur propulsé, il sera nécessaire d'ajouter à ce bilan la puissance propulsive du lest (environ 5-10 kW).

³⁰ Dans le bilan de puissance, entre 2 et 3 kW sont consacrés à l'alimentation des équipements de l'engin (capteur, électronique) et à certaines charges utiles.

Annexe III. Etat de l'art télémanipulation sur ROVs scientifiques

L'état de l'art des différents ROV scientifiques profond (voir paragraphe 0) montre une certaine uniformité dans les choix de télémanipulation. Le tableau ci-dessous récapitule des bras télémanipulateurs équipant les différents ROVs étudiés. La tendance est clairement sur des ensembles avec 2 bras 7 fonctions (voire un bras 7 et un bras 5 en configuration minimale).

ROV	Institut	Immersion	Télémanipulation	Bras 1	Bras 2
Jason 2	WHOI	6500m	7Fct / 7 Fct - 120daN	Schilling Titan4	Kraft Predator ³¹
Ropos	DSSF	5000m	7Fct / 7 Fct - 120daN	Shilling Titan 4	Shilling Titan 4
Isis	NOC	6000m	7Fct / 5 Fct - 120daN	Schilling Titan4	Kraft Predator
Doc Ricketts	Mbari	4000m	7Fct / 7 Fct - 120daN	Schilling Titan4	Kraft Predator
Deep Discoverer	NOAA	6000m	7Fct / 7 Fct - 90daN	Shilling Orion	Kraft Predator
Ventana	Mbari	1850m	7Fct / 7 Fct – 250daN	Schilling Titan 4	Schilling Atlas Hybrid
Aegir6000	Bergen	6000m	7Fct / 7 Fct - 200daN	Schilling Titan 4	Schilling Atlas
Kaiko Mk 04	Jamstec	7000m	7Fct / 7 Fct - 250daN	Schilling Atlas	Schilling Atlas
Kiel 6000	Geomar	6000m	7Fct / 5Fct - 67 daN	Schilling Orion	Schilling Rigmaster (5F)
Quest	Marum	4000m	7Fct / 7 Fct - 90daN	Schilling Orion	Schilling Rigmaster (5F)
Luso	EMEPC	6000m	7Fct / 5 Fct - 120daN	Schilling Titan4	Schilling Rigmaster (5F)
Victor6000	Ifremer	6000m	7Fct/5Fct – 100daN	Maestro	Sherpa

On distingue 4 configurations distinctes :

- 1 bras dextre 7 fonctions et un bras annexe 5 fonctions (Victor6000, Kiel6000, Quest...)
2 bras 7 fonctions identiques, (ex. bras Schilling Titan 4 : Ropos, Jason, Kaiko)
- 2 bras 7 fonctions dont un avec retour d'effort (ISIS, Jason, Doc Ricketts, Deep Discoverer)
- 2 bras 7 fonctions dont un prévu pour les charges lourdes (Ventana, Aegir)

³¹ Kraft Predator probablement remplacé par un Schilling Titan4



Schilling Atlas (intérêt : robustesse et capacité de lavage)



Schilling Orion



Schilling Titan4 (intérêt : performance)



Maestro (Bras dextre : Victor6000)



Kraft Predator (intérêt : retour d'effort)

	Masse air/eau	Extension max	Capacité Max/ bras tendu	Instrumentation	Budget
Schilling Orion	54 kg / 38 kg	1.85m	250kg/68kg	Bras instrumenté	160k\$
Schilling Titan 4	100kg / 78 kg	1.92m	454kg / 122 kg	Bras instrumenté	282k\$
Schilling Atlas	73kg/ 50kg	1.66m	454kg / 250 kg	Bras non instrumenté	78k\$
Kraft Predator	80kg / 51 kg	1.64m	227kg / 91 kg	Bras instrumenté + retour d'effort	233k\$
Maestro	85 kg / 65 kg	2 m	100kg / 96 kg	Bras instrumenté	

Figure 17 Caractéristiques des bras télémanipulateur envisagés³²

³² Référence : S. Sivčev, J. Colemana, E. Omerdića, G. Doolya, D. Toala, "Underwater manipulators : A review", Ocean Engineering 163

Annexe IV. Exemple de projecteur nouvelle génération



Features

- 20,000 Lumens
- Hard Anodised Aluminium Aluminium
- 90° Wide Beam Angle
- 6,000 Metre Operating Depth



Description

The Bowtech Products LED-V-SERIES is a high powered underwater LED light, with a 20,000 lumen output. The light features our latest LED technology.

Rated to operate at 6,000 metres ocean depth, the lights are manufactured with anodised aluminium, offering proven corrosion resistance.

The 90° wide beam angle light produced, is ideal for illuminating large areas for HD viewing tasks.

Benefits of LED Lighting

No Fragile Filaments

Rugged Construction

Highly Shock and Vibration Resistant

Average Lifetime Greater than 50,000 hours

Enormous "In-service" Cost Saving Over Incandescent Bulbs

Available in Various Colour Temperatures

Specification – LED-V-SERIES

ELECTRICAL

Voltage:	AC: 100V to 120V or 210V to 250V DC: 130V to 150V or 260V to 300V
Current:	AC: 2.1A @ 100V to 120V 1.1A @ 210V to 250V DC: 2A @ 130V to 150V 1A @ 260V to 300V

OPTICAL

Window/Lens:	Acrylic
Typical Luminous Flux:	Variable up to 20,000 Lumens
Dimming Control:	RS-485 (multi-drop option available with termination resistor), Analogue Input 0-5V or 0-10V, analogue Input 0-20mA or 4-20mA
Typical Colour Temperature:	6,500 Kelvin (5,600 option)

ENVIRONMENTAL

Operating Depth:	6,000m (19,685ft)
Storage Temperature:	-30 to +70°C
Operating Temperature:	-10 to +40°C
Housing Material:	Hard Anodized 6082-T6 Aluminium (Sacrificial anode option available)

MECHANICAL

Weights in Air:	Aluminium 1.8kg (3.97lbs)
Weights in Water:	Aluminium 1.1kg (2.42lbs)
Thermostat Cut-off:	Thermal Limiting Circuit
Typical Beam Angle:	90° (other angles available)
Height:	51.7mm
Width:	102.0mm
Length:	171.0mm
Standard Connector:	MCBH3M or MCBH5M
Connector Position:	Right Side or Back

Annexe V. Recherche de câbles grand fond

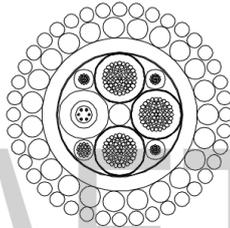
Proposition Rochester (câble acier) :

751 Old Brandy Road
Culpeper, Virginia 22701

Tele: 540 825-2111
Fax: 540 825-2238

DATALINE[®]

Description	Inch	mm
ELEMENT A: Power Single (3)		
Cdr: #9 AWG (6 mm ²) Cu	0.118	3.00
Ins: XLPE/PVF type 44CD	0.179	4.55
ELEMENT B: Optic Tube (1)		
Fbr: 8.2/125/245 µm SM (6)	0.010	0.25
Tube: Type 304 SS double wall	0.095	2.42
Belt: EPC	0.179	4.55
ELEMENT C: Power Single (3)		
Cdr: #19 AWG (0.62 mm ²) Cu	0.039	0.99
Ins: XLPE	0.074	1.88
ASSEMBLY		
Core: Fill Rod	0.082	2.08
Layer 1: 3 A's with 1 B, 3 C's and 1 SCPE coated drain wire in interstices. Void filled and bound with Cu/Poly tape.	0.445	11.30
BELT		
TPE	0.546	13.87
STRENGTH MEMBER		
Layer #1: 23/0.0790° GFNEEIPS	0.704	17.88
Layer #2: 40/0.0545° GFNEEIPS	0.813	20.65



PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Nominal Values @ 20°C	Metric	English
PHYSICAL		
Weight in Air	1,546 kg/km	1,039 lb/kft
Weight in Seawater	1,246 kg/km	837 lb/kft
Specific Gravity	5.1	5.1
MECHANICAL		
Breaking Strength	245 kN	55,000 lbf
Working Load @ 0.41% Strain	69 kN	15,500 lbf
@ 0.52% Strain	89 kN	20,000 lbf
Recommended Bend Radius*	42 cm	17 in
ELECTRICAL		
Voltage Rating		
Element A U ₀ /U	1.7/4.5 kV	1.7/4.5 kV
Element C U ₀ /U	1.1/1.8 kV	1.1/1.8 kV
dc Resistance		
Element A	3.6 Ω/km	1.1 Ω/kft
Element C	33.5 Ω/km	10.2 Ω/kft
Insulation Resistance		
Element A	1,500 MΩ·kft	5,000 MΩ·kft
Element C	1,500 MΩ·kft	5,000 MΩ·kft
OPTICAL		
Attenuation Rate		
Element B		
@ 1310 nm	≤ 0.40 dB/km	--
@ 1550 nm	≤ 0.28 dB/km	--

PROPRIETARY: Use Pursuant to Company Instructions



ROV Cable Code: RM0120452HO00			
Date	Page	Revision	Part No.
08/08/2018	2	A	10525

*The relationship between sheave diameter and cable diameter is a critical factor used to establish a product's fatigue resistance or relative serviceability. Operation over smaller than recommended sheave diameters may adversely affect service life.

Proposition Concept Cable (câble aramide) :

Part No: Customer Ref: Quotation Drawing No: 10757																																																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>No</th> <th>Description</th> <th>Colr</th> <th>Dia mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1 Position Fibre Optics 12 off 9/125µm fibres in gel filled stainless steel tube, ID = 2.29mm OD = 2.69mm LDPE up-jacketed, 2.15mm nom RTI</td> <td>NAT</td> <td>7.00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td rowspan="5"> 9 Position Conductors 1.34mm² (19/0.30mm) Tinned Copper XLPE insulated, 1.00mm nom RTI </td> <td>RD</td> <td rowspan="5">3.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>OR</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>BN</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>GN</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>VT</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>BK</td> <td rowspan="3">N/A</td> <td rowspan="3">14.20</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>BU</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>YW</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Lay Up Items 2 - 10 cabled around item 1. Overall helical PET binding tape, minimum overlap 30%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Bedding Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.90mm nom RTI</td> <td>BK</td> <td>20.00</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Strength Member Double Vectran® fibre braid. 2/24/3/3/1666 dTex</td> <td>N/A</td> <td>23.60</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Jacket Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.70mm nom RTI</td> <td>BK</td> <td>29.00 +/- 0.50</td> </tr> </tbody> </table>	No	Description	Colr	Dia mm	1	1 Position Fibre Optics 12 off 9/125µm fibres in gel filled stainless steel tube, ID = 2.29mm OD = 2.69mm LDPE up-jacketed, 2.15mm nom RTI	NAT	7.00	2	9 Position Conductors 1.34mm ² (19/0.30mm) Tinned Copper XLPE insulated, 1.00mm nom RTI	RD	3.50	3	OR	4	BN	5	GN	6	VT	7	BK	N/A	14.20	8	BU	9	YW	10				11	Lay Up Items 2 - 10 cabled around item 1. Overall helical PET binding tape, minimum overlap 30%			12	Bedding Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.90mm nom RTI	BK	20.00	13	Strength Member Double Vectran® fibre braid. 2/24/3/3/1666 dTex	N/A	23.60	14	Jacket Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.70mm nom RTI	BK	29.00 +/- 0.50	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Notes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Electrical Characteristics</td> <td>Maximum Conductor Resistance Max Recommended Voltage Max Recommended Current / Conductor Minimum Insulation Resistance</td> </tr> <tr> <td></td> <td>16.67 Ω/KM @ 20°C 3,000 V 13 A >900 MΩ/KM @ 1,000V</td> </tr> <tr> <td>Optical Characteristics</td> <td>Maximum attenuation in accordance to IEC 24702 @1310nm @1550nm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.40 dB/KM 0.40 dB/KM</td> </tr> <tr> <td>Mechanical Characteristics</td> <td>Maximum Operating Temp Static Dynamic Cold Flex Temp Minimum Break Load Recommended Safe Work Load Min Recommended Bend Radius Static Dynamic Nominal Weight In Air In Sea Water @ SG 1.025</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+90°C +80°C -40°C 112 kN 20 kN 348 mm 580 mm 734 KG/KM 57 KG/KM</td> </tr> </tbody> </table>		Notes		Electrical Characteristics	Maximum Conductor Resistance Max Recommended Voltage Max Recommended Current / Conductor Minimum Insulation Resistance		16.67 Ω/KM @ 20°C 3,000 V 13 A >900 MΩ/KM @ 1,000V	Optical Characteristics	Maximum attenuation in accordance to IEC 24702 @1310nm @1550nm		0.40 dB/KM 0.40 dB/KM	Mechanical Characteristics	Maximum Operating Temp Static Dynamic Cold Flex Temp Minimum Break Load Recommended Safe Work Load Min Recommended Bend Radius Static Dynamic Nominal Weight In Air In Sea Water @ SG 1.025		+90°C +80°C -40°C 112 kN 20 kN 348 mm 580 mm 734 KG/KM 57 KG/KM
	No	Description	Colr	Dia mm																																																													
	1	1 Position Fibre Optics 12 off 9/125µm fibres in gel filled stainless steel tube, ID = 2.29mm OD = 2.69mm LDPE up-jacketed, 2.15mm nom RTI	NAT	7.00																																																													
	2	9 Position Conductors 1.34mm ² (19/0.30mm) Tinned Copper XLPE insulated, 1.00mm nom RTI	RD	3.50																																																													
	3		OR																																																														
	4		BN																																																														
5	GN																																																																
6	VT																																																																
7	BK	N/A	14.20																																																														
8	BU																																																																
9	YW																																																																
10																																																																	
11	Lay Up Items 2 - 10 cabled around item 1. Overall helical PET binding tape, minimum overlap 30%																																																																
12	Bedding Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.90mm nom RTI	BK	20.00																																																														
13	Strength Member Double Vectran® fibre braid. 2/24/3/3/1666 dTex	N/A	23.60																																																														
14	Jacket Polyether Polyurethane 85 Shore A Halogen Free 2.70mm nom RTI	BK	29.00 +/- 0.50																																																														
Notes																																																																	
Electrical Characteristics	Maximum Conductor Resistance Max Recommended Voltage Max Recommended Current / Conductor Minimum Insulation Resistance																																																																
	16.67 Ω/KM @ 20°C 3,000 V 13 A >900 MΩ/KM @ 1,000V																																																																
Optical Characteristics	Maximum attenuation in accordance to IEC 24702 @1310nm @1550nm																																																																
	0.40 dB/KM 0.40 dB/KM																																																																
Mechanical Characteristics	Maximum Operating Temp Static Dynamic Cold Flex Temp Minimum Break Load Recommended Safe Work Load Min Recommended Bend Radius Static Dynamic Nominal Weight In Air In Sea Water @ SG 1.025																																																																
	+90°C +80°C -40°C 112 kN 20 kN 348 mm 580 mm 734 KG/KM 57 KG/KM																																																																
<table border="1"> <tr> <td>00</td> <td>Quotation</td> <td>DK</td> <td>09/10/18</td> <td>CH</td> <td>09/10/18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ISSUE</td> <td>DESCRIPTION</td> <td>DRWN</td> <td>DATE</td> <td>CKD</td> <td>DATE</td> <td>APPD</td> <td>DATE</td> </tr> </table>		00	Quotation	DK	09/10/18	CH	09/10/18			ISSUE	DESCRIPTION	DRWN	DATE	CKD	DATE	APPD	DATE	<p>This document is the property of Concept Cables Ltd and must not be copied, modified, re-printed or otherwise disclosed to any third party without written permission</p>																																															
00	Quotation	DK	09/10/18	CH	09/10/18																																																												
ISSUE	DESCRIPTION	DRWN	DATE	CKD	DATE	APPD	DATE																																																										
		<table border="1"> <tr> <td>TITLE</td> <td>10C-1.34-1STFO(12)-PU-2SB-PU 29.00 BK</td> </tr> <tr> <td>DESCRIPTION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CUSTOMER</td> <td>IFREMER</td> </tr> </table>		TITLE	10C-1.34-1STFO(12)-PU-2SB-PU 29.00 BK	DESCRIPTION		CUSTOMER	IFREMER																																																								
TITLE	10C-1.34-1STFO(12)-PU-2SB-PU 29.00 BK																																																																
DESCRIPTION																																																																	
CUSTOMER	IFREMER																																																																

➔ Puissance trop faible ~ 39kW

→ Le poids du câble étant très faible dans l'eau 57kg/km, il y a un gain significatif en termes de charge à la poulie. En outre, ce câble permettrait de réduire fortement le poids du lest qui pourrait passer à moins d'une tonne dans l'eau. La working load maximale serait alors de l'ordre de 2,6 tonnes, soit 600kg au dessus de la spécification. Si la robustesse de ce câble s'avère insuffisante, ce calcul montre le potentiel du passage à un câble aramide.

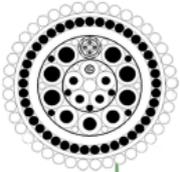
Fiche « produit » du Carbon Armored ROV Umbilical en développement chez NSW (General cable)

CARBON ARMORED ROV UMBILICAL

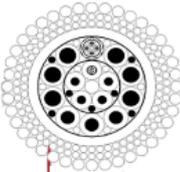
Benefits of Carbon-Fiber-Reinforced Plastic (CFRP) as part of the strength member:

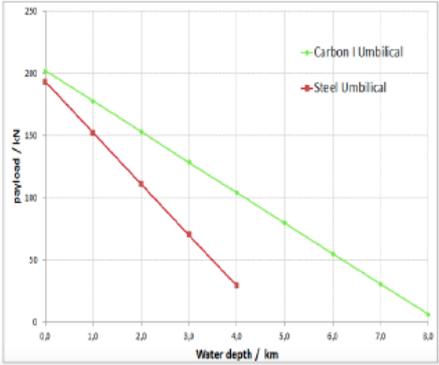
- Reduction of cable weight,
- Increase of cable breaking strength,
- Increase in achievable operating depth,
- Maintain existing design diameters,
- Increase of the payload carried by the ROV.

Carbon Umbilical

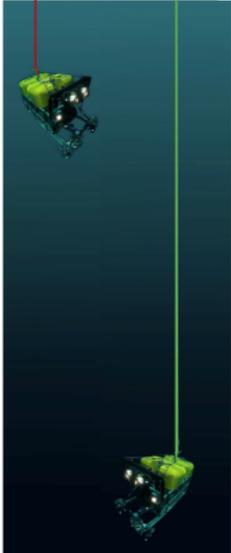


Steel Umbilical





Water depth / km	Carbon Umbilical payload / kN	Steel Umbilical payload / kN
0.0	200	190
1.0	175	150
2.0	150	110
3.0	125	70
4.0	100	30
5.0	75	-
6.0	50	-
7.0	25	-
8.0	0	-



From starting to design and manufacture ROV umbilicals almost 30 years ago NSW has been at the forefront of technological advance in this field from integrating fibre optics to facilitating step changes in operating depth from 350m to over 3,500m on Work Class ROV systems.

This desire to provide world leading solutions to an ever changing and more challenging industry drives us forward.

For further information, please contact sales@nswcable.co.uk.