

Robotique sous-marine: des engins habités aux systèmes téléopérés, autonomes et hybrides.

Vincent Rigaud

Directeur du Centre de Méditerranée
(Guyane, Martinique, Sète, Palavas, Montpellier, La Seyne sur mer, Bastia, La Réunion)
Centre Européen de Technologie Sous - Marine

<http://www.ifremer.fr/flotte/index.htm>

Vincent.rigaud@ifremer.fr



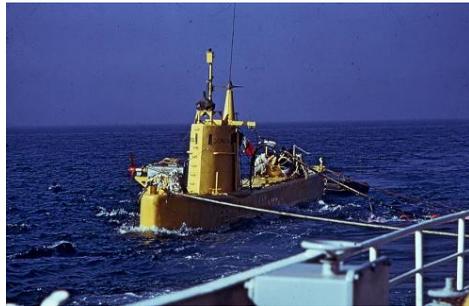
Arts &
Métiers
ALUMNI



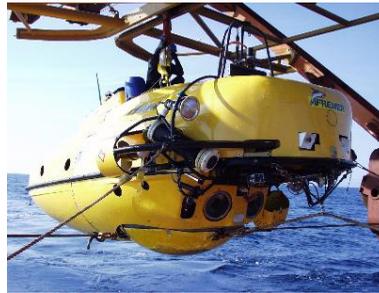
Centre Européen de Technologies Sous-Marines

90 spécialistes + Ecosystème Pole de compétitivité Mer, industries
DGA et Marine Nationale

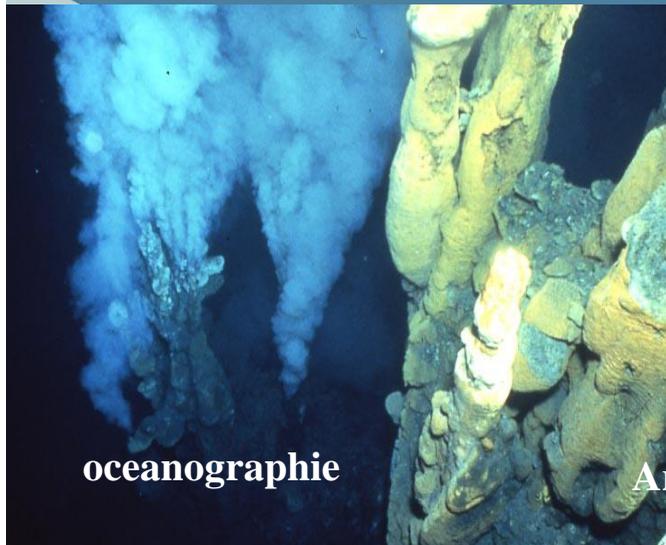
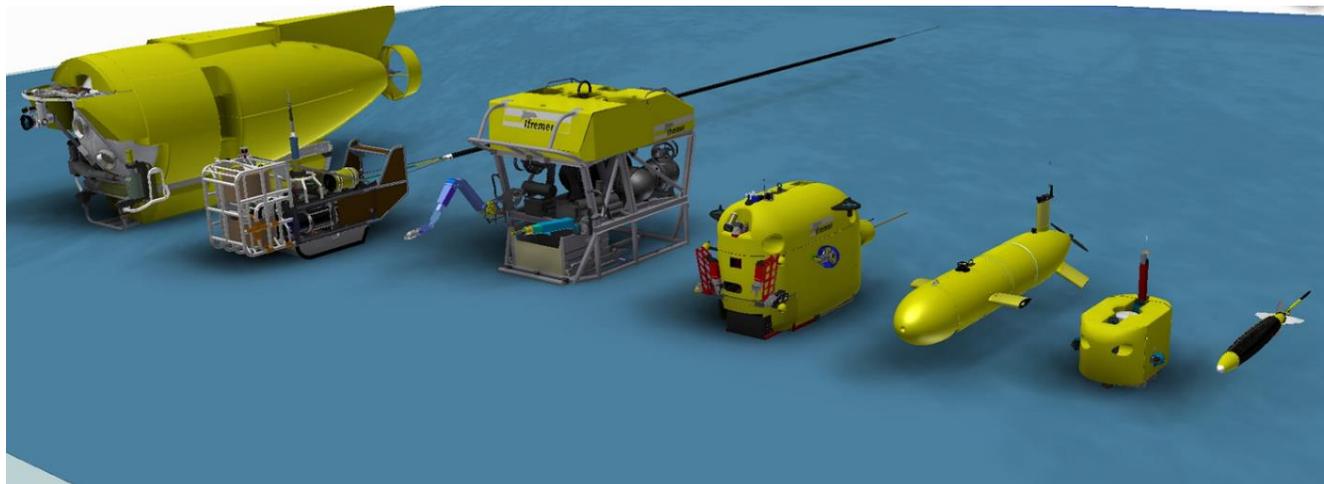
Ifremer



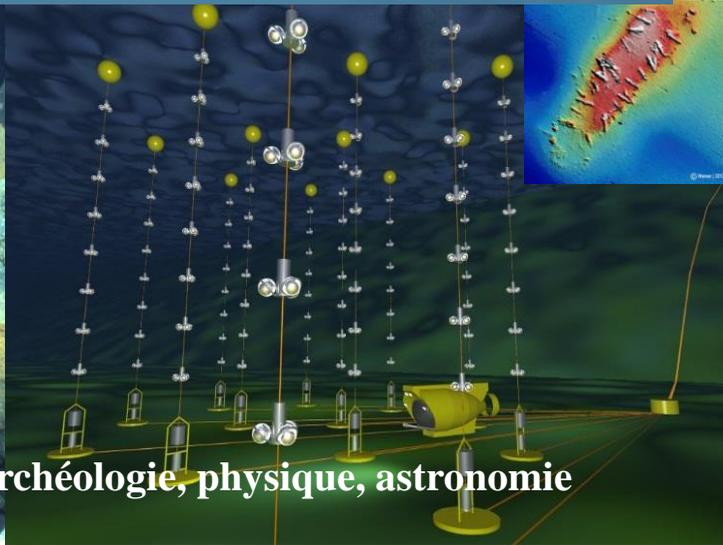
...



...



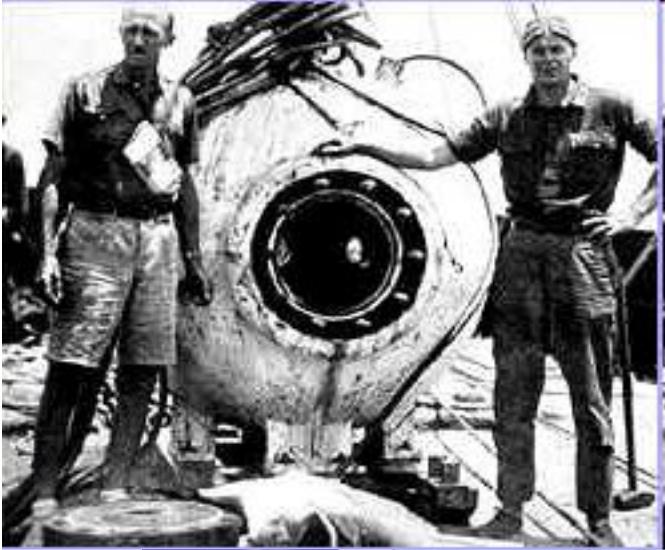
oceanographie



Archéologie, physique, astronomie

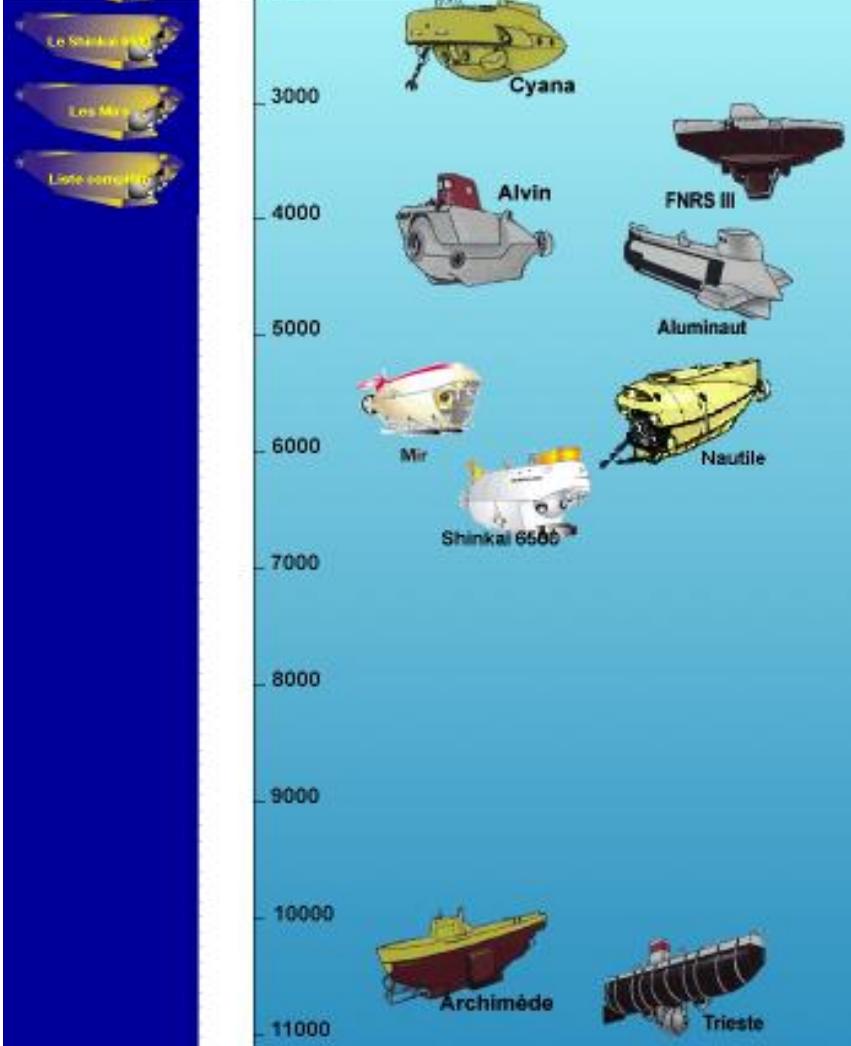


Industries, défense



Pionniers et Rêveurs

De la « Bathysphère » de Bebee et Barton 1934 aux « Bathyscaphes » et aux « submersibles compacts »



YVES PACCALET
 Préface de Jacques Piccard
Auguste Piccard

Les Bathyscaphes!

Les 60-70 Achimede-9260m
Trieste -10916m

« competition, ruban bleu du plus profond »

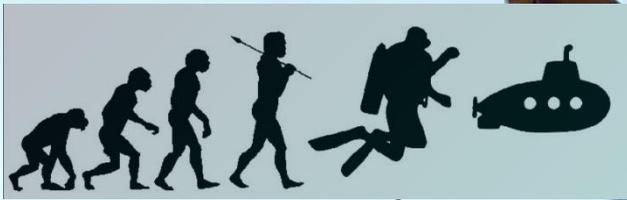


US trieste



Français

ARCHIMEDE

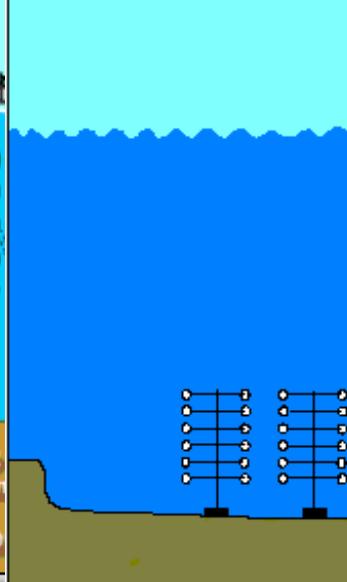
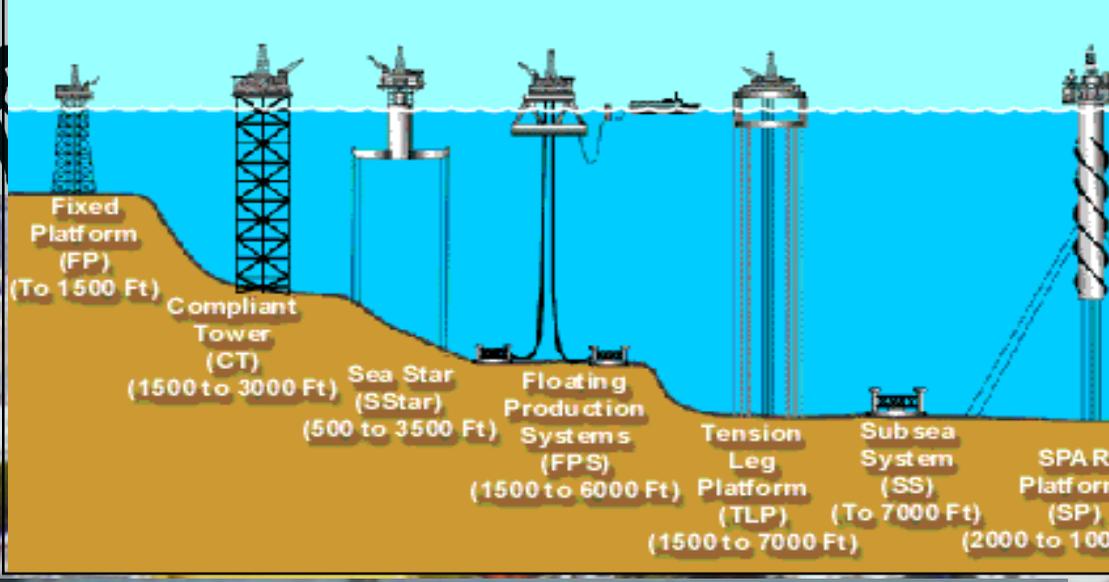


Ifremer CYANA 3000m



70^{ties} – Les sous marins habités scientifiques
Apparition des mousses syntactiques et nouveaux alliages
JY Cousteau Heritage

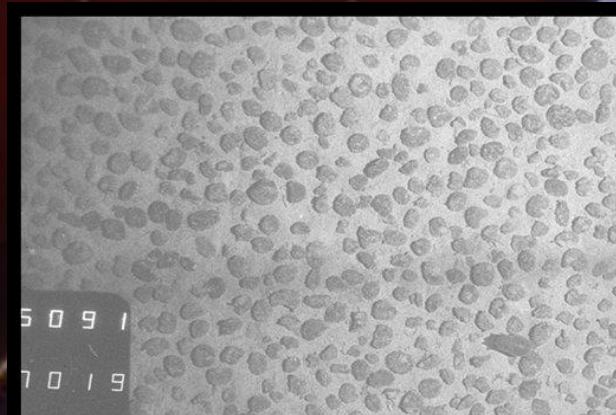




80- aujourd'hui les robots téléopérés
ROVs, ROTs, essentiellement pour l'offshore
Industrie mature- Plus de 5000 opérationnels dans le monde



80-90^{ties} Débuts de la robotique,
Premier engins autonome profond
Plus de lien physique avec le bateau
Recherche de nodules polymétalliques



Secteurs applicatifs actuels

4 marchés à logique économique

Activités commerciales liées à l'**exploitation des ressources** et aux **interconnexions** (énergie, télécoms) sous-marines

Marchés structurés

POSE DE CABLES SOUS-MARINS



PETROLE ET GAZ OFFSHORE (O&G)



Réseaux
(énergie,
communications)

ENERGIES MARINES
RENOUVELABLES (EMR)



RESSOURCES MINERALES
MARINES (MINING)



Marchés émergents

2 marchés à logique institutionnelle

Soutien aux activités commerciales sous-marines

SCIENCE ET
ENVIRONNEMENT



**SYNERGIES
FORTES**

Commercialisation :

- exploration
- études d'impact environnemental en amont et en cours d'opération

DEFENSE ET SECURITE
(D&S)



**SYNERGIES
EMERGENTES**

Sécurisation :
monitoring, surveillance

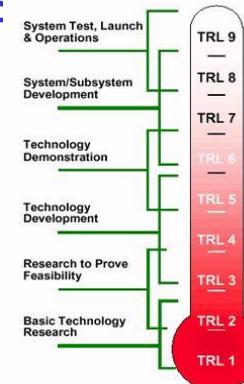
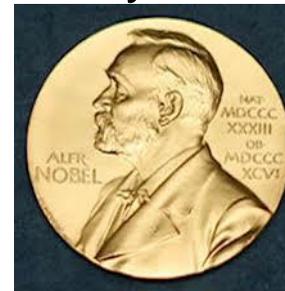
hors sous-marins et systèmes d'armes

CAPEX/OPEX/TRL...efficacités, disponibilités...

Des problématiques duales (sciences/industries/défense)
et quelques indicateurs communs

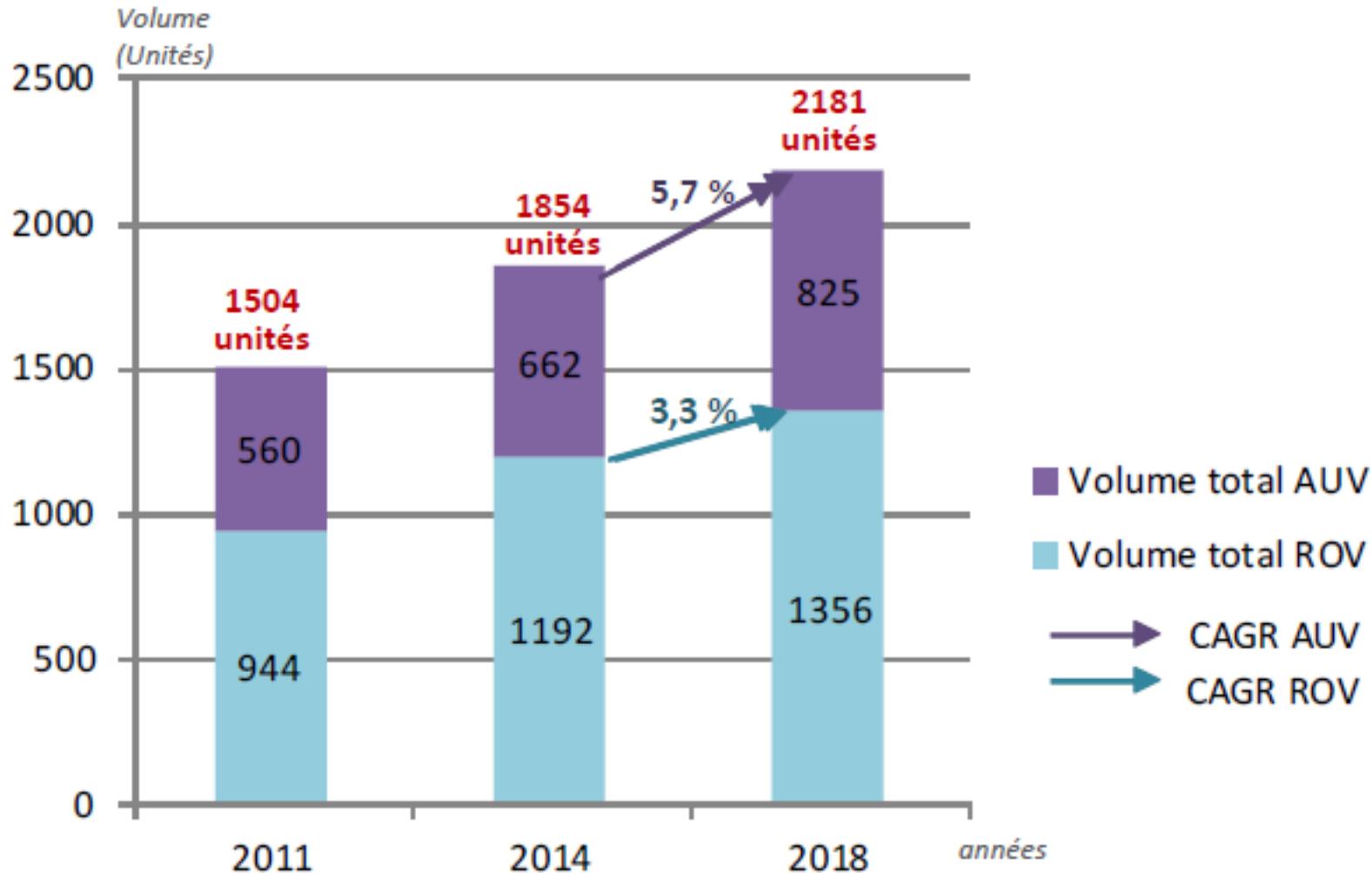
Ifremer

- **CAPEX:** Capital expenditures are expenditures creating future benefits. Costs incurred for buying the income producing property, in a consolidated way, from RandD to product
- **OPEX:** Costs associated with the operation and maintenance of an income producing property.
- **Rate of Usage (RU):** Nbr of Dive/year (without maintenance and transit)
- **Cost Ratio US (CR):** Underwater System Day-Cost/ Naval and other Support Day-Cost
- **ROI**
- **TRL**
- **Operational/ Services Performances**
- **Quality/HSE**



Evolution des marchés

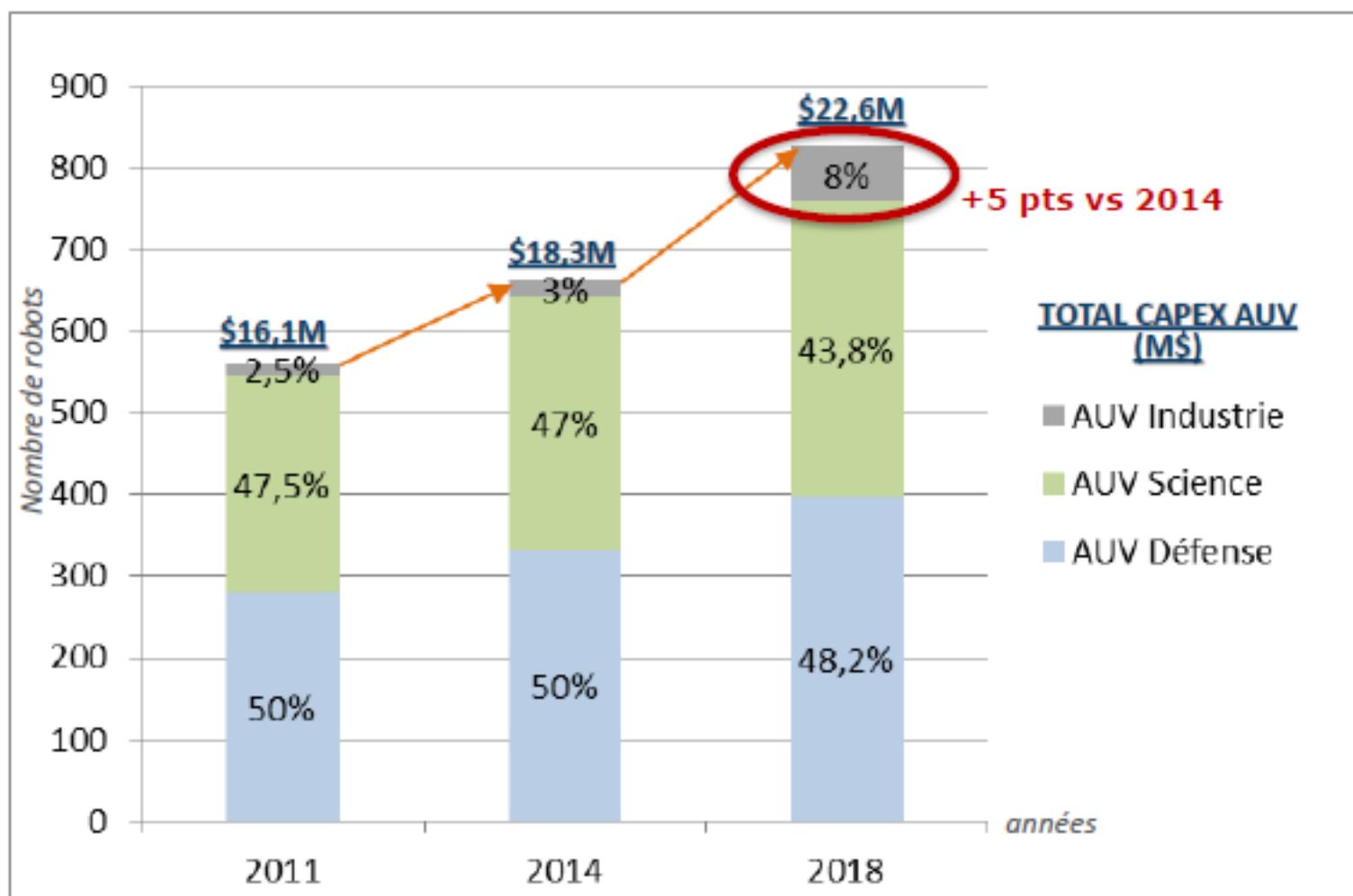
- Optimisation des CAPEX vs OPEX
- Domination des ROVs mais forte croissance des AUVs
- En valeur les services dominant largement les briques et les systèmes



Evolution de la flotte de robots (en volume)

Sources : Estimations Douglass Westwood 2015, Analyses INDICTA

Focus: Evolutions en valeur pour les AUVs



Flotte de robots (en volume et valeur)

Sources : Estimations Douglass Westwood 2015, Analyses INDICTA

HOV Fully operational mature and still modern New players for Exploration and Ultra deep (Mineral resources)

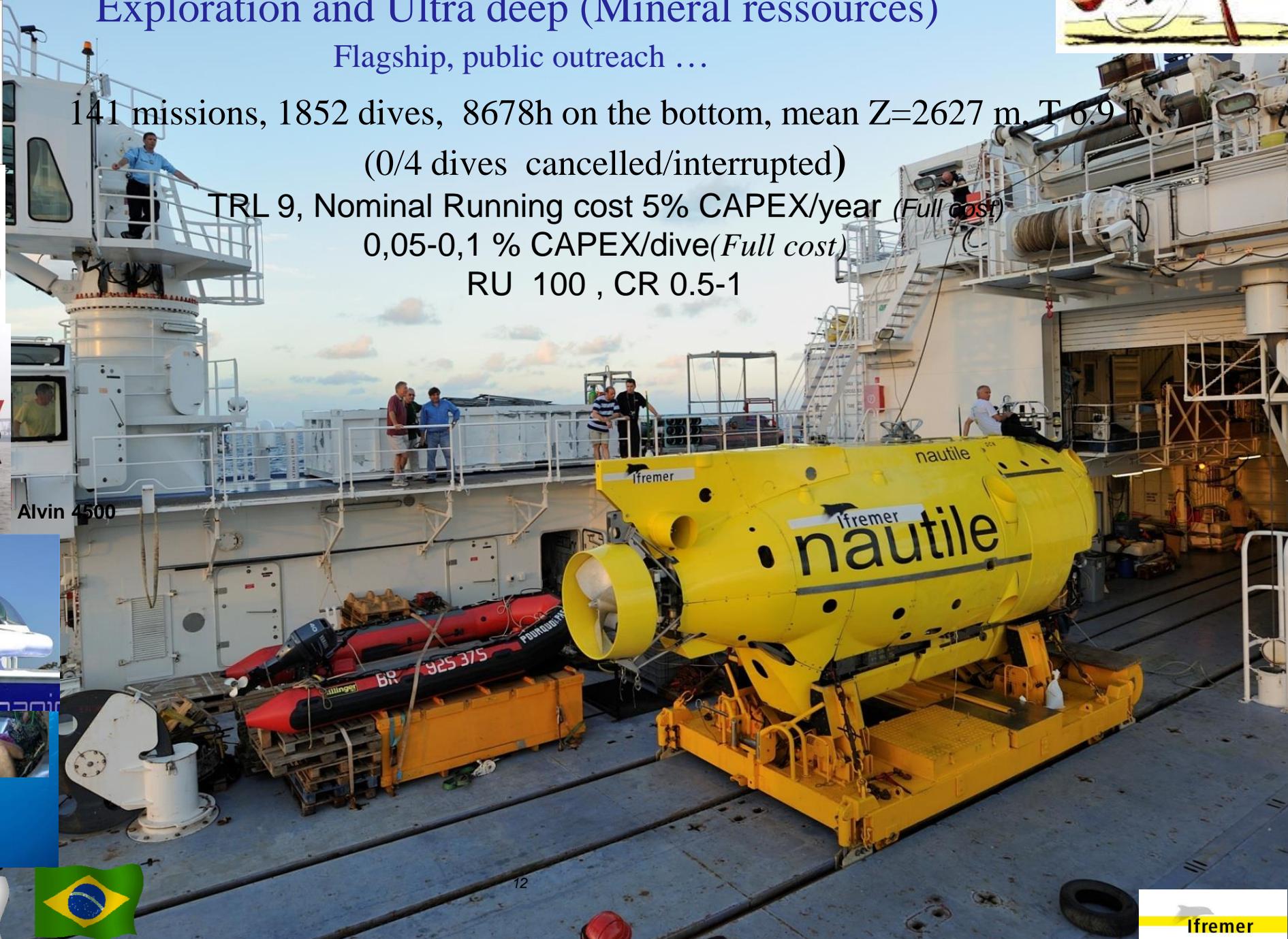
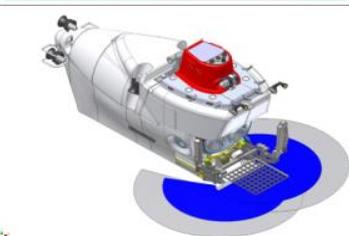
Flagship, public outreach ...

141 missions, 1852 dives, 8678h on the bottom, mean Z=2627 m, T 6.9 h
(0/4 dives cancelled/interrupted)

TRL 9, Nominal Running cost 5% CAPEX/year (Full cost)

0,05-0,1 % CAPEX/dive (Full cost)

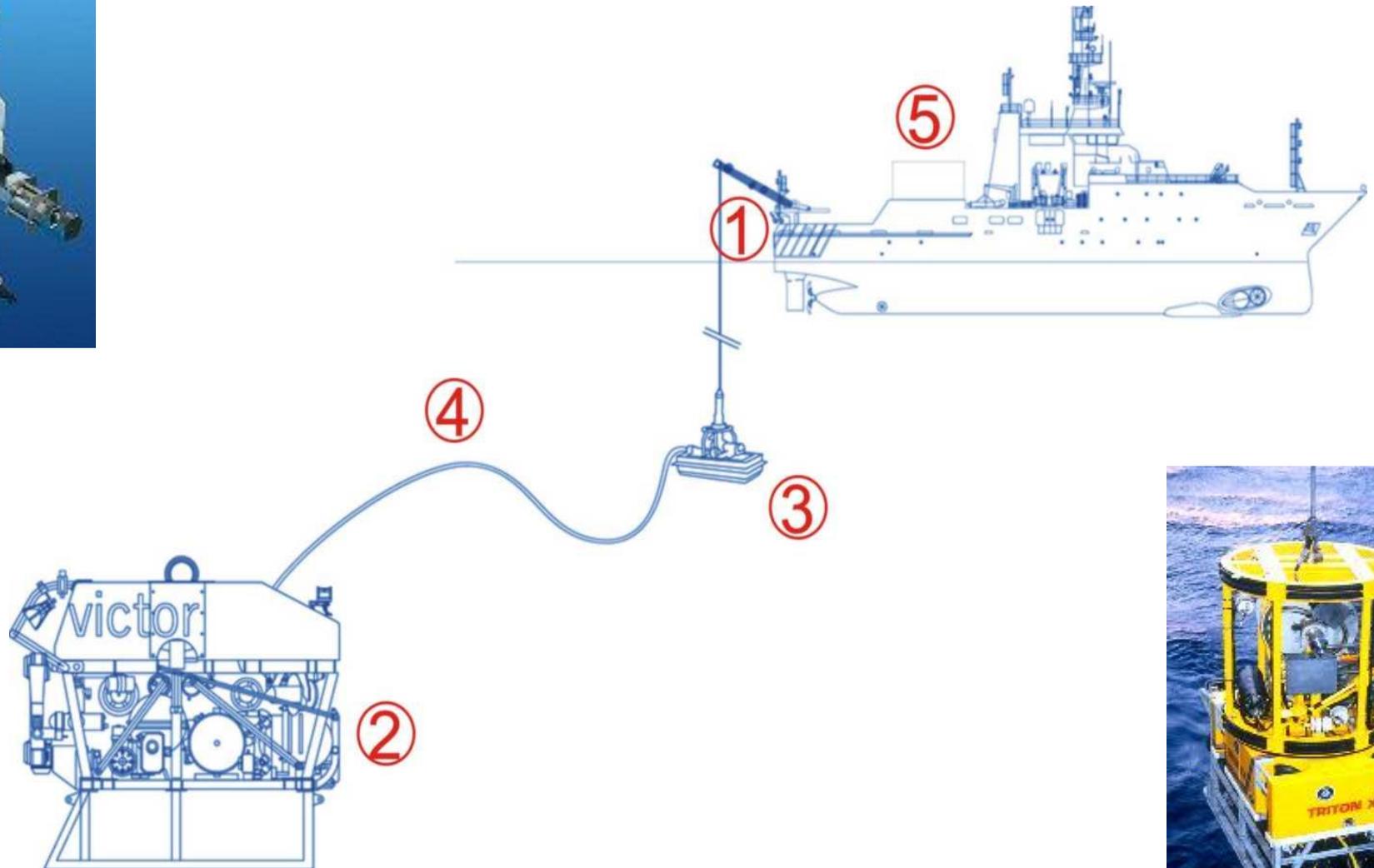
RU 100 , CR 0.5-1



Alvin 4500

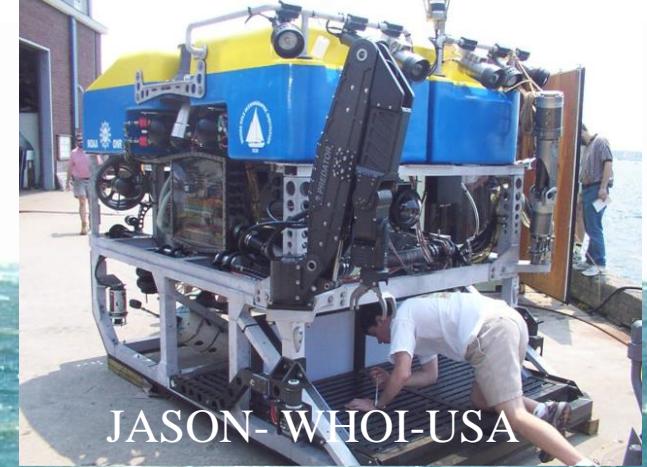


Les systèmes « câblés » « téléopérés » : matures





ISIS-NOC-UK



JASON- WHOI-USA

Deep et ultra deep De 3000 à 11000m

Quest- Bremen
University-Ger



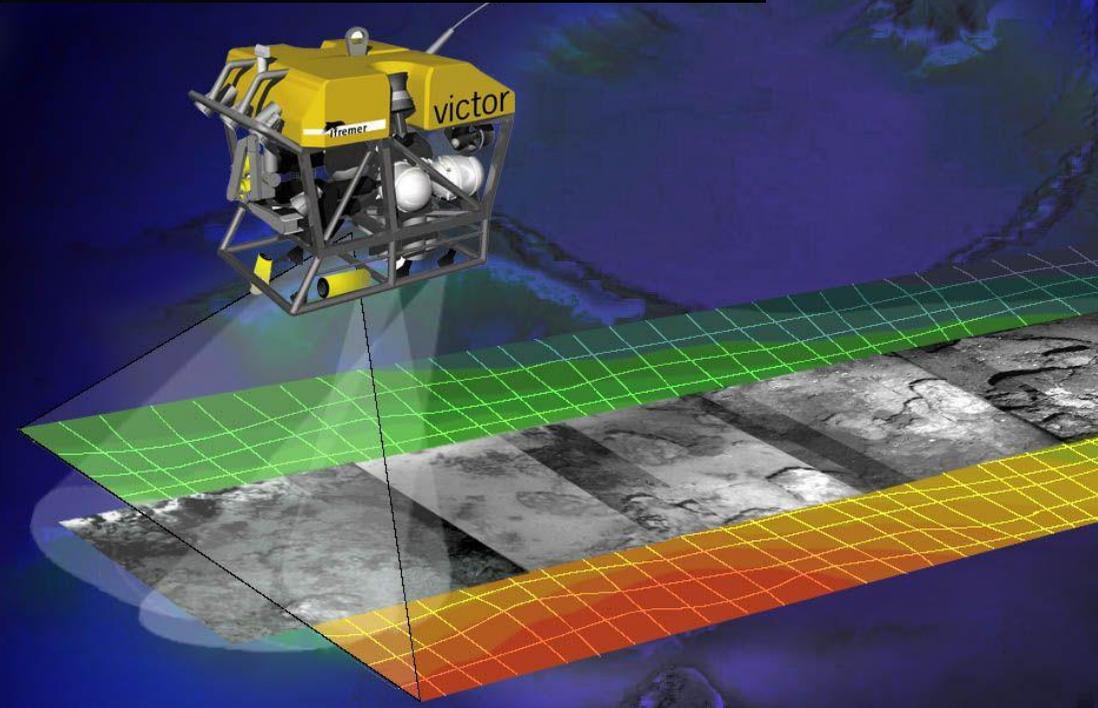
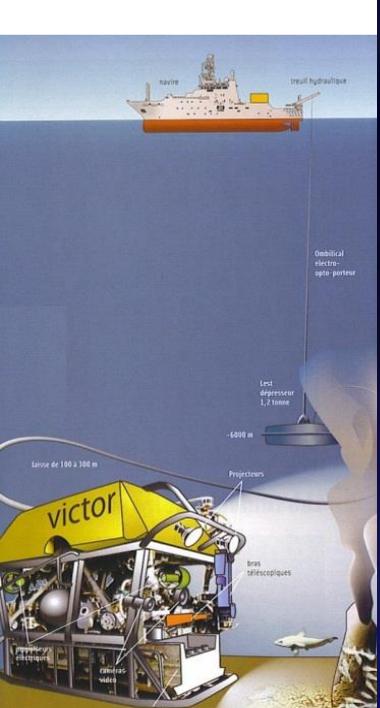
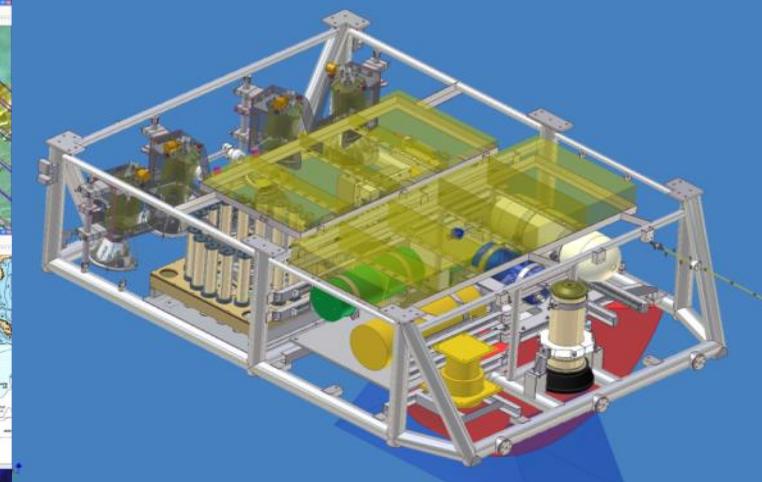
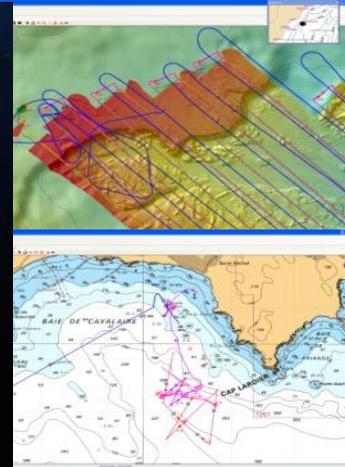
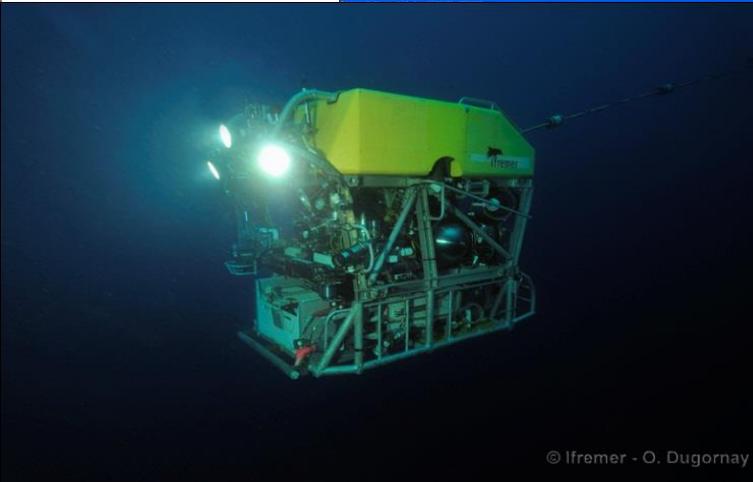
Tiburon MBARI USA

Victor6000

Systeme téléopéré d'intervention profond

Ifremer

Couteau suisse dimensionnant pour le navire
et dimensionné par son cable EOP et son LARS



Victor6000 ROV

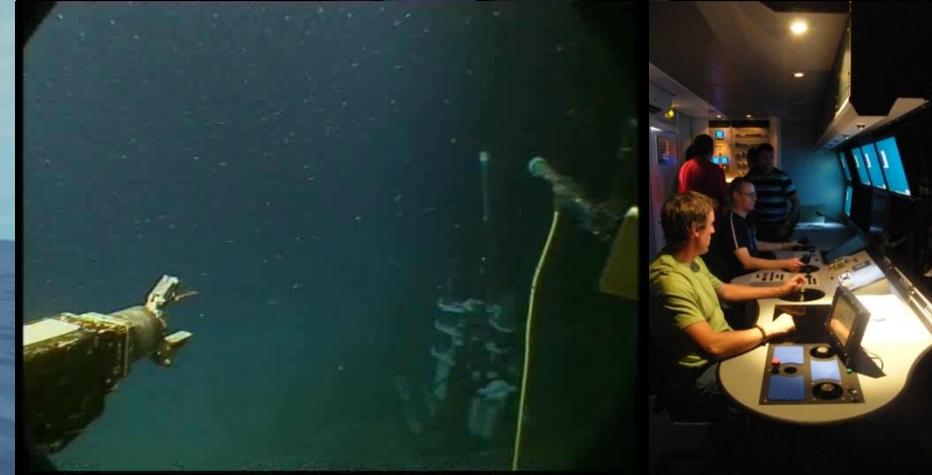
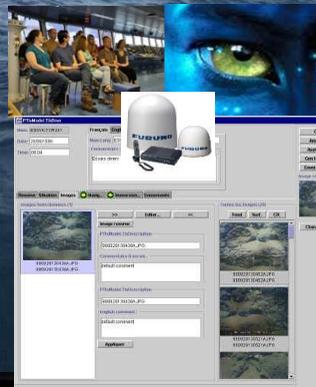
en 16 ans 62 missions, 513 plongées

8300h sur le fond, Zmoyen =2046m, T 19.2h (max 6000/100h) (0/17 plongées annulées/écourtées)

TRL9, RU 100, CR 0,25-0,5 Productivity (PR) 24h/24h

Ifremer

- Ergonomic, efficiency, 8 crews for 24h/24h, flexibility
- Data “services” (Data processing, Telepresence, Telescience)
- Haptic innovative telemanipulation to optimized OPEX
- Instrumental flexibilities (600kgs Scientific Payload)
- Adapted to precise intervention and VHR mapping, HR3D

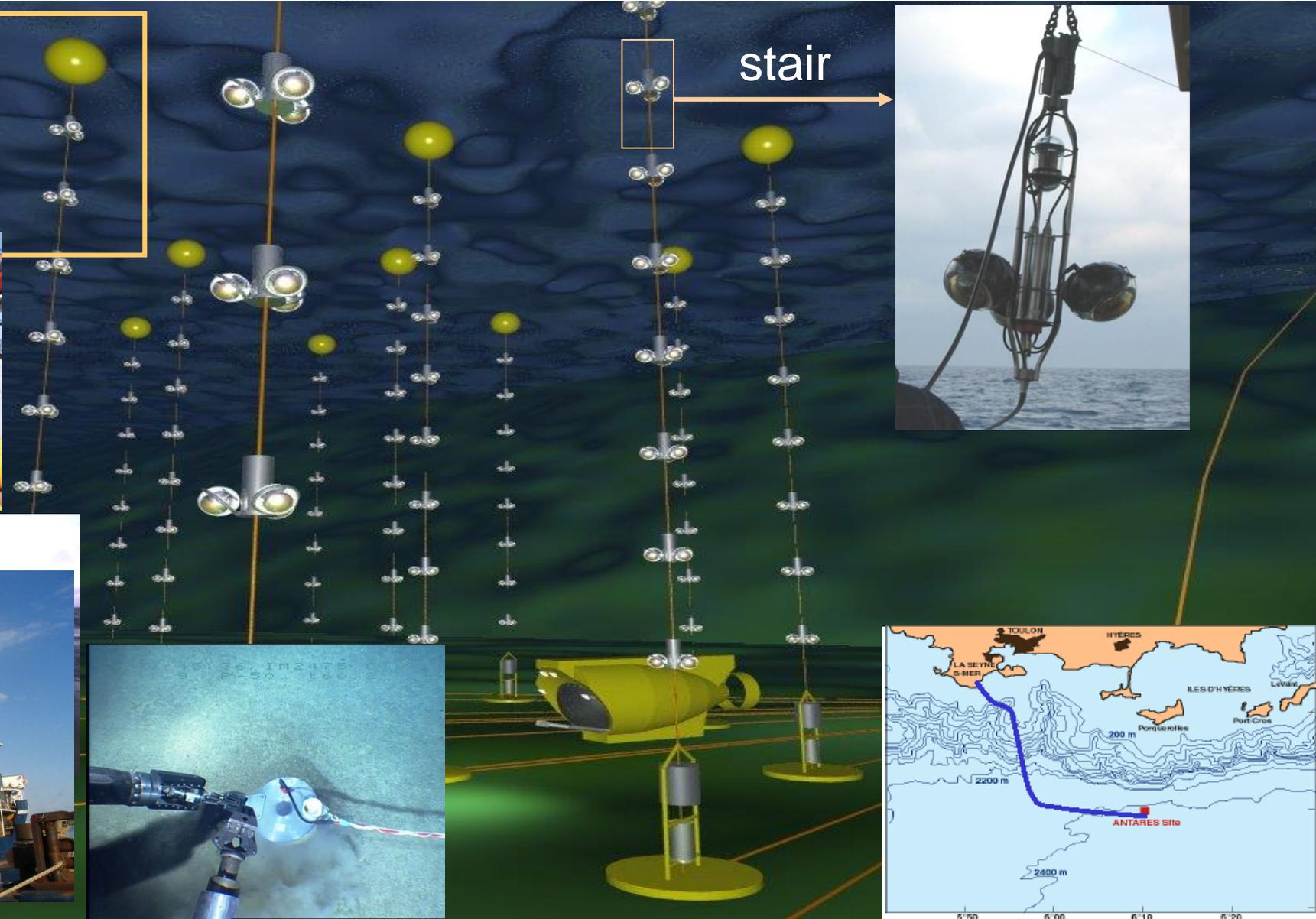
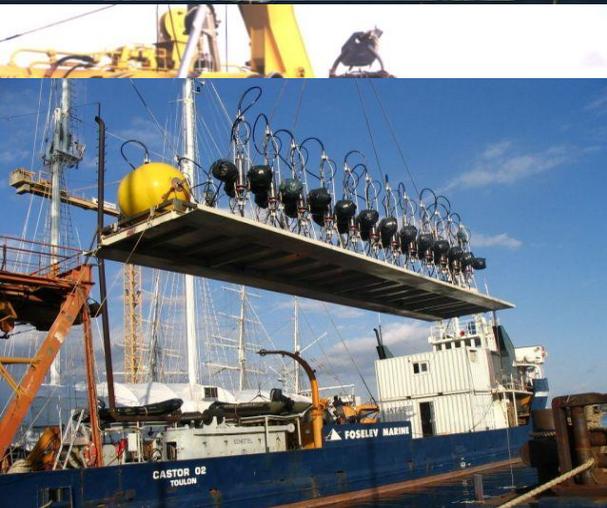


Observatoires sous marins

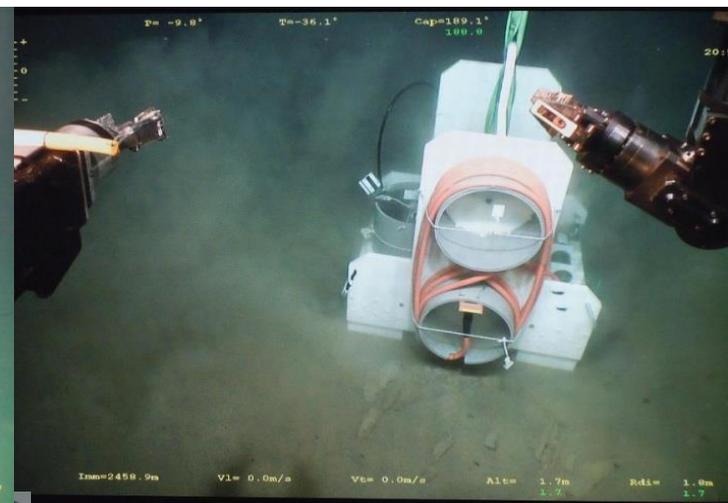
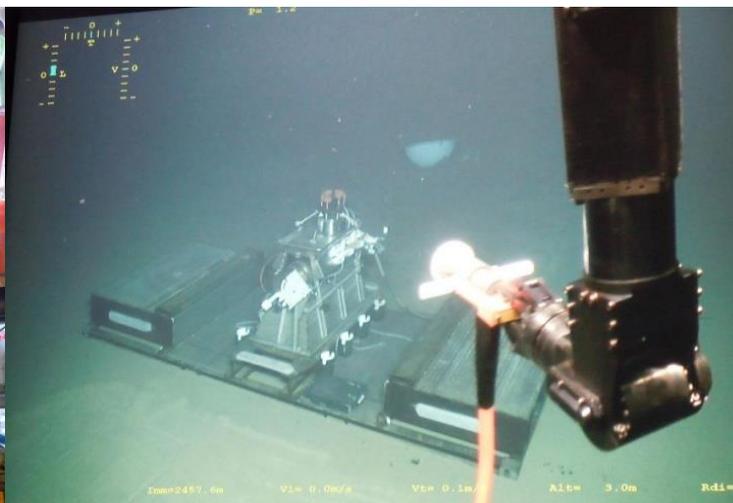
- 900 PMTs
- 12 lines
- 25 stairs / line
- 3 PMTs / stair

OPERATION 2005-03
12 to 14th april 2005

Line 0 and Milom connexion



Observatoires sous marins





Les engins autonomes

Engins autonomes AUV

Une technologie en maturation



AUVs ultra-profond scientifiques

Ifremer

2000

2010

2015

temps



Marine Autonomous Systems Engineering



Semi Autonomous Vehicle for Intervention Missions (SAUVIM)

Hybride, 1 bras
Multi-marchés
Survey Cartographie
+ inspection

National Oceanography Centre



AUV Autosub6000

Autonomie 36h
Marché Sciences
Cartographie haute résolution

Monterey Bay Aquarium Research Institute - MBARI



AUV Dorado seafloor mapping

Autonomie 12,5h, Batterie Li-P
Cartographie haute résolution
Marché Sciences



AUV Benthic Rover

Hybride avec docking system,
prélèvements scientifique
Marchés Sciences, Seabed mining

National Oceanography Centre



Autosub Long Range

Autonomie 4400h (6mois)
Marché Sciences
Survey (Cartographie haute résolution), vitesse très réduite, hibernation au fonds (6 mois)



MIT



Odyssey IV
Autonomie 8h
Marchés Sciences
survey



Technische Universität Berlin



AUV DNS PEGEL

Sciences : démonstrateur technologique



Fraunhofer IOSB



Deep Diving Autonomous Underwater Vehicle For Exploration "DeDAVE"

Autonomie 10h
Sciences : démonstrateur technologique
Cartographie, maximisation de la charge utile



Woods Hole Oceanographic Institution - WHOI



AUV SeaBED

Autonomie 8-24h
Marchés Sciences, O&G, Cable
Survey Cartographie,
utilisation arctique



Autonomous Benthic Explorer (ABE)

Autonomie 20h, 11000m
Marché Sciences
perdu en mer



HROV Nereus : Autonomie 14-20h

Hybride AUV pour surfaces étendues / ROV pour l'inspection de proximité des fonds, 1 bras manipulateur, 11000m
Marché Sciences : perdu en mer

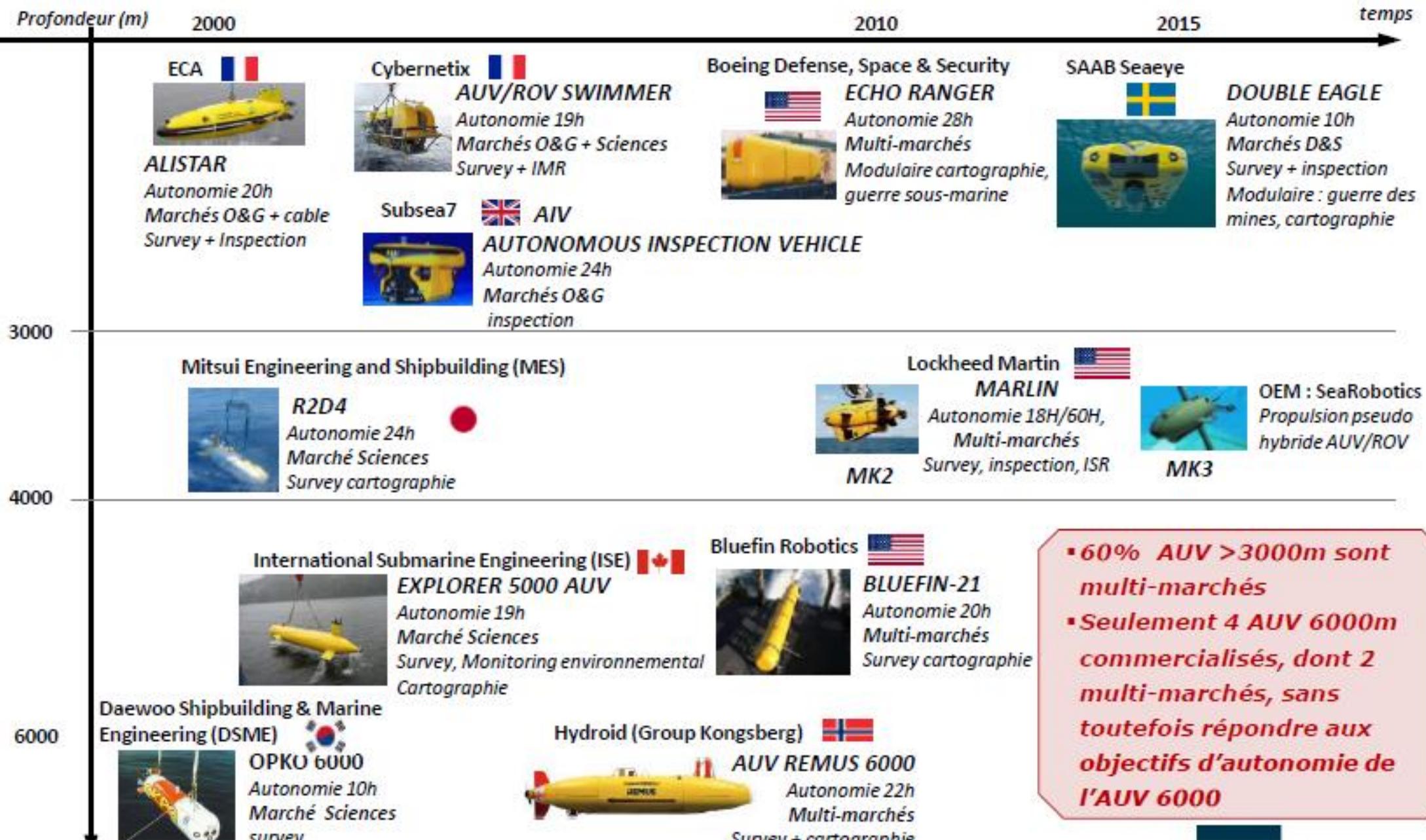
- Seuls 3 types d'AUV référencés sont multi-marchés
- Seuls les Autosub6000 et Long Range (applications scientifiquement uniquement), répondent aux conditions d'autonomie, de profondeur et de missions de l'AUV6000

6000

11000m

AUVs ultra-profonds industriels

Ifremer



▪ 60% AUV >3000m sont multi-marchés

▪ Seulement 4 AUV 6000m commercialisés, dont 2 multi-marchés, sans toutefois répondre aux objectifs d'autonomie de l'AUV 6000

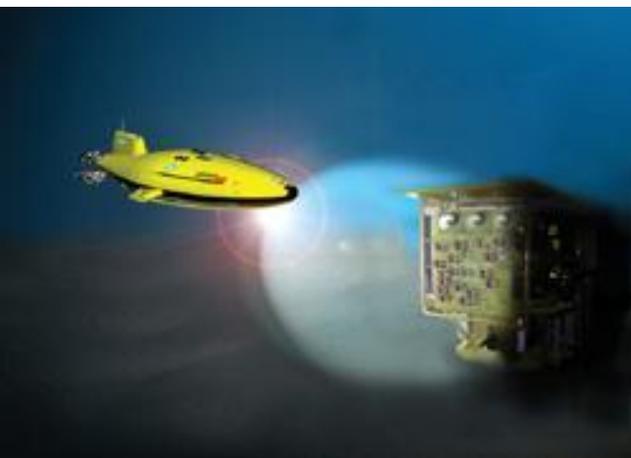
AUVs de « Survey » matures mais spécialisés sur missions « simples »

AUVs d'inspections « démontrés » sur cas simples **Ifremer**

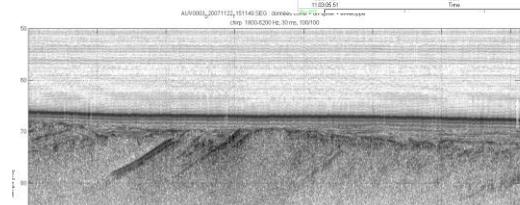
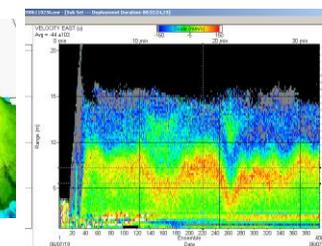
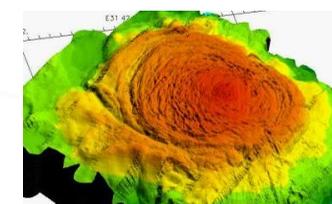
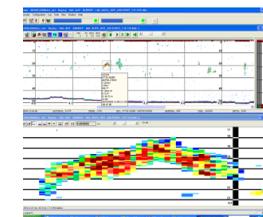
Encore plus automatés qu'intelligents

TRL 8-9, RU 70-100, CR 0,1-1, OPEX Optimisé

Alistar ECA



aster^X & idef^X



DCNS

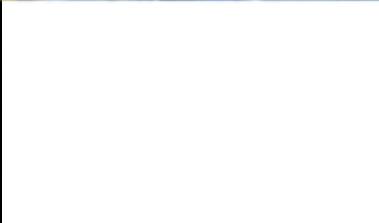
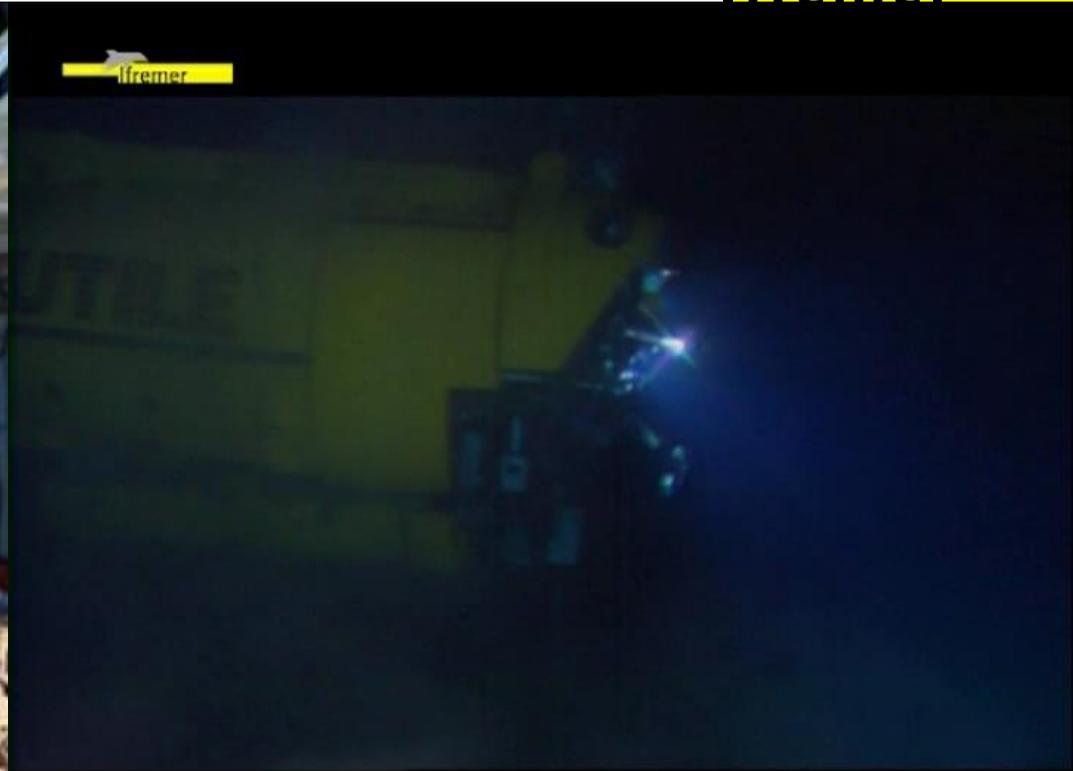
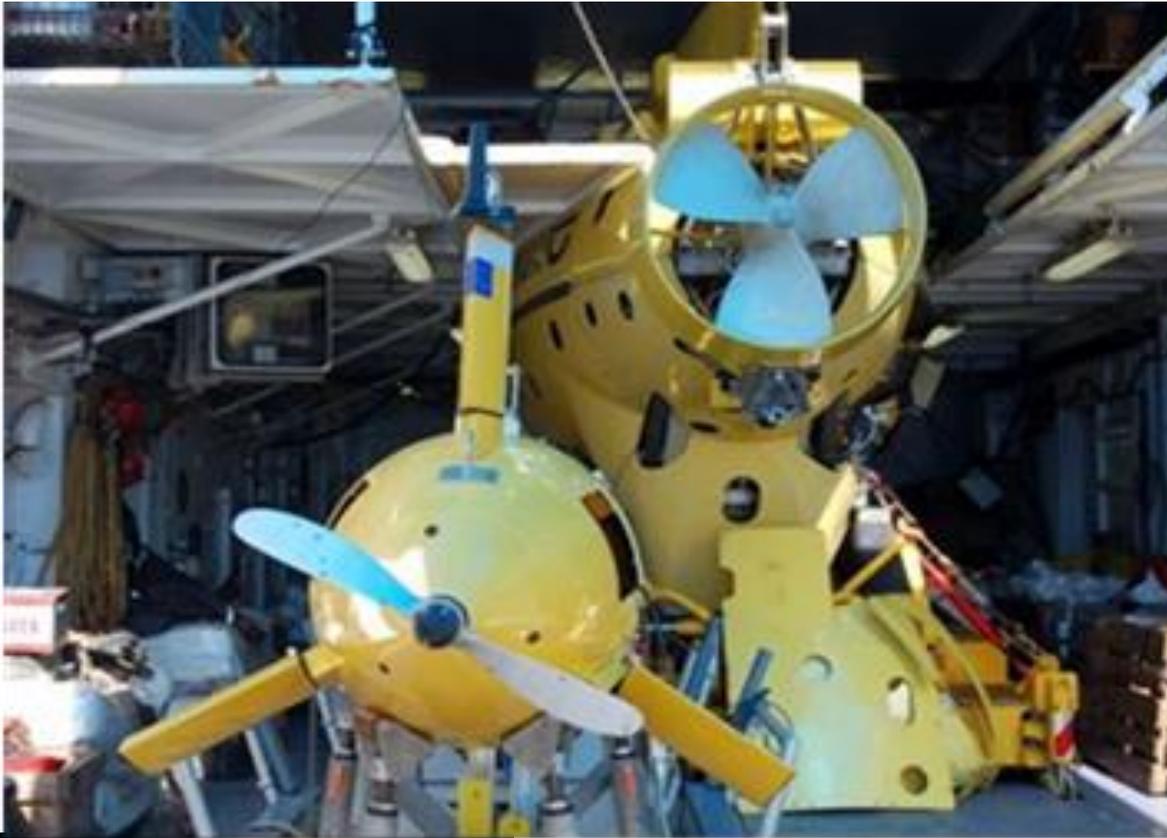


Docking

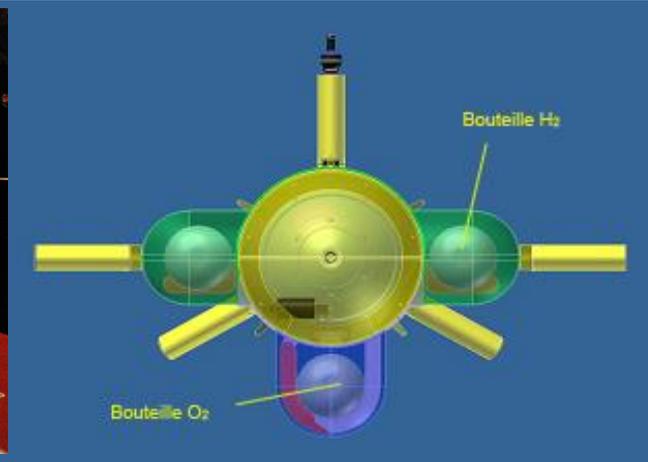
Images et montage : Jean-Philippe Prissette

Systemes habités et robots complémentaires

Ifremer



Autonomie innovation : Pile à combustible H₂/O₂, 300km



Gliders - H Gliders- Partenariat/licences

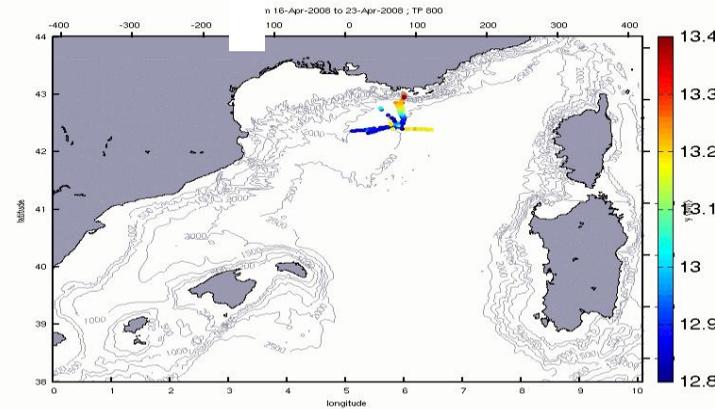
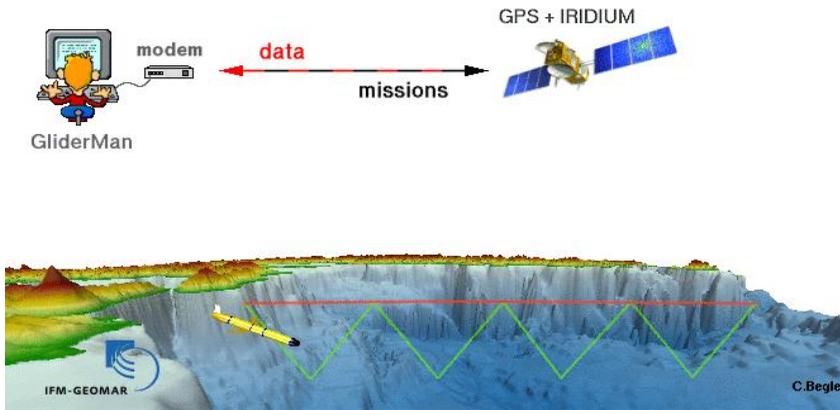
Spécialisés, Efficaces, encore Supervisés et « Fiabilisables

OPEX – le système tactique est encore trop “humain”!

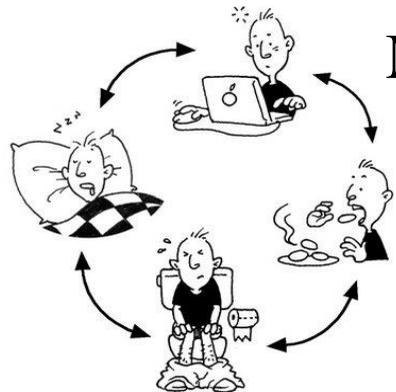
ACSA

ALCEN

lfremer



Man-Brain- Power



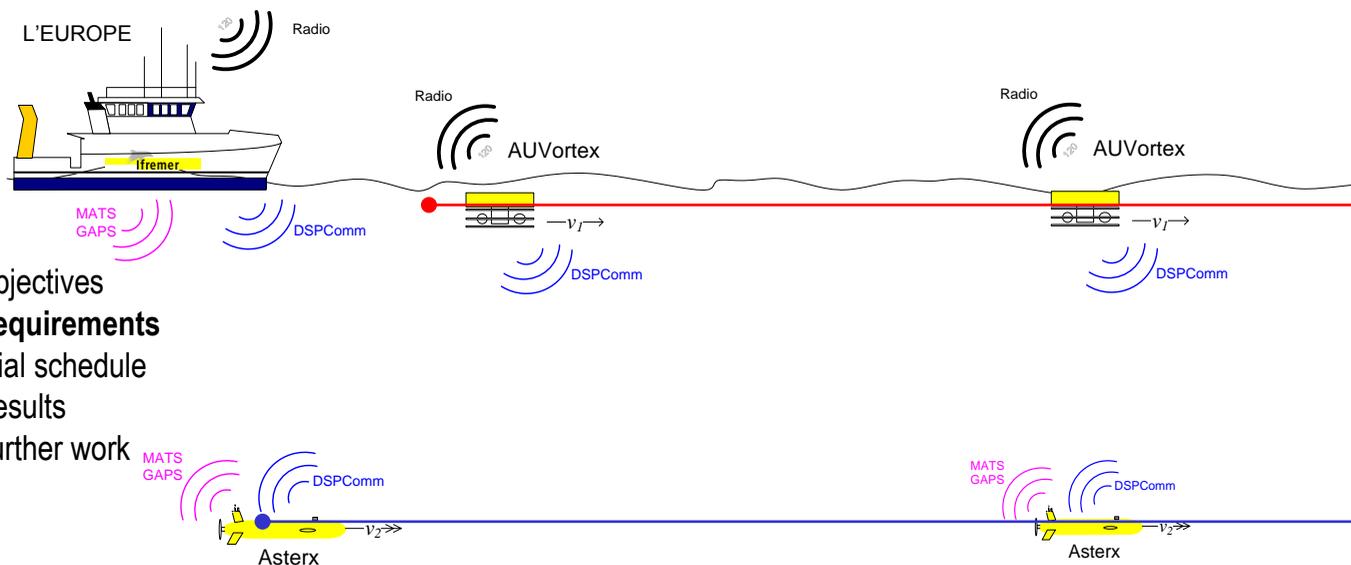
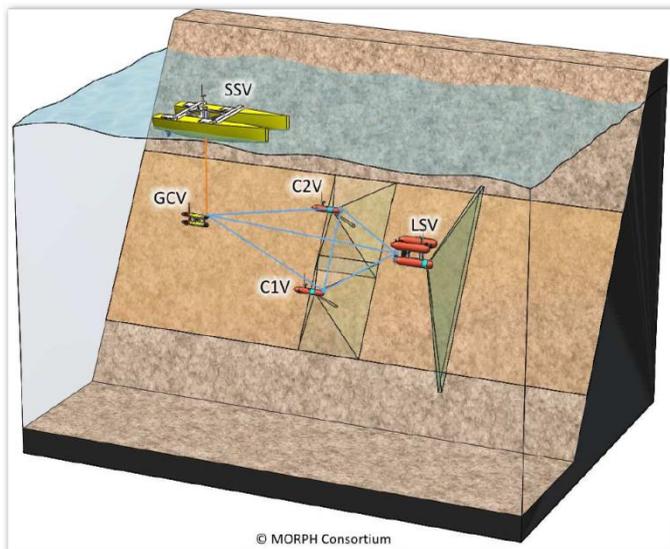
Confid

Flottes et escadrilles



EU Morph Project

Spatial/temporal optimization with glider



- Objectives
- Requirements
- Trial schedule
- Results
- Further work

Communication and relays

Cooperative behaviour

AUV d'Intervention, Hybride , Résident/ « Persistant » Swimmer/ALIVE/AIV/Wally/Alistar, AutosubLR .Ifremer

TRL(3-7) vs OPEX Optimisé vs Risques

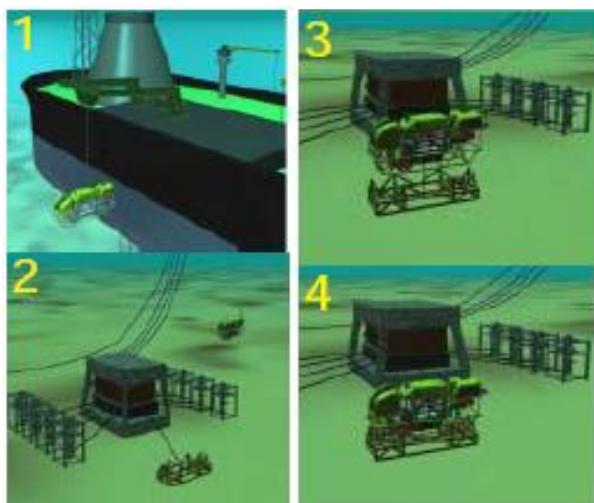
Maturité du marché? *Changer le modèle est délicat!*



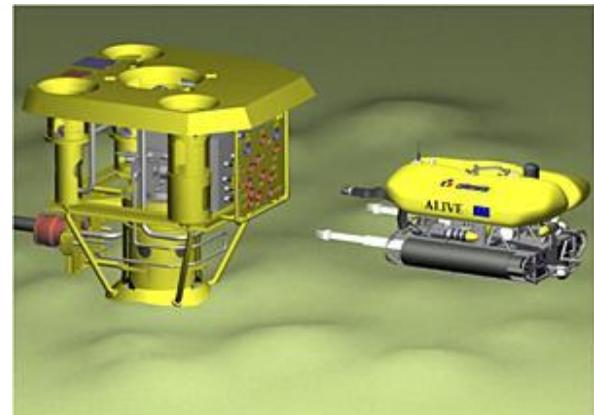
«I want to be sure you will not loose the control close to my manifold!»

«I have to optimised my asset, with my existing ROVs and/or my Supplies»

«Time is a non linear constraint»- «Time to Market» Lewis Carroll before A. Einstein



Swimmer



Alive

ion formelle d'Ifremer



systemes autonomes AUV: des atouts nationaux

Références mondiales, « vallée de la mort »
et « success stories »

Ifremer



SWIMMER –intervention HAUV
« autonomous docking »

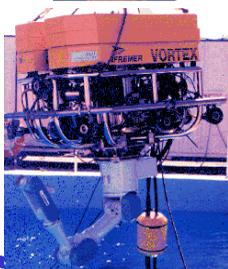


ALIVE-
Intervention AUV

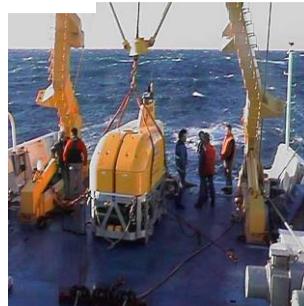
Glider/Hglider



Intervention AUV
Vortex/Union



SIRENE – Inspection
AUV



RandD

operational

1980

1991

1998

2001

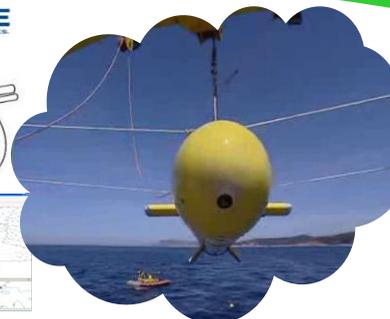
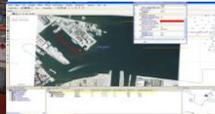
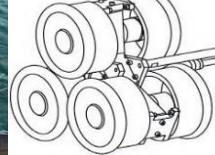
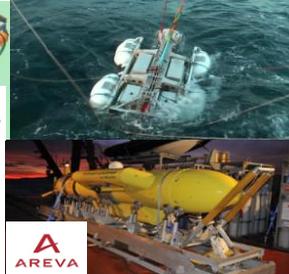
2003

2004

2013

2016

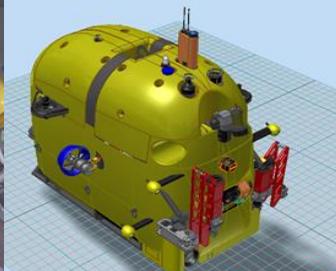
EPAULARD



Survey AUVs
asterX & idex



HROV



Valorisations systemes/sous systemes/
capacités

Confidentiel ne pas diffuser sans autorisation formelle d'Ifremer

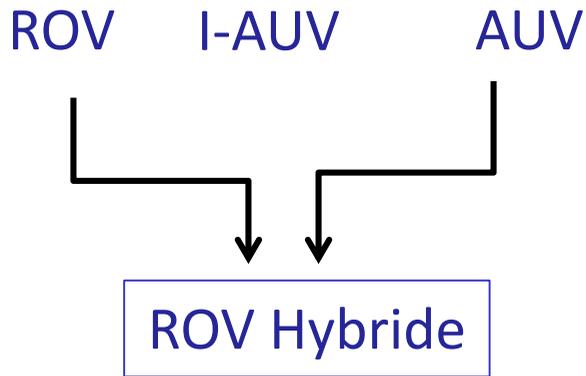


Systeme hybride HROV Ariane

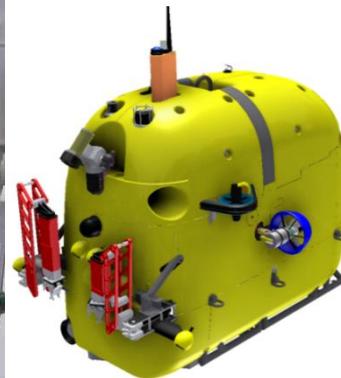
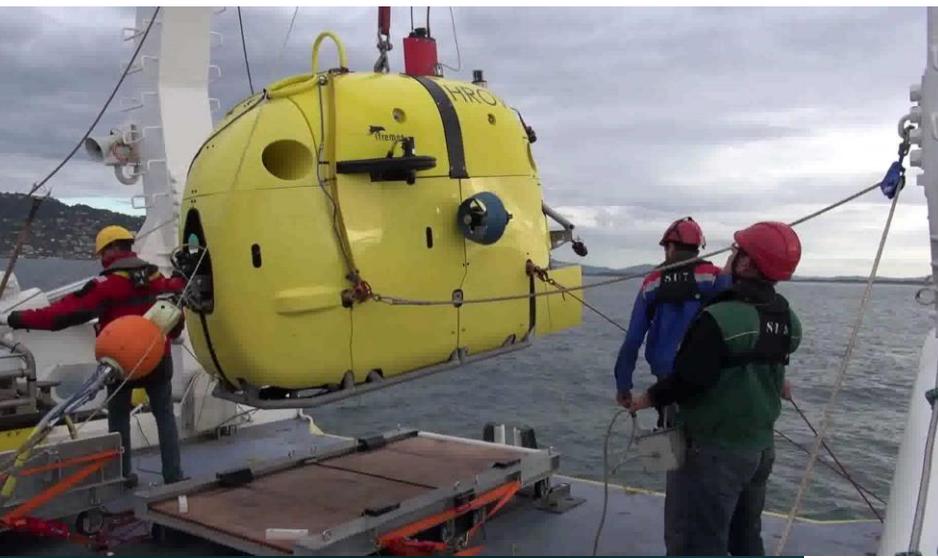
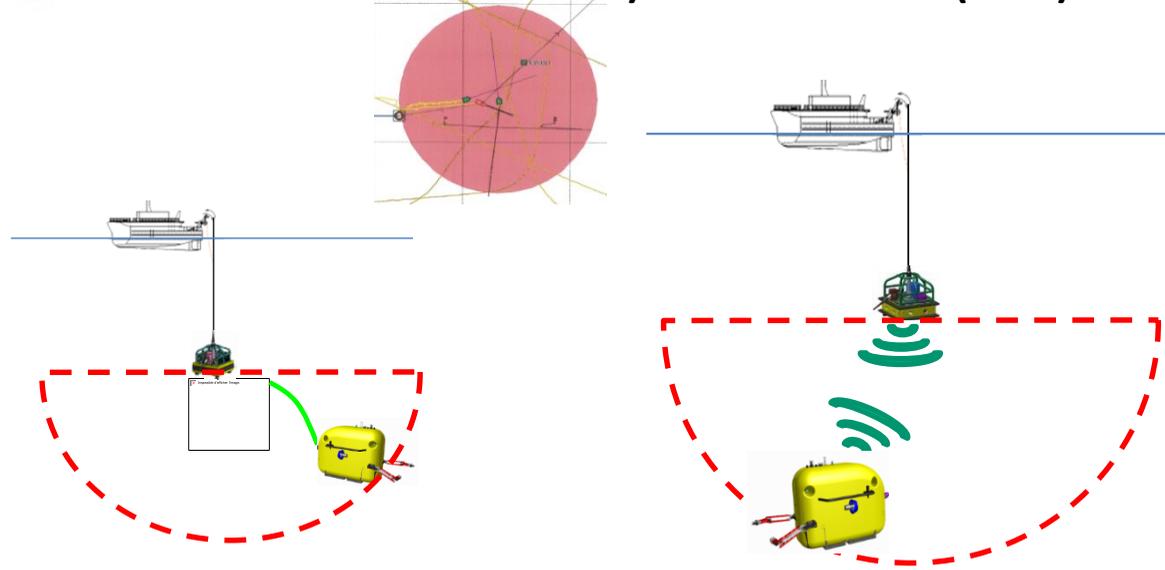
Une nouvelle generation d'engins sous-marins

HROV : Un engin autonome et téléopéré de cartographie et d'intervention par fibre optique

Ifremer
OPEX optimisé par l'usage de navires non spécialisés sans DP



HROV = véhicule à batterie « déployable » en :
Mode télé-opéré (ROV) ou autonome (AUV)



Innovation Ifremer : Brevet gestion de la fibre optique Ifremer



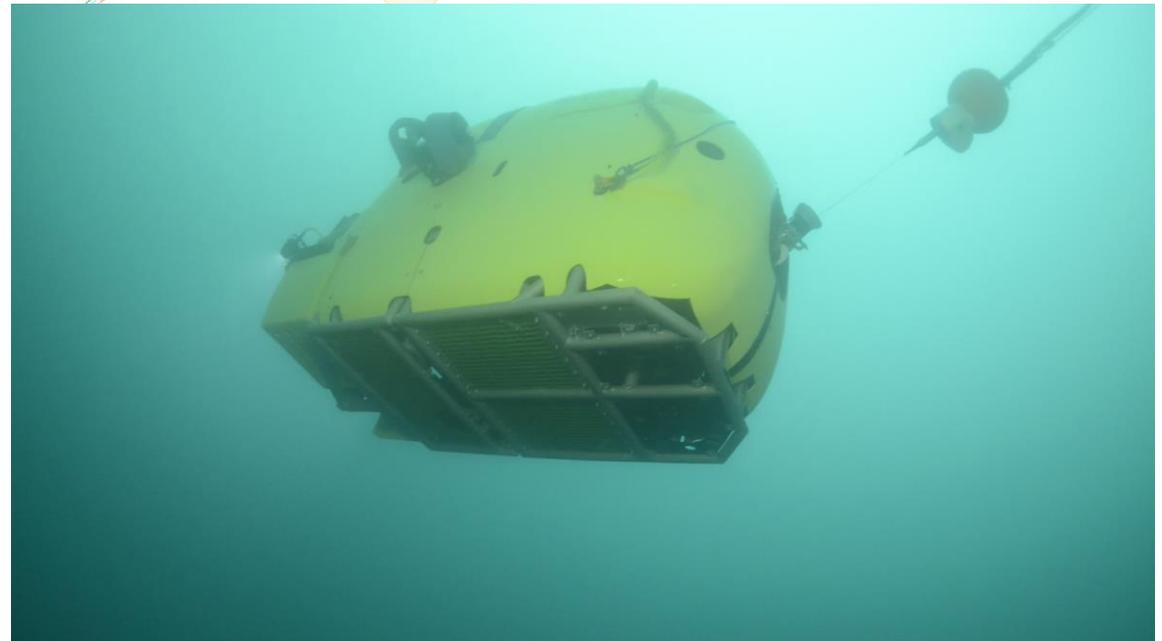
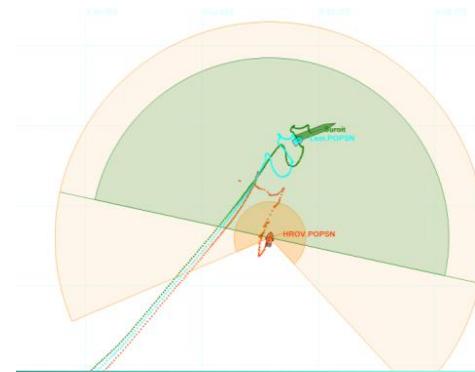
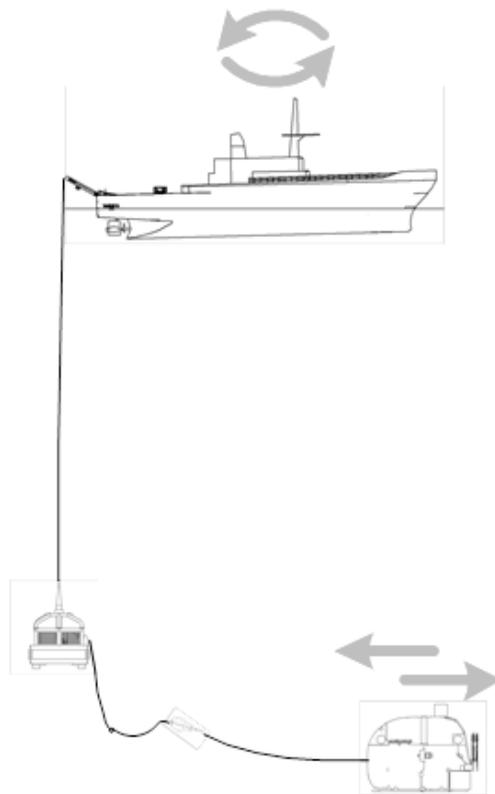
Essai en bassin à Brest (mai 2014)

Innovation Ifremer : gestion de la fibre optique

Ifremer

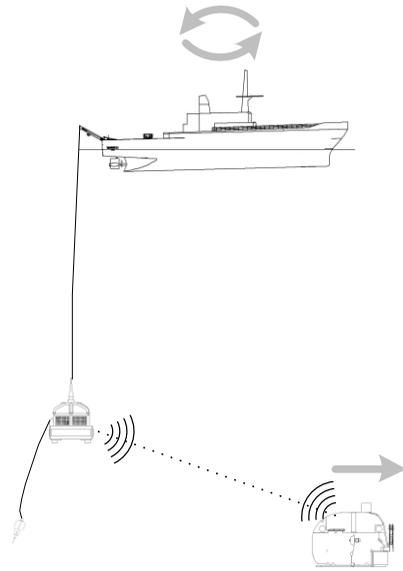
Absence de positionnement dynamique navire

- Adaptation de la longueur de la fibre optique en fonction des déplacements du navire et du HROV
- Le navire doit rester dans une zone de 300m autour de la position du HROV

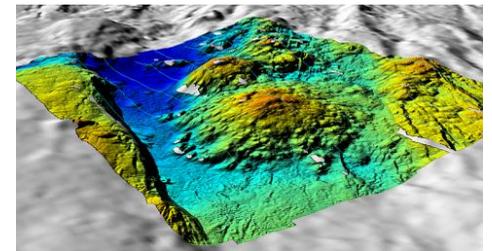


Le mode autonome

Ifremer



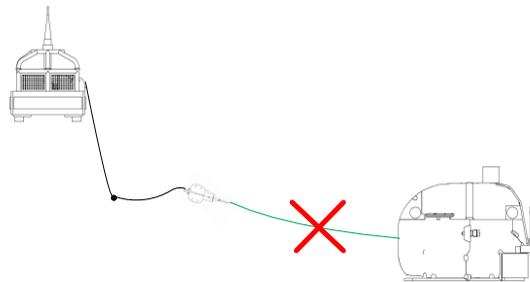
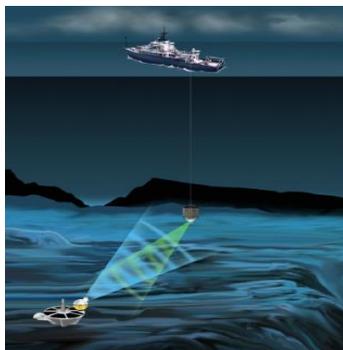
- Intelligence embarquée : réalisation de plongées préprogrammées
- Pas de fibre optique
- Communication navire/Ariane par acoustique ou optique (LIFI like)



Mode autonome adaptée pour les missions de survey :

- ✓ Cartographie acoustique (sondeur multi-faisceaux)
- ✓ Cartographie optique (appareil photo numérique)

Mode de secours en cas de défaillance du mode téléopéré



Le ROV Hybride Ariane

Ifremer



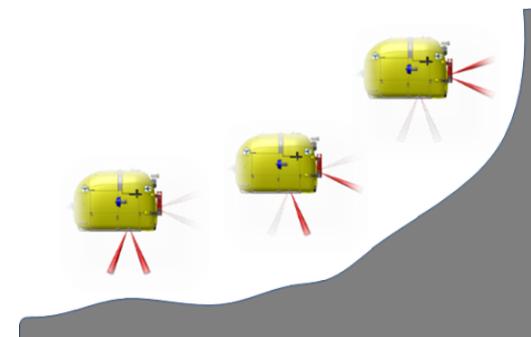
Masse : 1,8 tonnes dont 200kg de charge utile

Propulsion principale orientable + Propulsion auxiliaire verticale et transversale

→ Vitesse : 0-2,2 nœuds

→ Très bonne manœuvrabilité

→ Capacité de travail sur zone accidentée (falaise, canyon...)



Le Pilotage du HROV

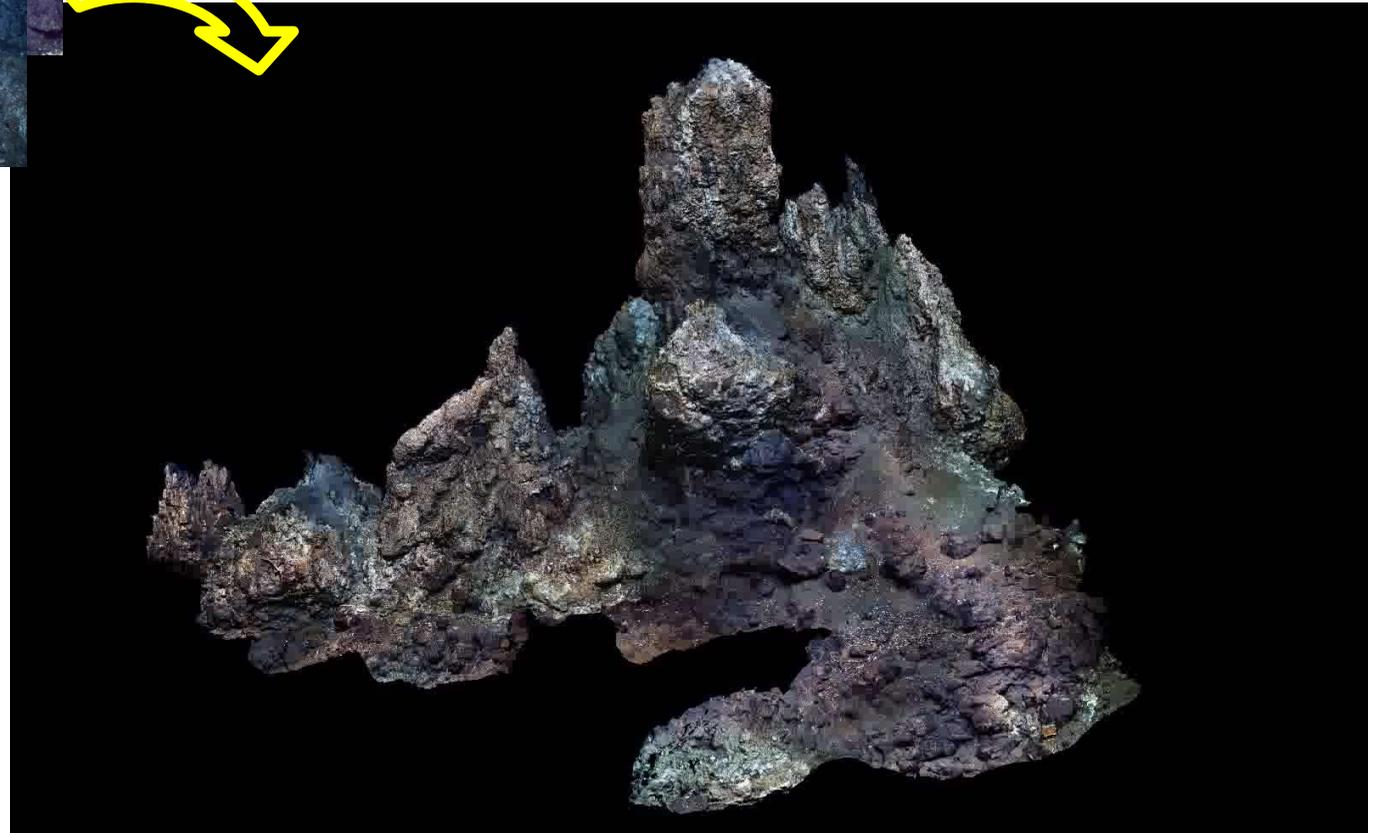
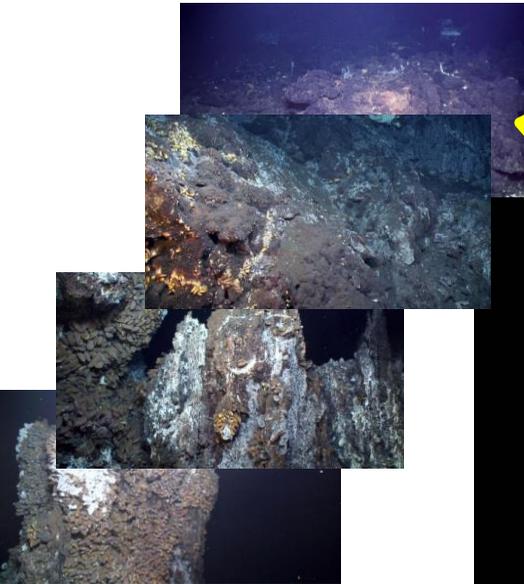
Ifremer



Les fonctions scientifiques du HROV Ariane

Charge utile optique

Ifremer



Drones de surface :USV , ASV Civils et militaires



Le principal enjeu n'est pas technologique mais réglementaire
COLREG,SOLAS,MARPOL etc... Police du Plan d'eau, Escorte ...



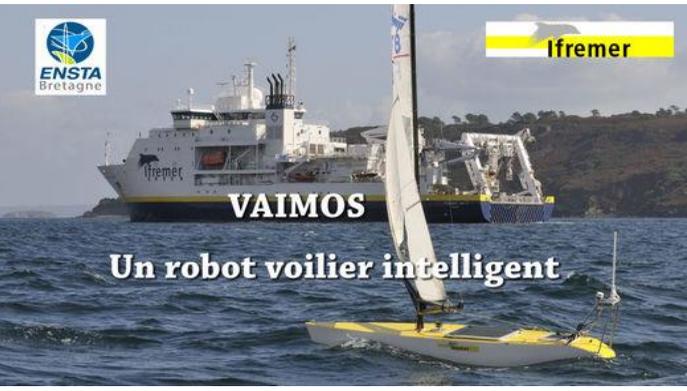
Mobesens



Fleet Basil2
16h00/CU-80kg

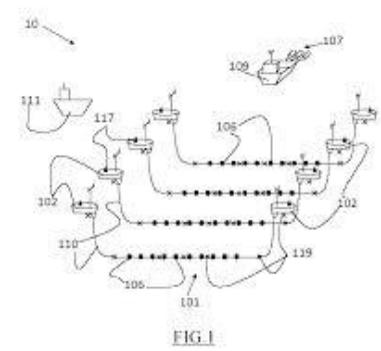
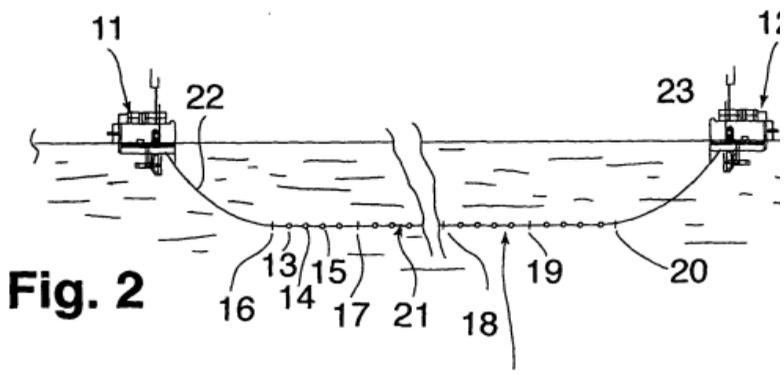


Hybrid: Basil I
200h00/CU-20kg

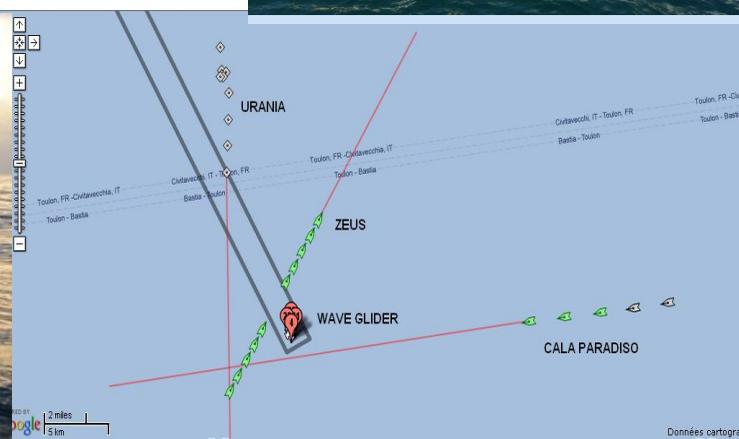


Un robot voilier intelligent

Drones tracteurs
de flute
(Kietta):
USV swarm



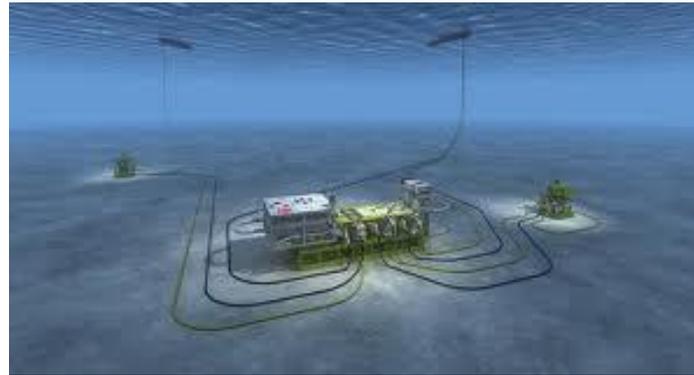
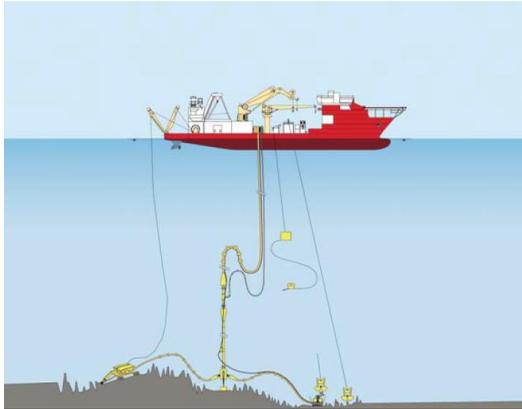
Wave Glider(s)
success stories !
Virtual mooring?



New key issues for new fields

Ifremer

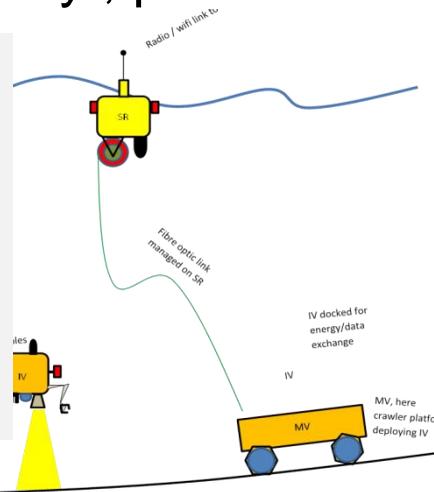
Applications



Mineral resources evaluation/exploitation ,renewable energy, Long range survey underice
And new tools/systems with more reliability , performances and autonomy



UAV :all-electric eXperimental Fuel Cell
Unmanned Aerial System (XFC)





Ifremer

Nos entrailles ! Des Machines et des hommes



Optimisation des produits et des services

