



**HAL**  
open science

# Etat des lieux en robotique marine et sous-marine. Cas particulier de la commande des mini-véhicules sous-marins.

Vincent Creuze

► **To cite this version:**

Vincent Creuze. Etat des lieux en robotique marine et sous-marine. Cas particulier de la commande des mini-véhicules sous-marins.. JNRR: Journées Nationales de la Recherche en Robotique, Oct 2013, Annecy, France. lirmm-00877524

**HAL Id: lirmm-00877524**

**<https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00877524v1>**

Submitted on 28 Oct 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Etat des lieux en robotique marine et sous-marine

## Cas particulier de la commande des mini-véhicules sous-marins

Vincent Creuze (MCF), LIRMM, Montpellier  
Animateur axe robotique marine et sous-marine du GT2



Laboratoire  
Informatique  
Robotique  
Microélectronique  
Montpellier

# Types de robots marins et applications

ROV

crawler

AUV

glider

bio-insp

ASV

## ROV : Remotely Operated Vehicle

- télé-opéré, partiellement automatisé
- observation ou manipulation (workclass)



Observer, Subsea Tech



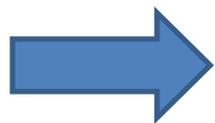
L2ROV, LIRMM



H2000, ECA Hytec



Victor 6000, Ifremer



industrie offshore, inspection,  
science, déminage...



K-Ster MineKiller, ECA

# Types de robots marins et applications

ROV

crawler

AUV

glider

bio-insp

ASV

**Crawler** : véhicule à chenilles/roues et propulseurs

- Uniquement télé-opéré



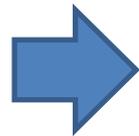
AC-CELL 100, AC-CESS



LBC, Seabotix



Roving BAT, ECA Hytec



Inspection/nettoyage : canalisation, coque, riser.  
Enfouissement de câbles, exploitation minière.



SeabedCrawler, Nautilus Minerals,  
Australie

# Types de robots marins et applications

ROV

crawler

AUV

glider

bio-insp

ASV

## AUV : Autonomous Underwater Vehicle

- entièrement autonome
- observation (vidéo, sonar), mesure, océanographie, déminage



AstrX et IdefX, IFREMER



Daurade, ECA/GESMA



Remus, HYDROID



Sardine, Lab-STICC/ENSTA Bretagne



Aquatis, ESIEA



Lirmia 2, LAFMIA/LIRMM

# Types de robots marins et applications

ROV

crawler

AUV

glider

bio-insp

ASV

## Glider : Planeur sous-marin à flottabilité variable

- Autonomie accrue, comm. sat. en surface
- Océanographie



Slocum glider, Teledyne / WHOI

Record Atlantique, 2011



1KA Seaglider, iRobot



SeaExplorer, ACSA

# Types de robots marins et applications

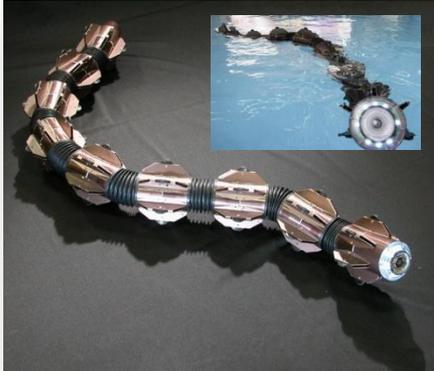


## Bio-inspirés

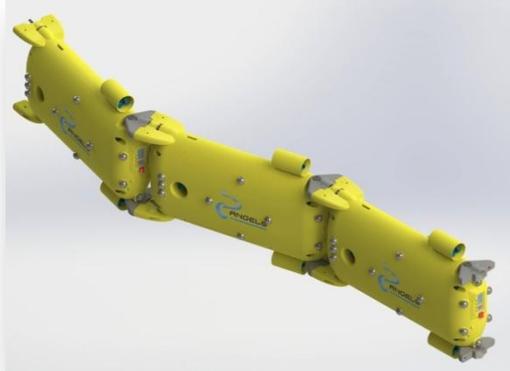
- Méduses, poissons, anguilles/serpents



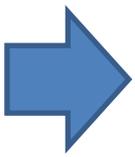
Aquajelly, Festo



ACM-R5, Tokyo Inst. of Tech.



Angels, IRCCyN/Mines de Nantes



Ludique/esthétique,  
militaire (terre/eau),  
modulaire



Crabster CR200, KIOST, Corée



Jessiko, Robotswim

# Types de robots marins et applications



## ASV : Autonomous Surface Vehicle

- Propulsion: moteur, vent, houle



Inspector, ECA



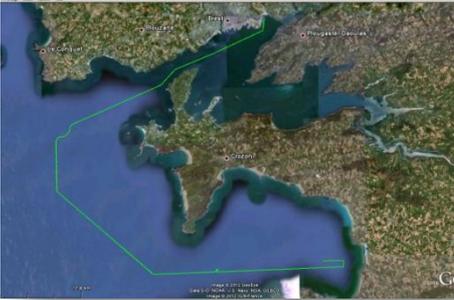
Vaimos, ENSTA Bretagne/Ifremer



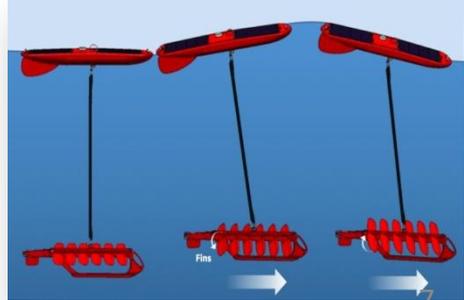
PacX wave glider, Liquid Robotics



défense,  
océanographie,  
climatologie



Brest-Douarnenez, 2012



# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

logiciel

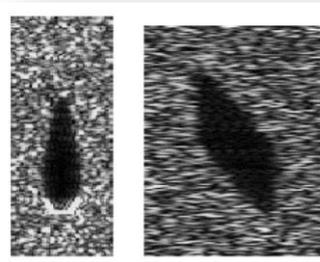
Communication

Swarm

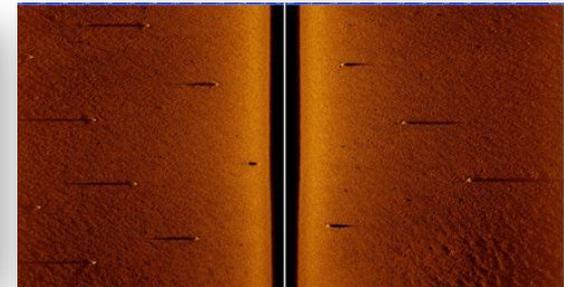
Commande

## Acoustique (sonar)

- Caractérisation de cible, évitement d'obstacle, suivi de structures (pipeline, coque)
  - segmentation, reconnaissance de formes
  - méthodes probabilistes
  - reconstruction 3D



Mine (I. Quidu, ENSTA)



Détection de mines par sonar latéral

## ➔ Difficultés et verrous

- progrès fortement contraints par la technologie
- faible fiabilité / précision

# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

logiciel

Communication

Swarm

Commande

## Vision

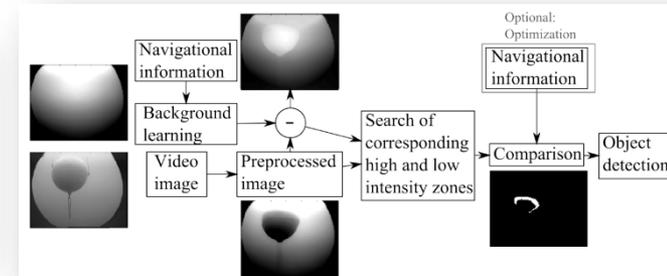
- Caractérisation de cible, suivi de structures
  - reconnaissance de formes
  - reconstruction 3D



Reconstruction 3D, LIRMM



Mine



Détection de mine, ISEN

## ➔ Difficultés et verrous

- Turbidité, absorption des couleurs, éclairage
- Méthodes terrestres inadaptées (SIFT...)

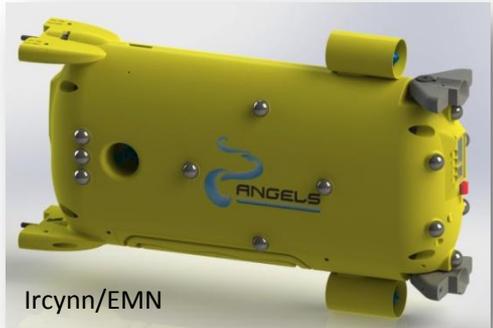
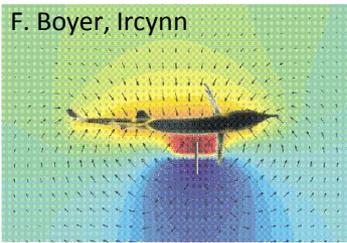


Détection de mine, I3S

# Problématiques scientifiques associées



## Bio-inspirée

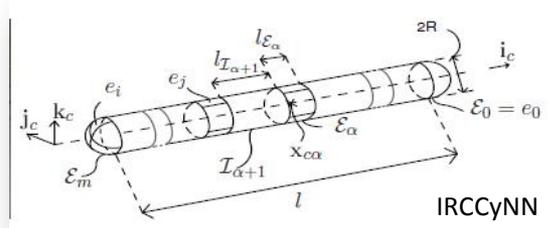


- Électro-location

- création d'un champ électrique
- mesure des déformations du champ
- détection des obstacles conducteurs ou non.

➔ Difficultés et verrous

- Modélisation
- Etendre la communauté



# Problématiques scientifiques associées

Perception

**SLAM**

logiciel

Communication

Swarm

Commande

- SLAM, principalement sur petits véhicules pour:
  - borner les erreurs de positionnement
  - garantir la couverture sonar complète d'une zone (déminage)

## ➔ Difficultés et verrous

- Faible résolution des images sonar
- Peu d'amers, différents selon point de vue

# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

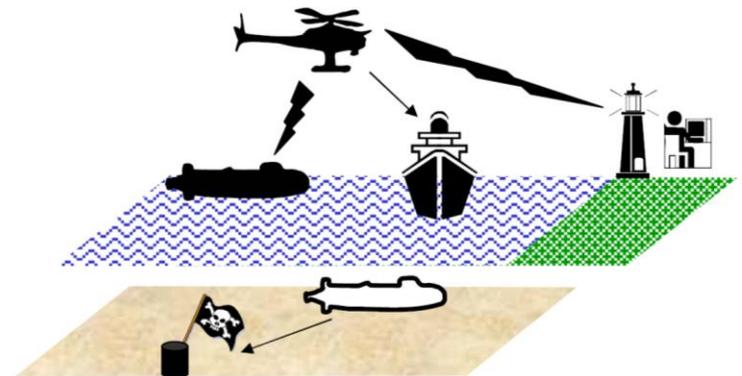
**Logiciel**

Communication

Swarm

Commande

- **Autonomie décisionnelle et sûreté de fonctionnement**
  - Architecture logicielle distribuée permettant de faire coopérer une flottille hétérogène.
  - Supervision
  - Replanification de mission
  - Architecture tolérante aux fautes



PEA Action, ONERA/LAAS/DGA

# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

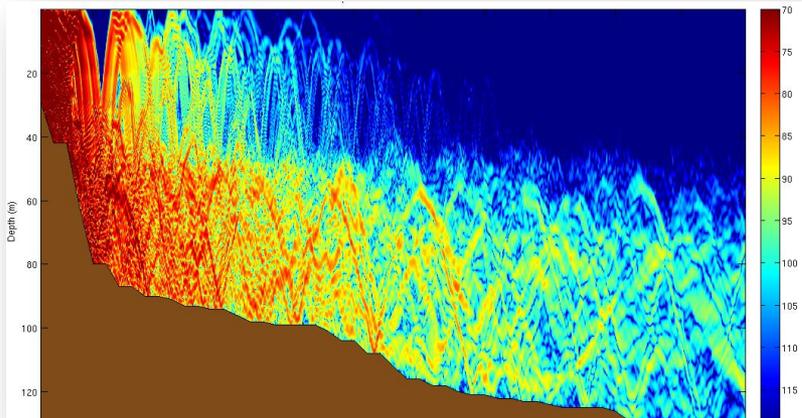
logiciel

Communication

Swarm

Commande

- Indispensable pour la mise en œuvre de flottilles
  - ➔ Difficultés et verrous
    - Diffraction, réfraction, atténuation, réflexions
    - Très faibles débits (de qqes octets/s à qqes ko/s)
    - Utiliser de nouvelles modulations



Simulations de réfractions et réflexions sous-marines, NURC



Interférences acoustiques

# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

logiciel

Communication

**Swarm**

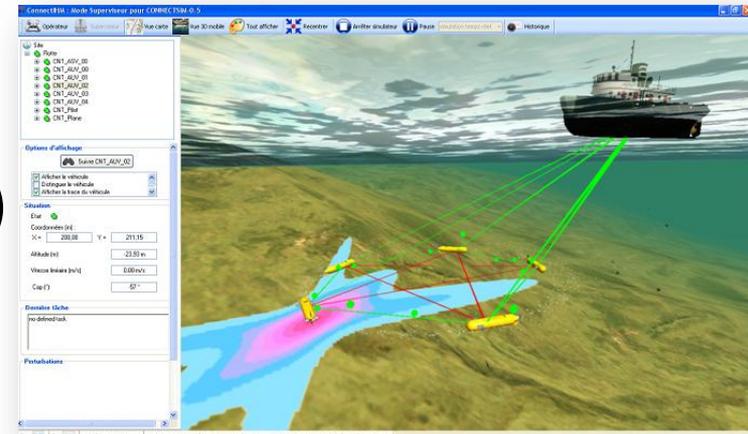
Commande

- **Swarm = meute ou flottille**

- Accélérer l'exploration d'une zone (déminage)
- Saisir simultanément les aspects temporels et géographiques d'un phénomène
- Porter des instruments complémentaires
- Coordonner un ASV et un AUV, améliorer le positionnement et relayer l'information

➔ **Difficultés et verrous**

- Communications (qui?, quand?)
- Perte d'un des membres
- Planification des trajectoires
- Mise en œuvre...



MASIM – Connect, Robotsoft / GIPSA Lab

# Problématiques scientifiques associées

Perception

SLAM

logiciel

Communication

Swarm

Commande

Les très petits véhicules sous-marins (<30kg) disposent d'un rapport puissance/poids très grand.

Leur faible inertie les rends plus sensibles aux :

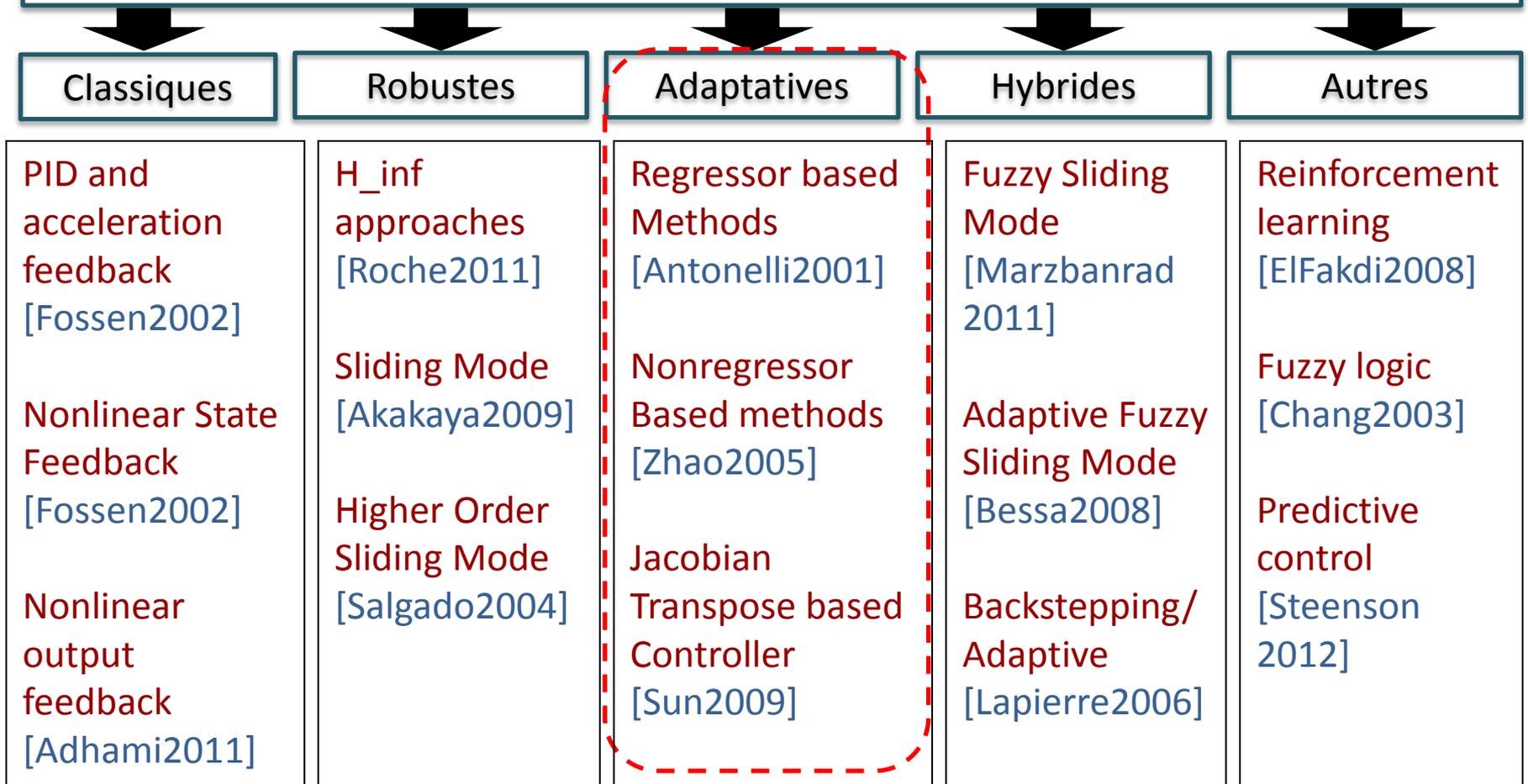
- perturbations (ombilical, tourbillons...)
- variations des paramètres du modèle (capteur embarqué, salinité)
- effets dynamiques et gyroscopiques des moteurs



Les approches classiques (PID, retour d'état...) ne suffisent plus.

# Etat de l'art

## Principales commandes utilisées pour les robots sous-marins



# Commandes adaptatives classiques

Efficaces, mais:

- les paramètres à estimer doivent être bien initialisés
- on doit choisir entre robustesse et rapidité

Il faudrait découpler adaptation et robustesse

- très grands gains d'adaptation
- rapidité de convergence des paramètres
- paramètres initialisés à 0

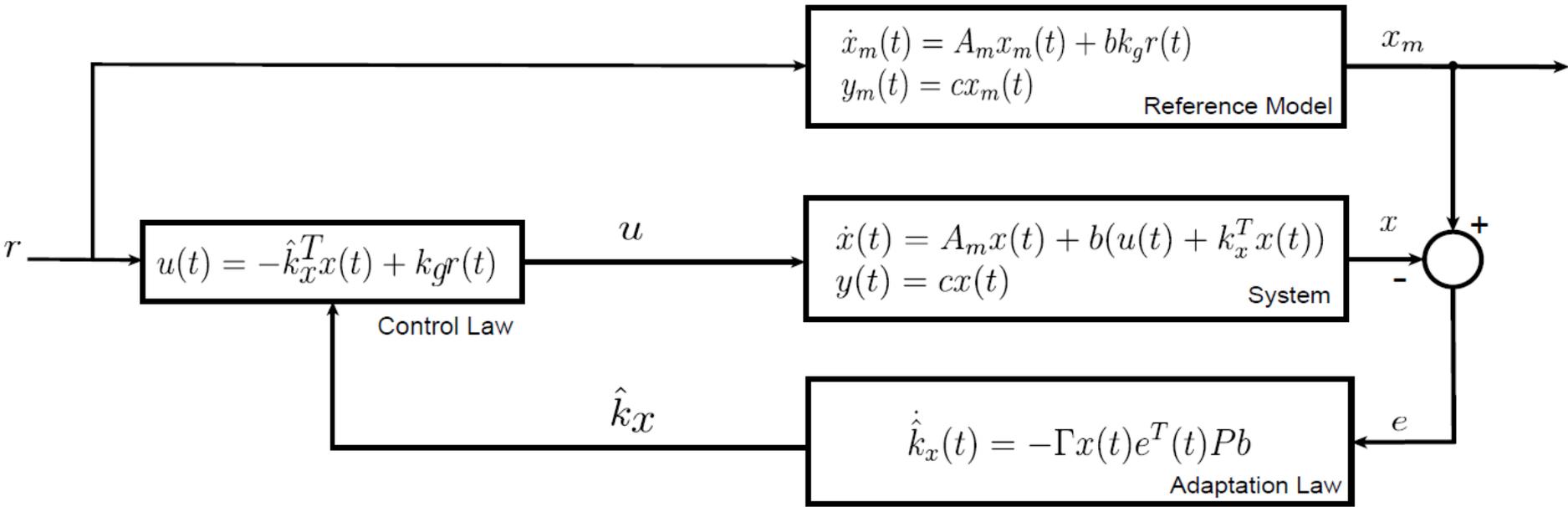


commande adaptative L1

# Commande adaptative L1 [Hovakimyan 2010]

Les origines...

Direct MRAC (Model Reference Adaptive Controller)

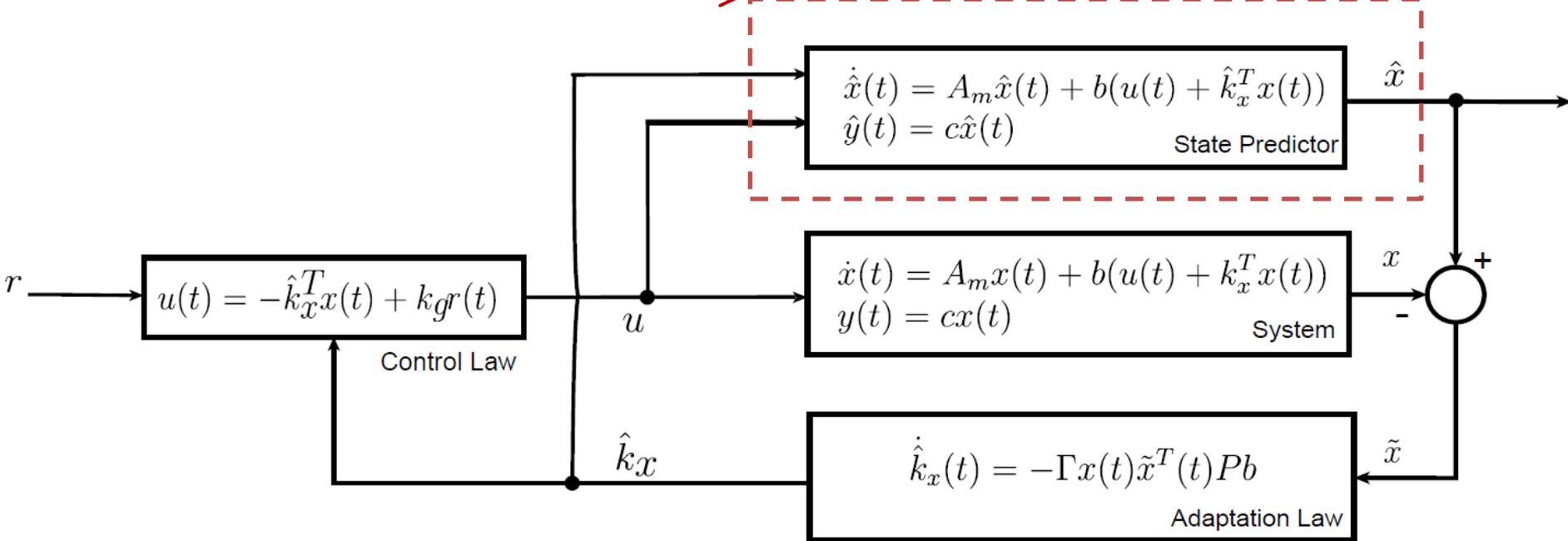


avec  $k_g = \frac{-1}{c A_m^{-1} b}$

# Commande adaptative L1 [Hovakimyan 2010]

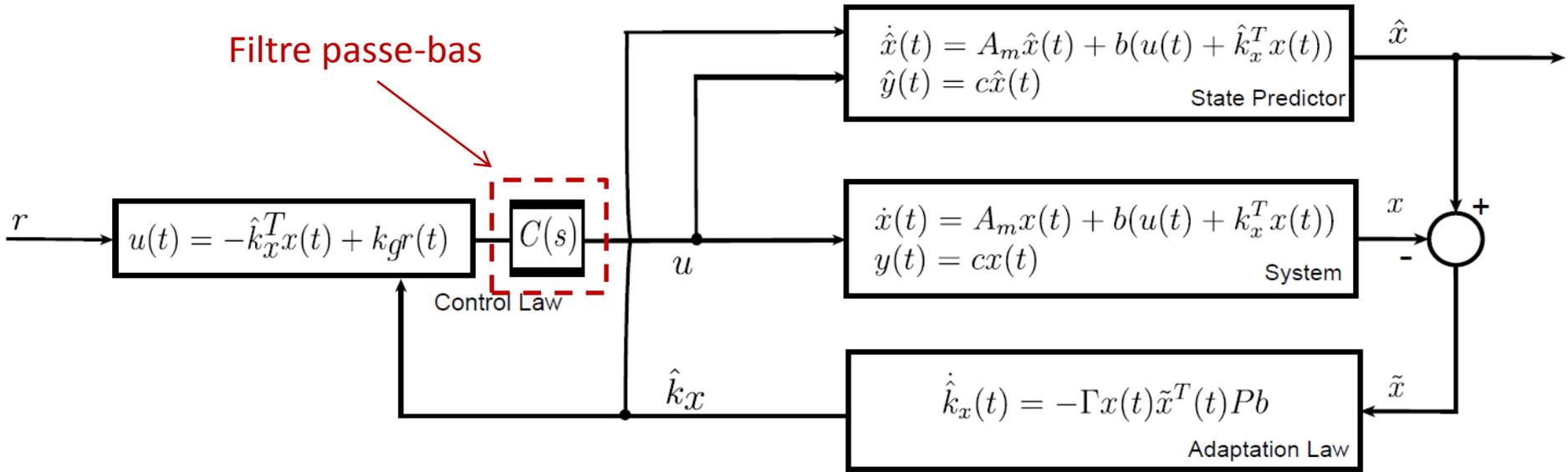
Les origines...

Direct MRAC (Model Reference Adaptive Controller)  
avec estimateur d'état



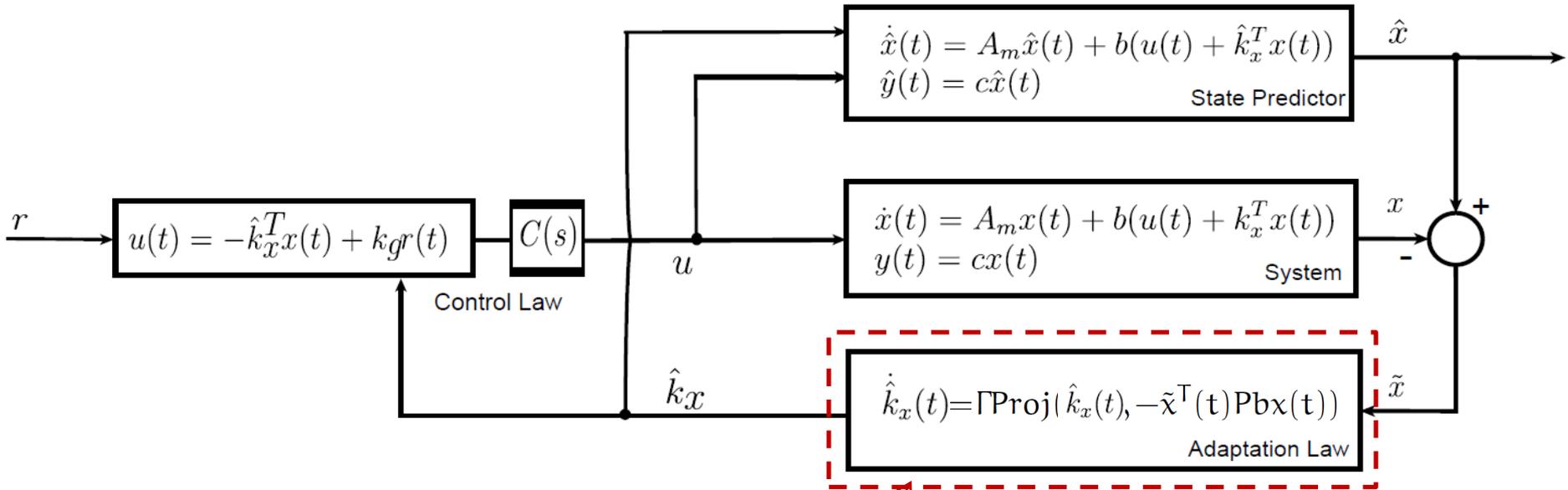
# Commande adaptative L1 [Hovakimyan 2010]

Commande L1 :



# Commande adaptative L1 [Hovakimyan 2010]

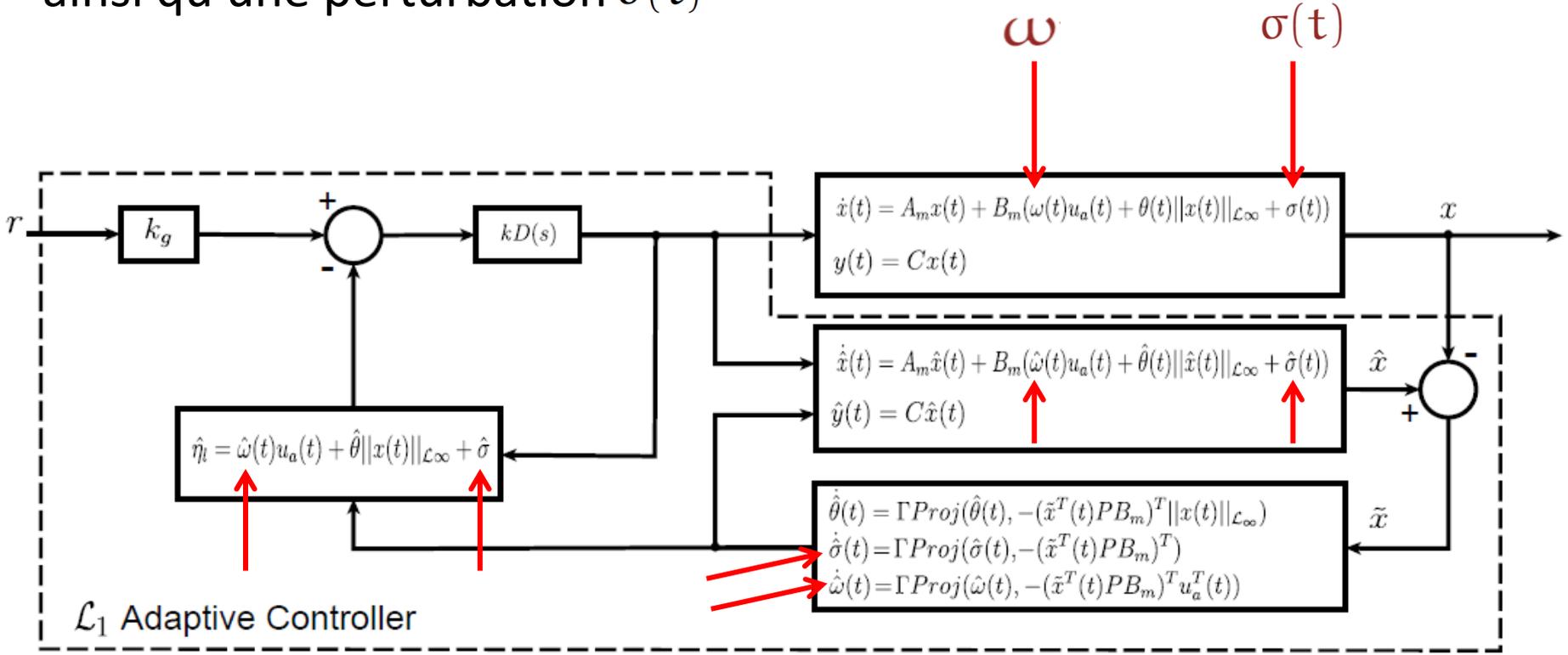
Commande L1 :



Projection pour empêcher les paramètres de diverger.

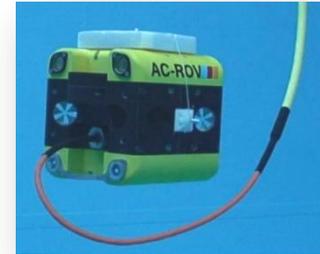
# Commande adaptative L1 [Hovakimyan 2010]

Il est possible de considérer aussi un gain  $\omega$  inconnu en entrée ainsi qu'une perturbation  $\sigma(t)$



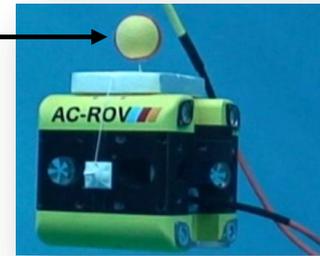
# Expérimentations

Scenario 1 : Conditions nominales  
Profondeur et tangage constants



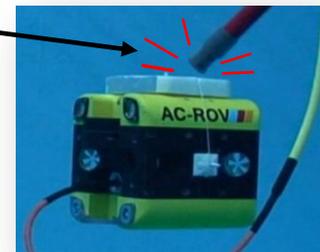
Scenario 2 : Test de robustesse  
Augmentation de la flottabilité

balle flottante



Scenario 3 : Réjection de perturbation  
Choc mécanique

choc

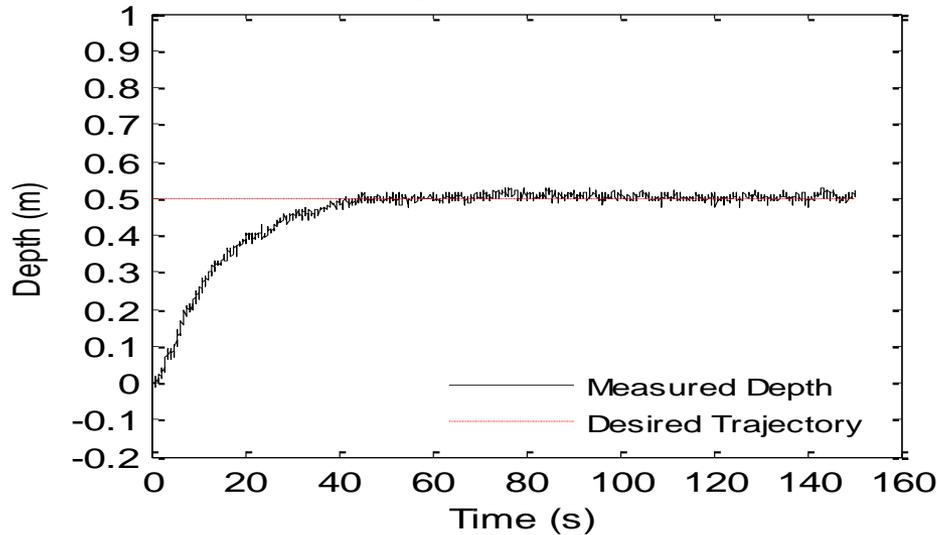


# Expérimentations

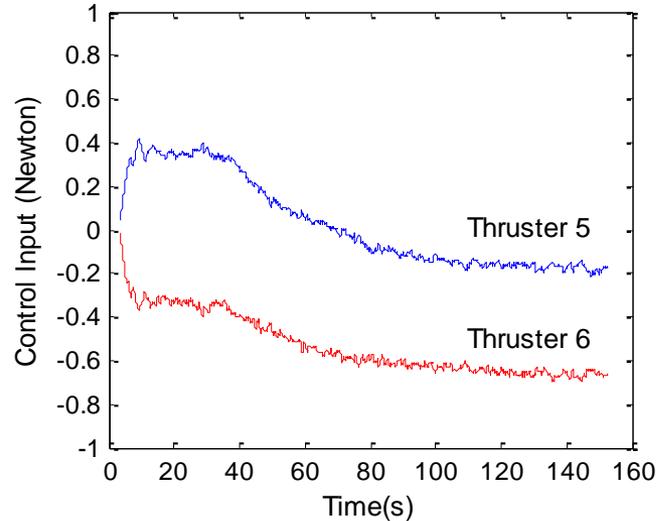
## Scenario 1 Cas nominal



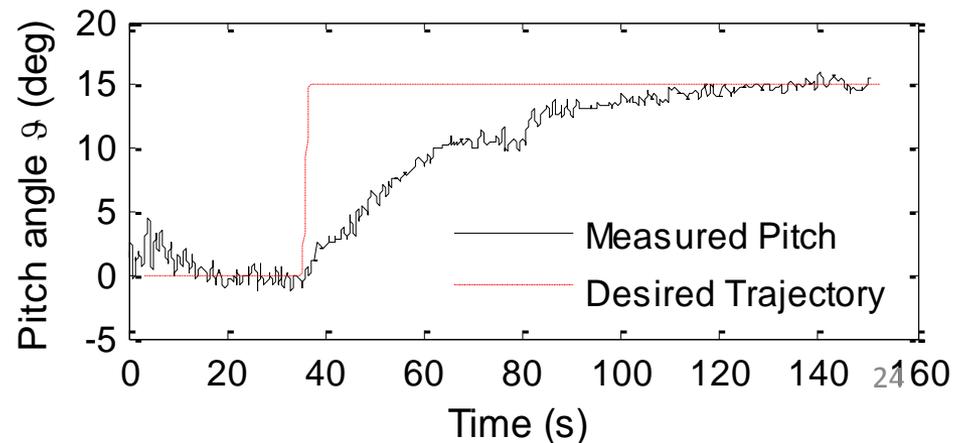
### Depth (z)



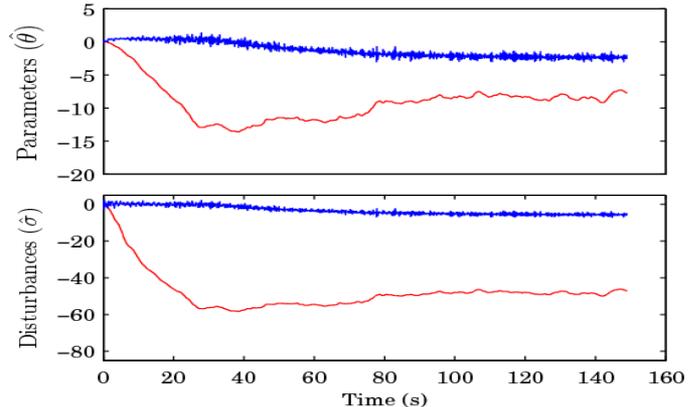
### Control inputs



### Pitch $\vartheta$

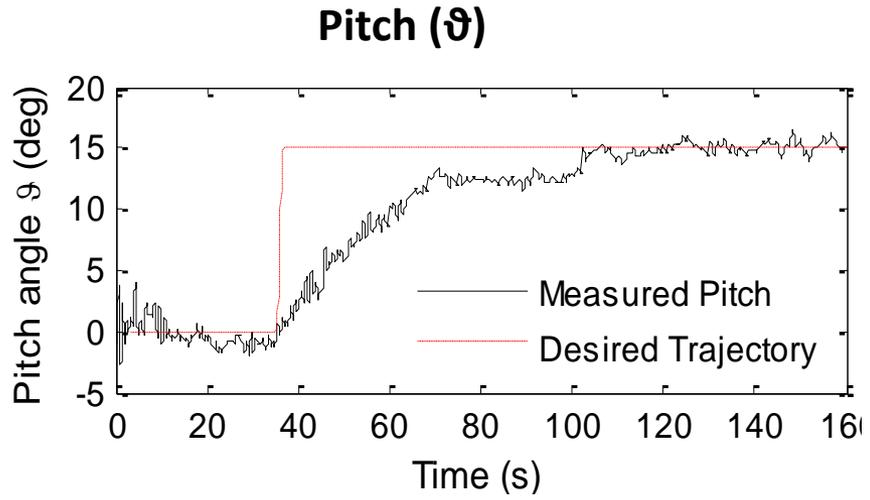
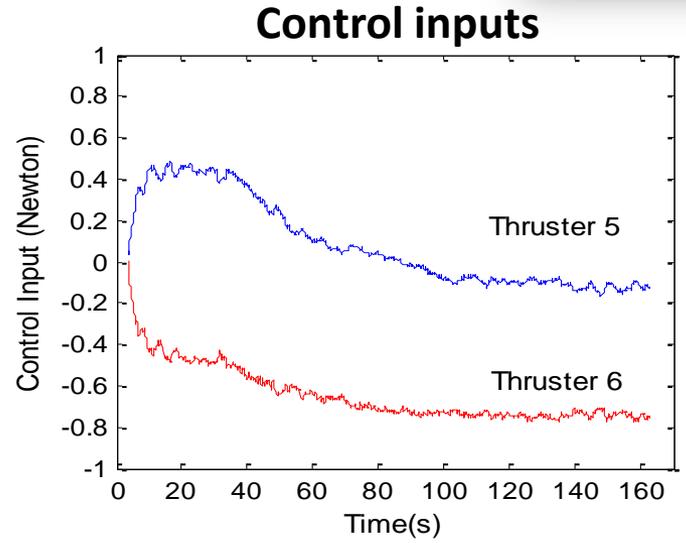
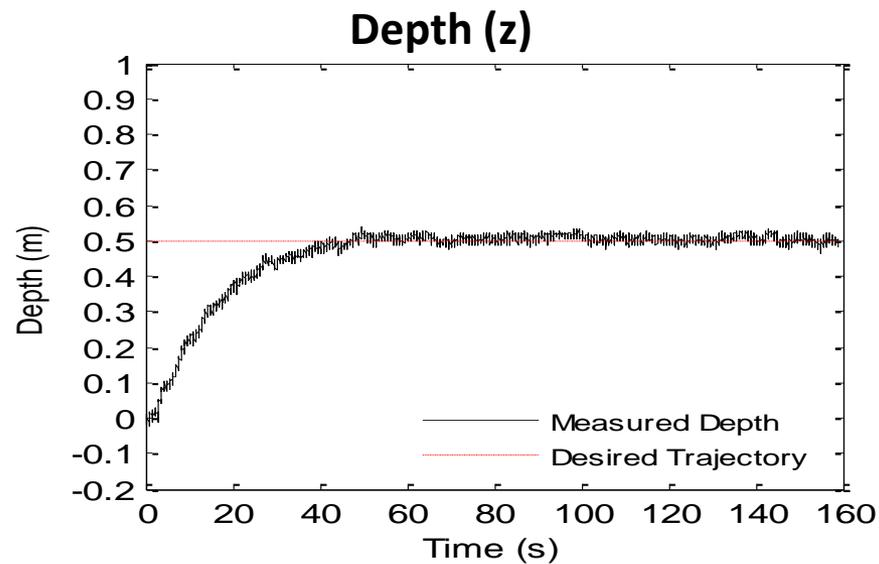


### Estimated parameters and disturbances

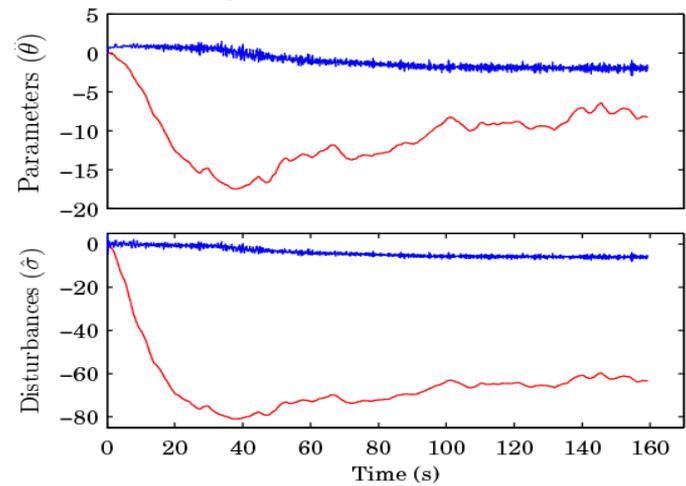


# Expérimentations

## Scenario 2 Flottabilité augmentée de 32%



### Estimated parameters and disturbances

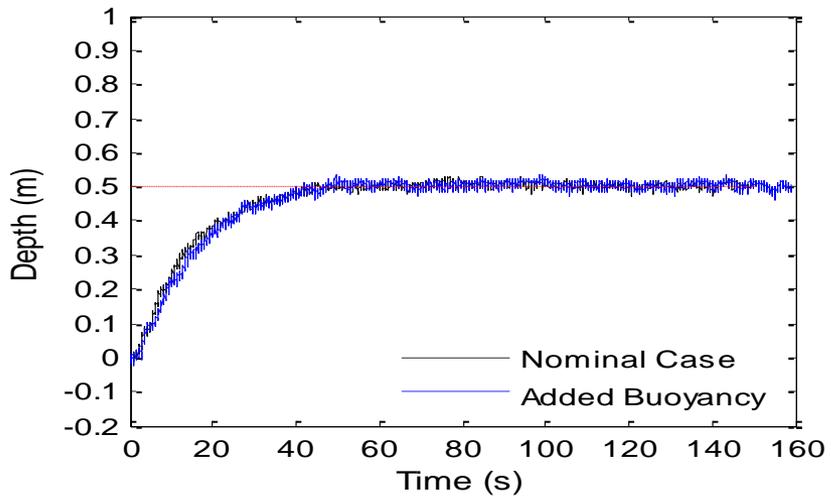


# Expérimentations

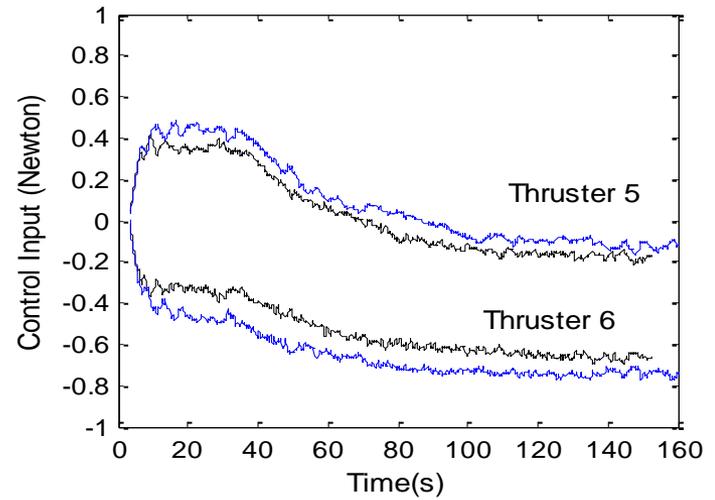
## Superposition Scenario 1 & 2



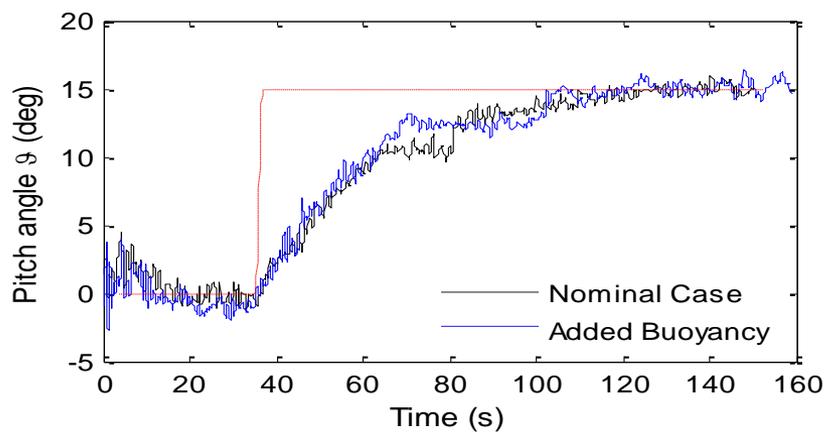
### Depth (z)



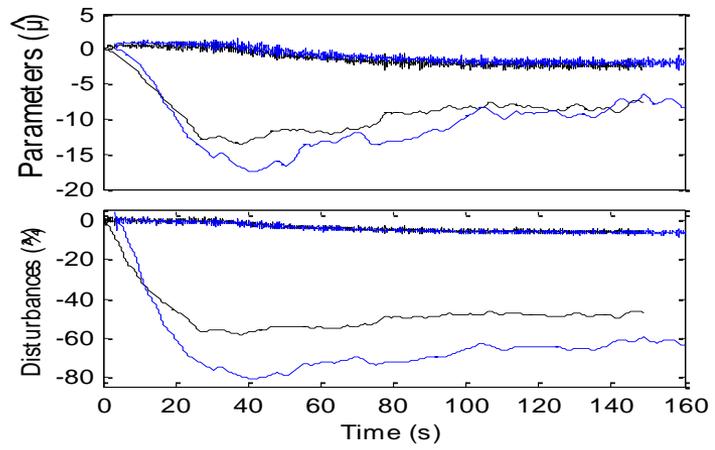
### Control inputs



### Pitch ( $\vartheta$ )

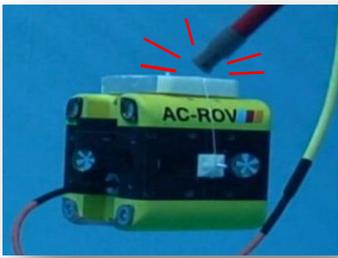


### Estimated parameters and disturbances

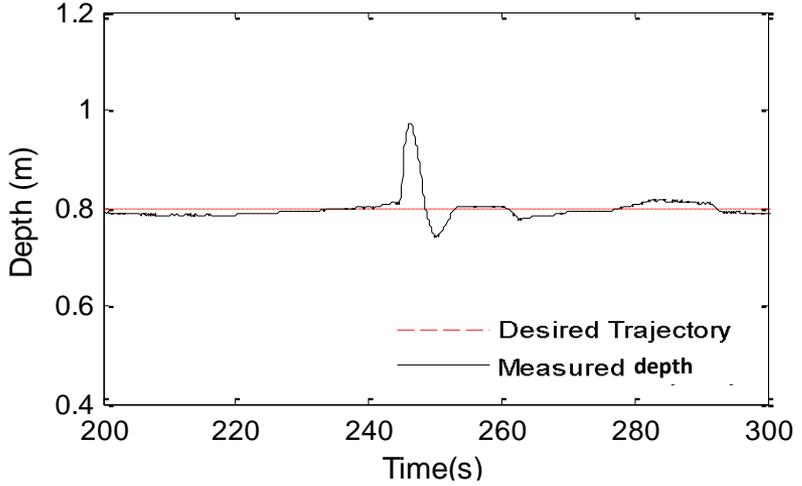


# Expérimentations

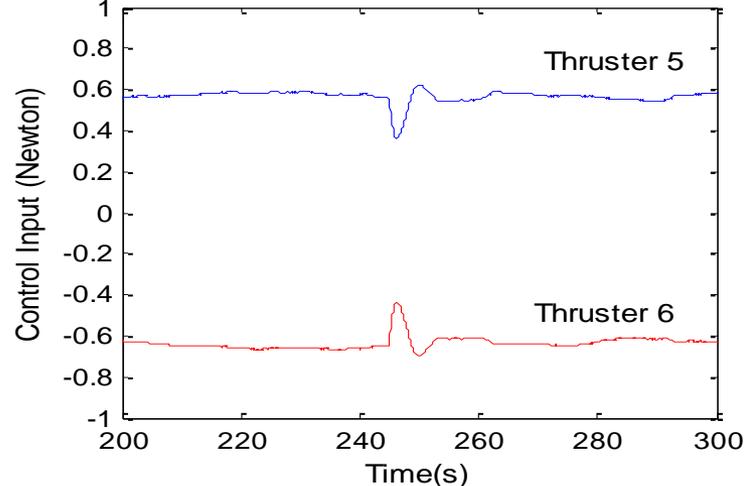
## Scenario 3 Rejet de chocs



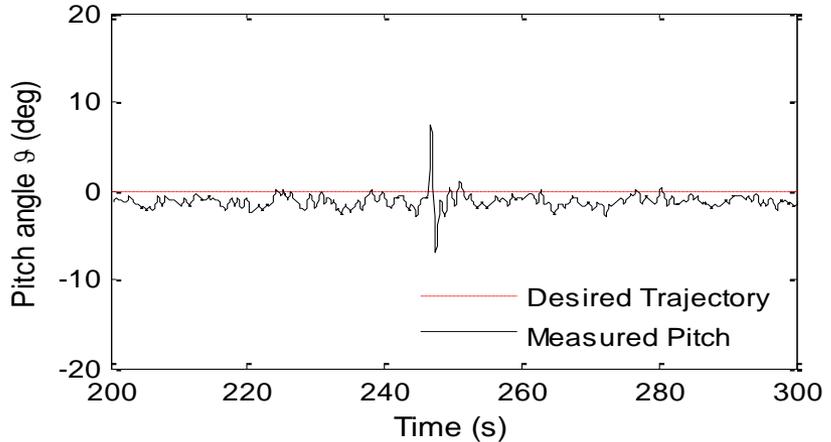
Depth (z)



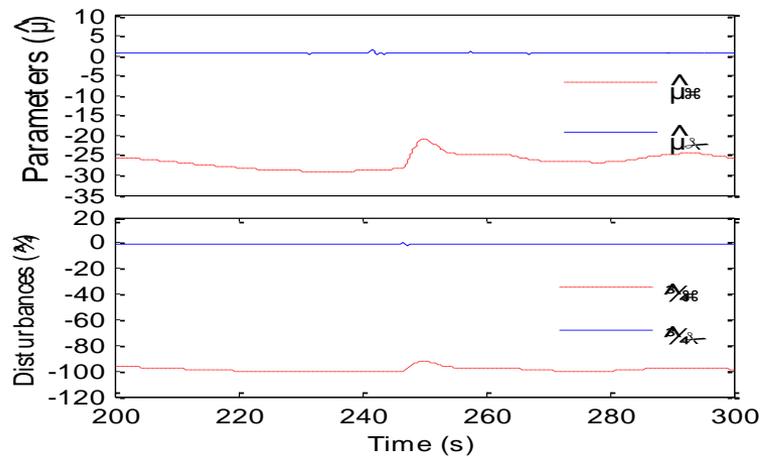
Control inputs



Pitch ( $\vartheta$ )



Estimated parameters and disturbances

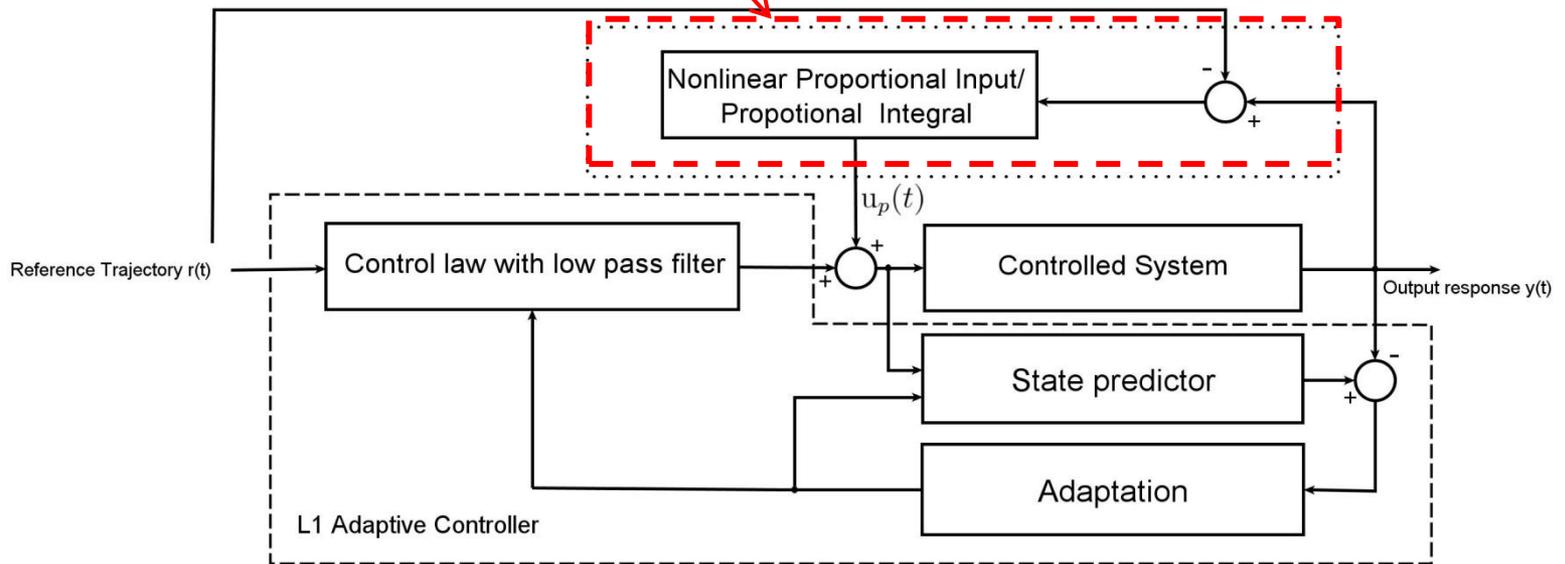
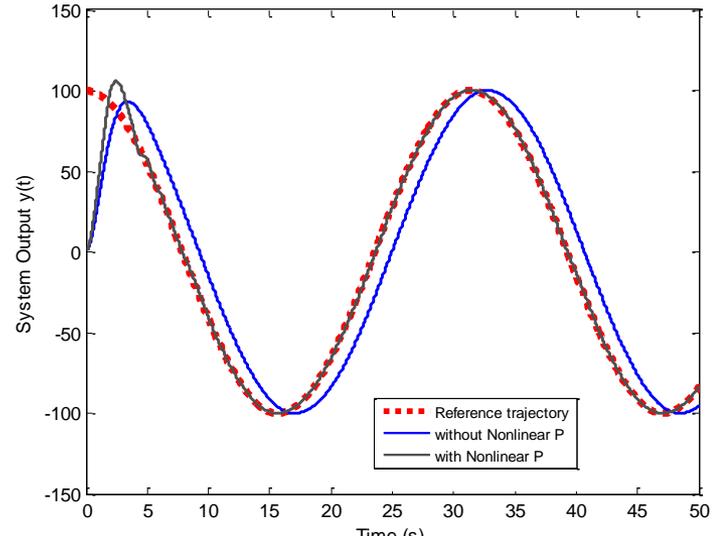


# Commande L1 augmentée [Maalouf 2013]

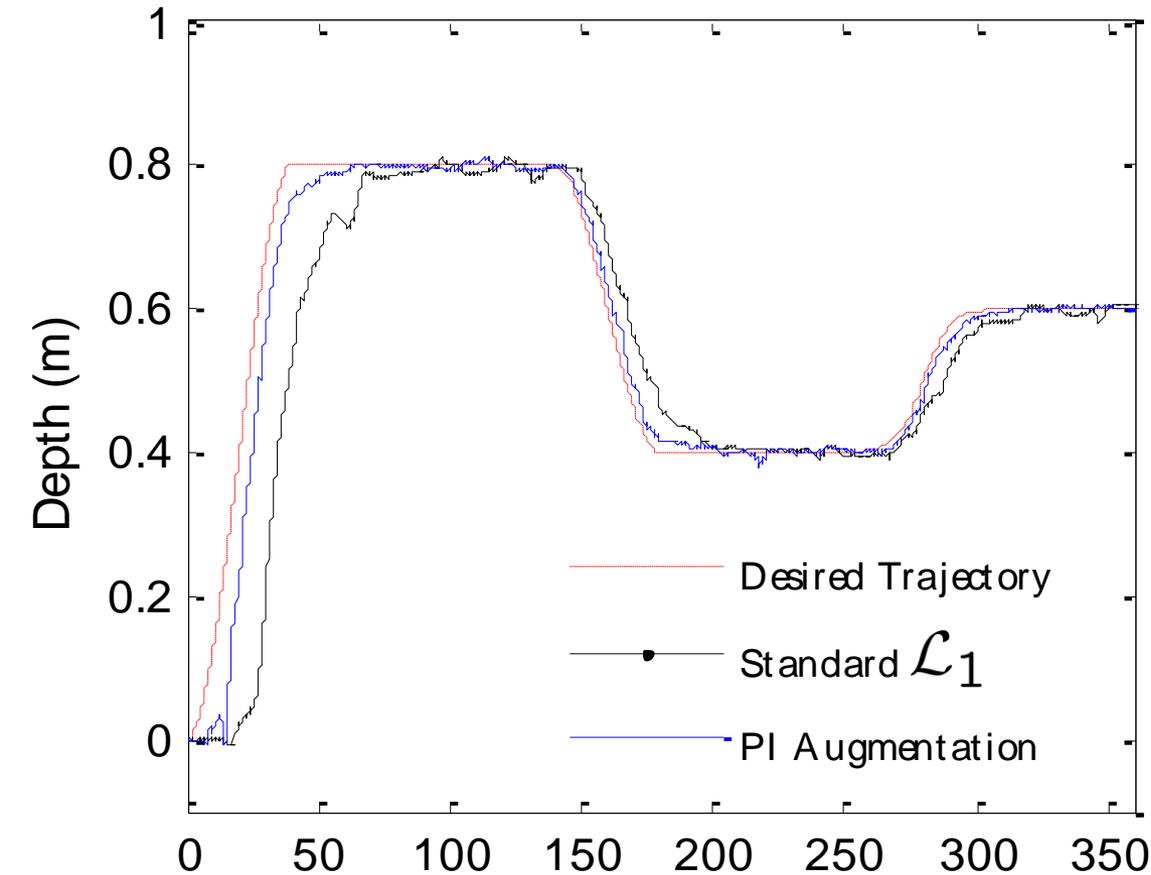
La commande L1 souffre de retard lors du suivi de trajectoires variables.



Nous avons proposé une extension permettant de diminuer ce retard.



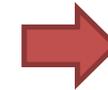
# Commande L1 augmentée [Maalouf 2013]



Réduction du retard

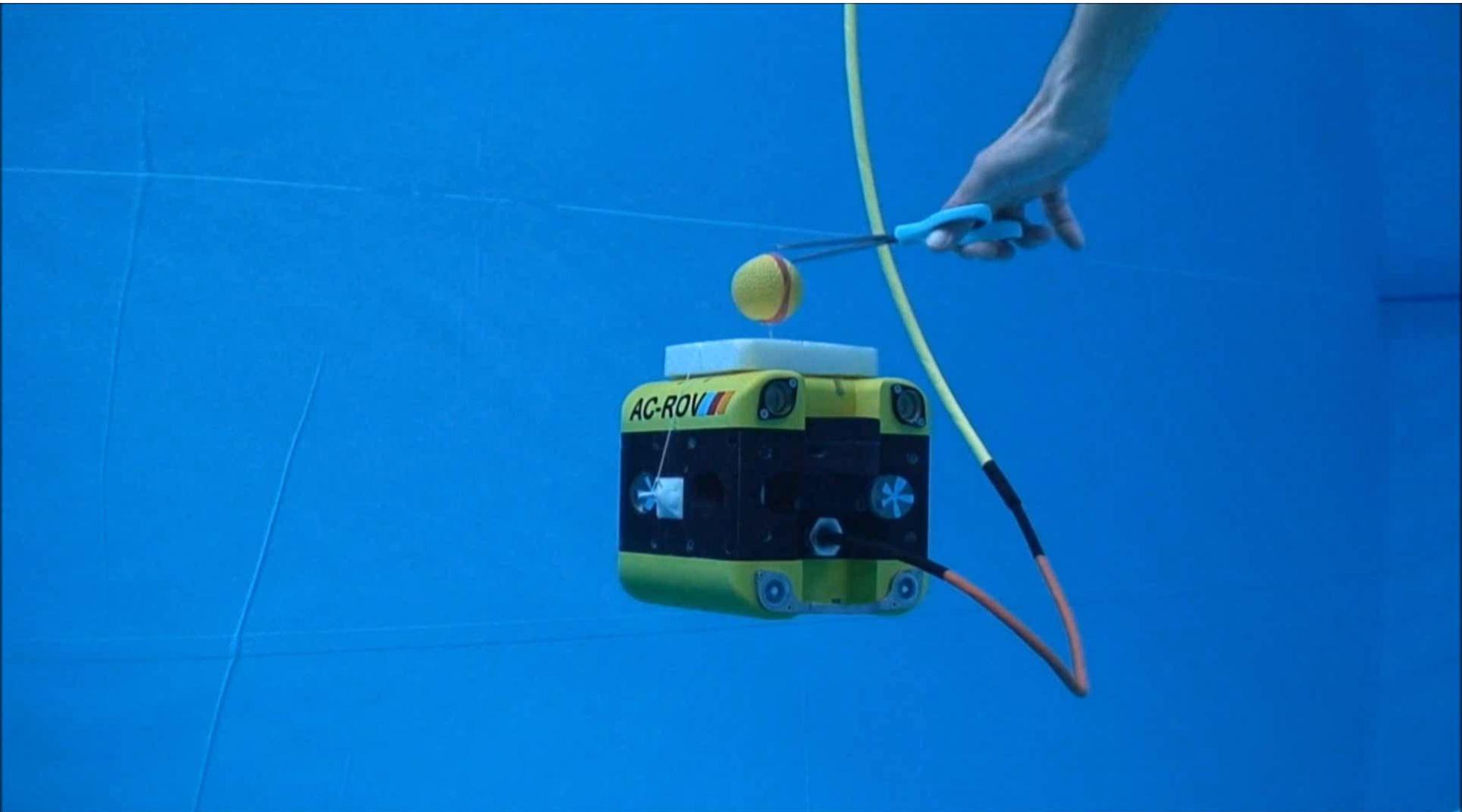


Adaptation maintenue



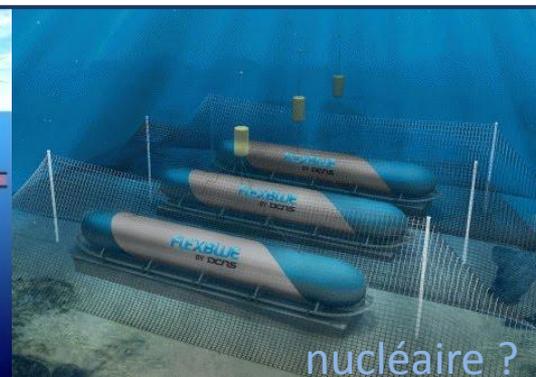
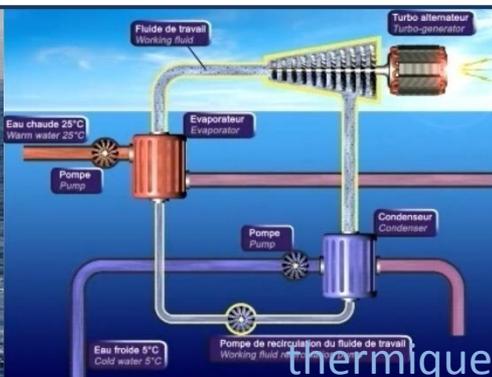
Légèrement plus sensible aux perturbations

# Expérimentations commande L1



# Nouveaux besoins industriels...

- énergie

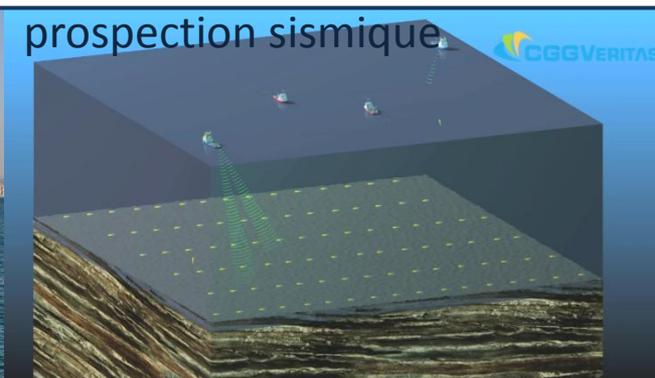


2013

2020

2030

- défense, pétrole



# Nouveaux besoins industriels...

- énergie



2013

2020

2030

- défense, pétrole

