

Underwater navigation based on passive electric sense: new perspectives for underwater docking

Vincent Lebastard

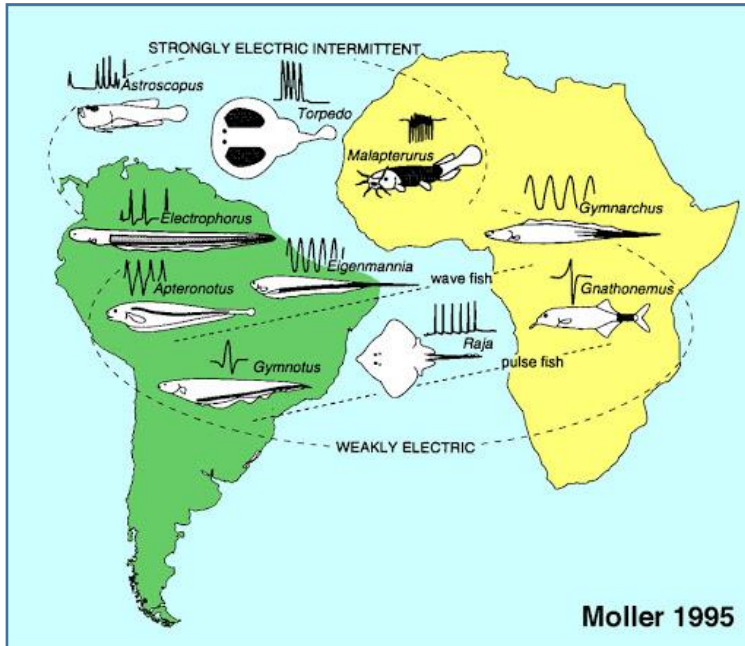
(IMT Atlantique/LS2N/REV)

Frédéric Boyer (Pr), Johann Hérault (MA), Mathieu Porez (MA)

GT2 : Véhicules autonomes
Axe robotique marine et sous-marine

Qu'est-ce que le sens électrique?

Pour percevoir leur environnement certains poissons produisent un champ électrique...



Poisson éléphant
Gnathonemus petersii

Sens développé par des poissons :

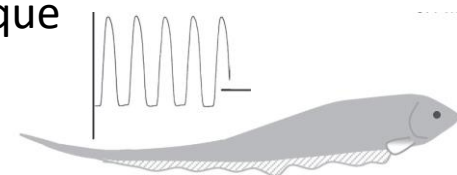
- En Afrique
- En Amérique du sud

Type émission

- Pulse



- Périodique



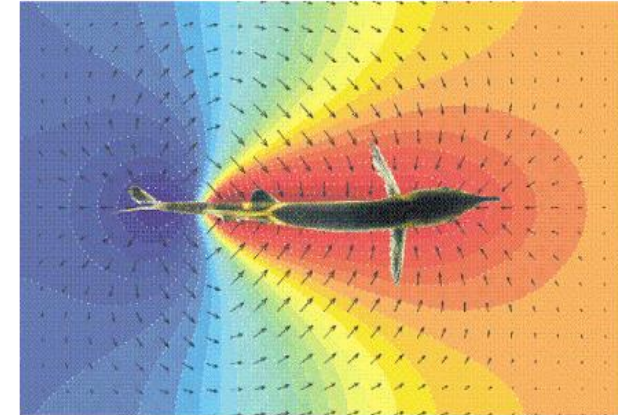
Qu'est-ce que le sens électrique?

Pour percevoir leur environnement certains poissons produisent un champ électrique...

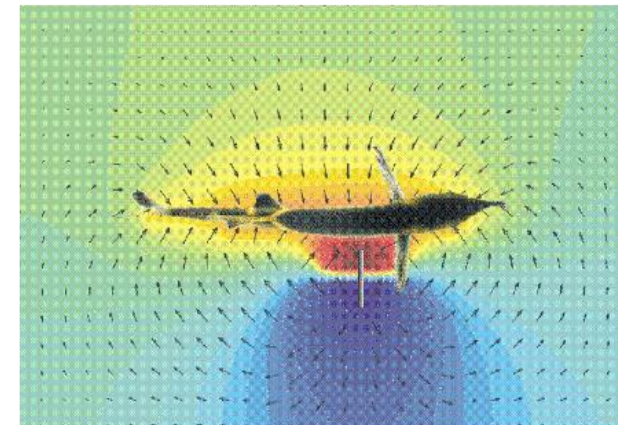


Organe électrique

Poisson éléphant
Gnathonemus petersii

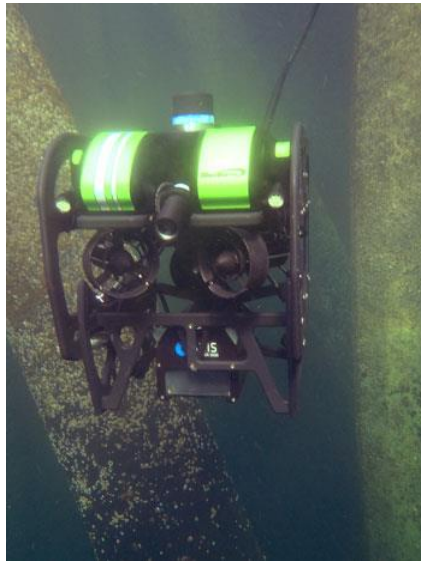


En comparant les courants transcutanés avec et sans objet le poisson peut reconnaître les objets (forme, localisation, couleurs électriques...)



Sens électrique artificiel pour la robotique

- Il n'existe pas/peu de capteurs capables d'équiper des robots sous-marins dédiés à la navigation dans des espaces confinés baignés par des eaux troubles...



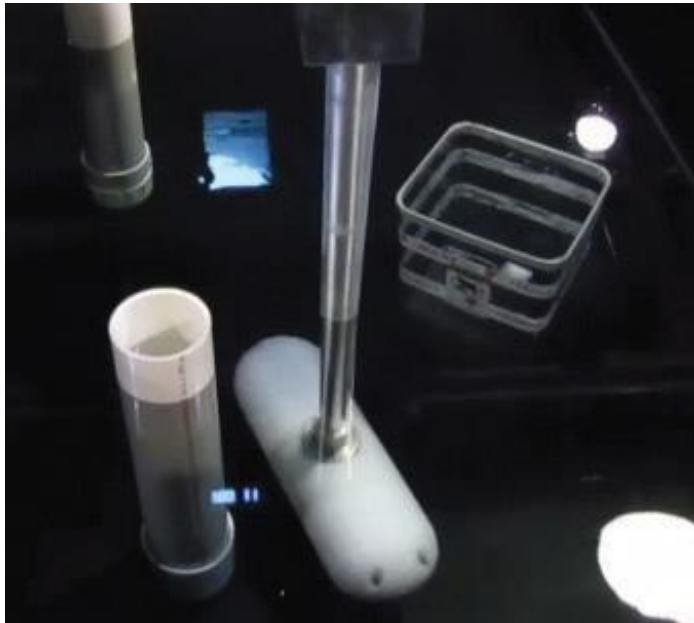
- Sonar échoue (échos multiples...)
- Vision échoue (milieu opaque)



- Le sens électrique offre de nouvelles perspectives dans ce domaine.
- Il est omnidirectionnel, de courte portée, de haute résolution, "cheap", et a plusieurs modalités (passive/ active, vision/haptic)...

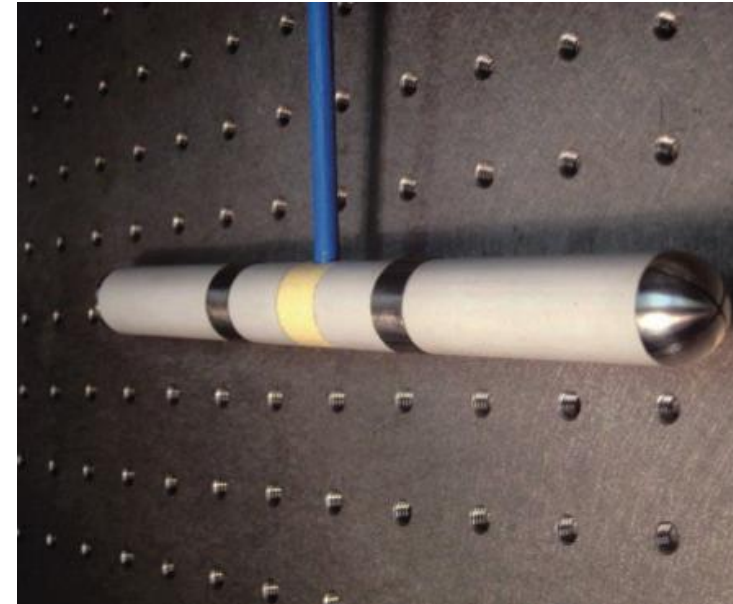
Capteurs électriques

Deux technologies ont été proposées...



Groupe de McIver

Bai & al. (IROS 2012)



Technologie du projet ANGELS

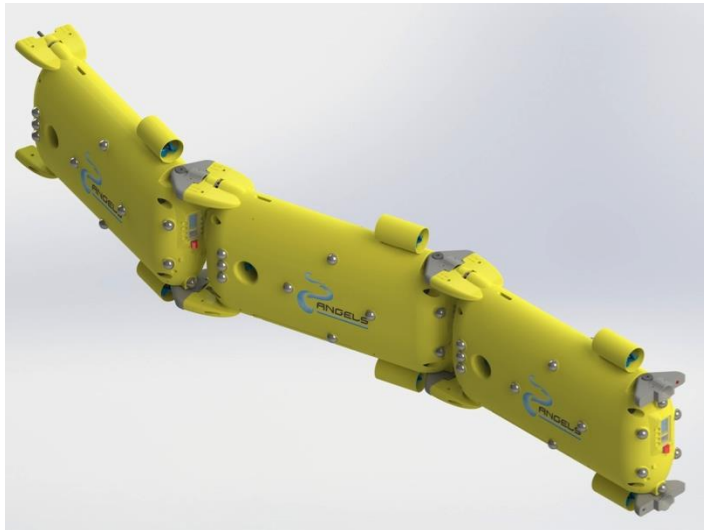
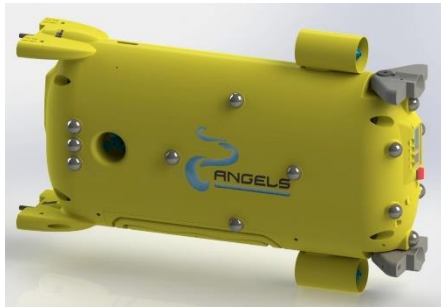
Servagent & al. (IEEE Sensor)

Coque isolante (plastique) avec une symétrie bilatérale

Principe d'émission dans les 2 cas: (U) imposé par un générateur alternatif

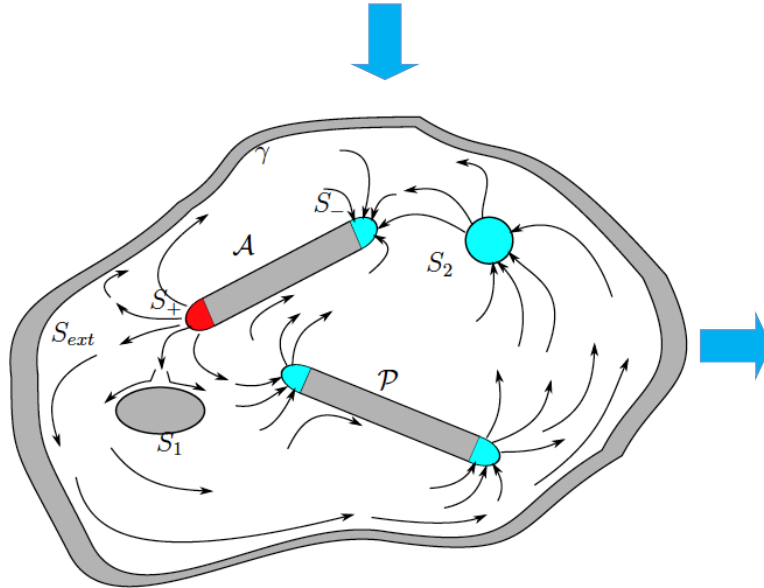
Principes de réception différents: dans un cas U est mesuré, dans l'autre, c'est I

Navigation sous-marine



Approche de l'ingénieur

Rétroaction basée sur un algorithme résolvant le problème inverse:



- Problème inverse électrique

"Trouver γ dans la scène tel que:

$$\nabla \cdot (\gamma \nabla \phi) = 0$$

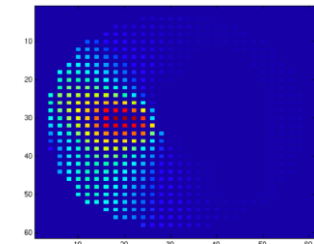
Pour des CL imposées et mesurées sur le capteur."

Pb. Inverse



Pb. De tomographie d'impédance

Algo d'EEG



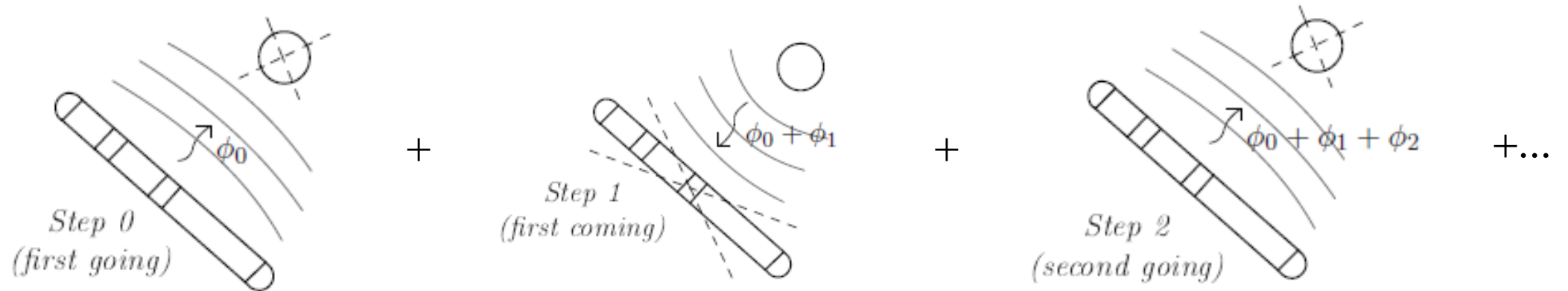
CVLab



Trop lourds pour être utilisés en ligne (avec peu de récepteurs, modèles difficiles)...  ...

➔ Méthode des réflexions : Interactions capteur-objet = \sum réflexions successives

➔ $I = I^{(0)} + I^{(1)} + I^{(2)} + \dots$, ou:



$I^{(0)}$ = courants sans objet

$I^{(1)}$ = les courants réfléchis par l'objet l'objet sans capteur

$I^{(2)}$ = les courants générés par la réponse électrique la réponse du capteur à la première réflexion

➔ Modèle analytique de faibles dimensions intégrable dans un système robotique

➔ Modélisation du scène complexe limité à des objets simples (sphères, mur infini)

Reproduire le vivant...

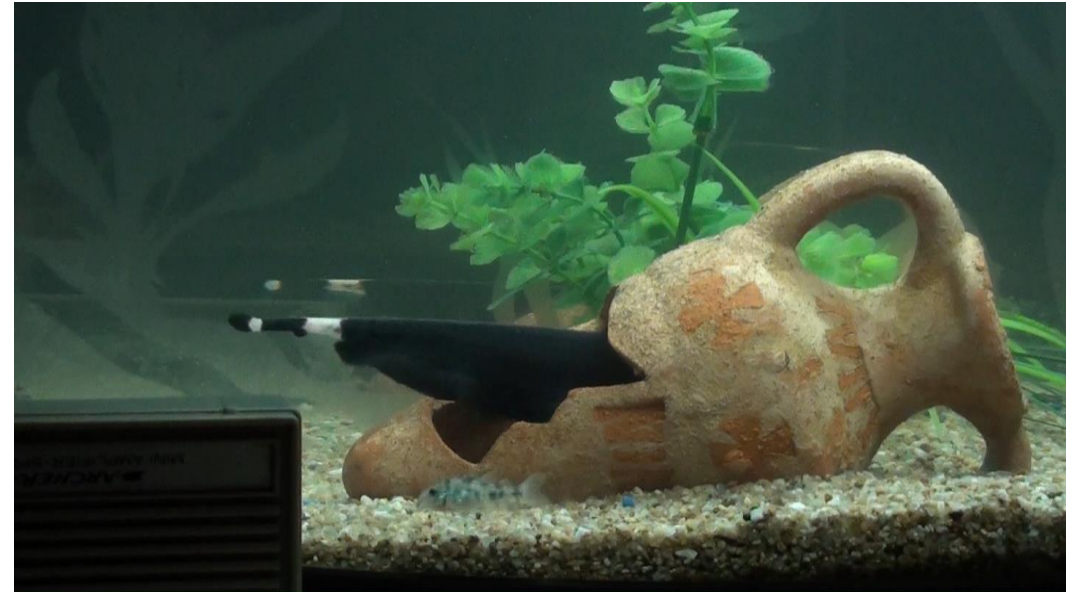
Agir et percevoir en accord avec son environnement...

1. “Agir”

- Se déplacer pour trouver des objets d’intérêts (proies)
- Tout en évitant ou en longeant des obstacles
- Contrôler l’émission (perception active)

2. “Percevoir”

- Localiser des objets
- Reconnaître des objets (nature, forme, taille)
- Interagir avec des congénères (communiquer...)
- Construire des cartes (localisation, navigation ...)

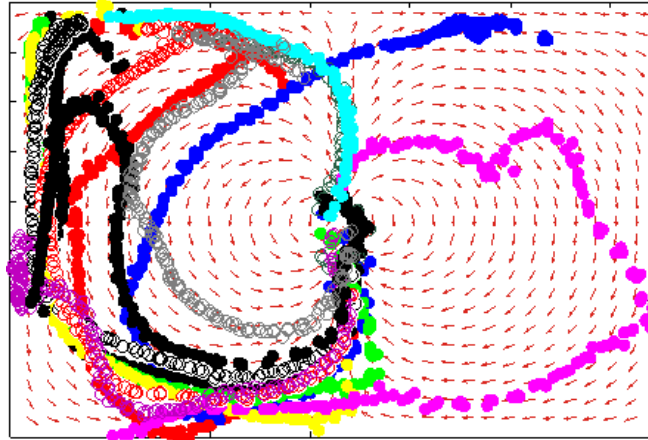


Coupler l’action et la perception par des boucles de rétroaction

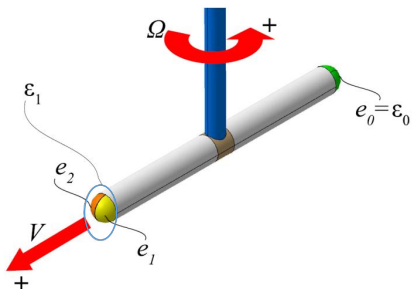
➔ Observation des poissons électriques passifs



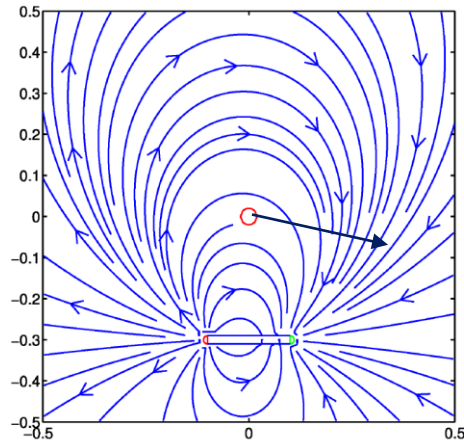
From IIBCE (A. Caputi)



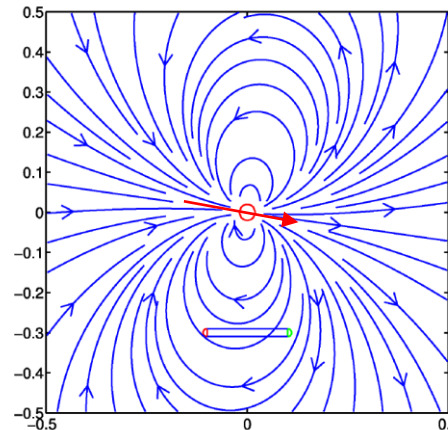
➔ Observation des champs produit par le capteur et la réponse de l'objet



Sonde à
2 récepteurs:

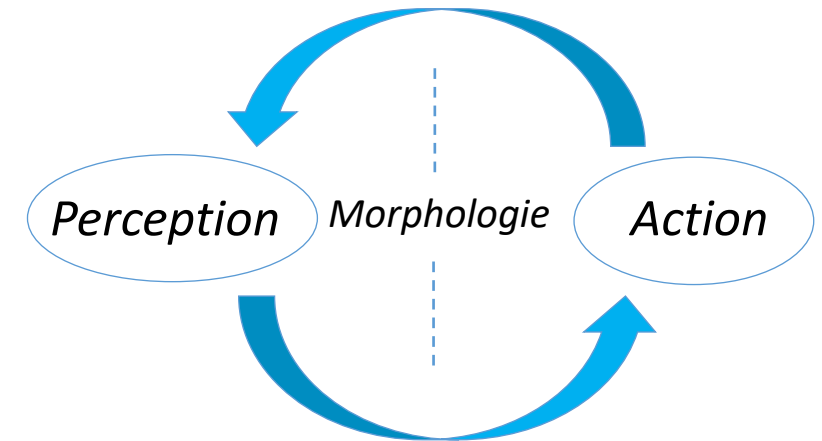


Champ primaire
(\vec{E}_0)(basal)



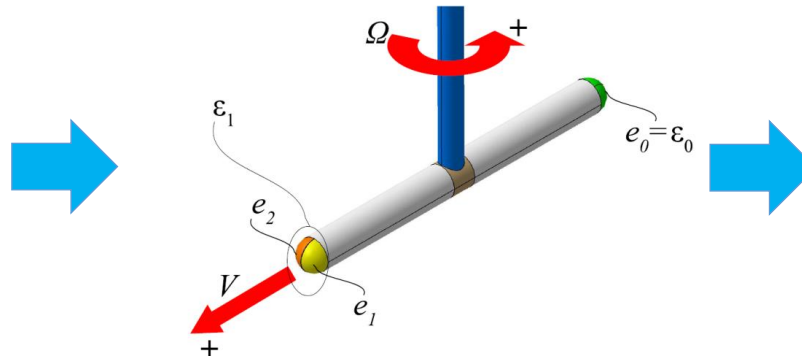
Champ réfléchi
($\delta\vec{E}$) (secondaire)

Pour dépasser cette difficulté : exploitation des synergies action-perception



Idee: orienter le capteur pour annuler le flux lateral de courant renvoyé par la scène...

δI_{ax}	δI_{lat}	Perception
> 0	> 0	Conductor on the left
> 0	< 0	Conductor on the right
< 0	> 0	Insulator on the right
< 0	< 0	Insulator on the left
> 0	$= 0$	Conductor in front of the sensor
< 0	$= 0$	Insulator in front of the sensor
$= 0$	$= 0$	No obstacle around



Seuls conditions requises:
 - Symétrie bi-laterale
 - Forme comprimée.



$$V = C > 0 \quad \Omega = k \cdot I_{lat}$$



Avec $k = k(\delta I_{ax})$, on reproduits des comportements simples t.q.:

- Chercher conduct. en évitant isolants
- Eviter tous les objets electqt. contrastés



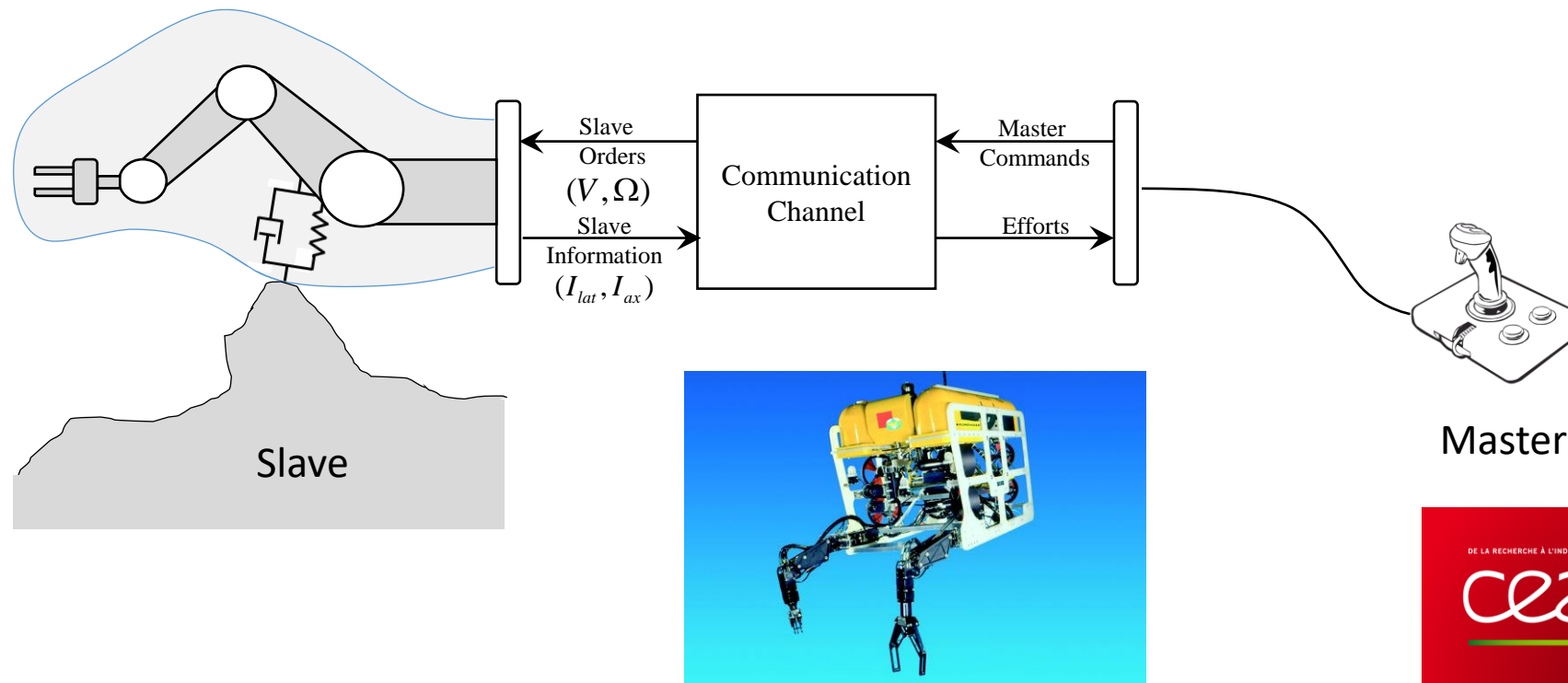
Approche sans modèle dite réactive

Rechercher, éviter des objets...



Feedback electro-haptique

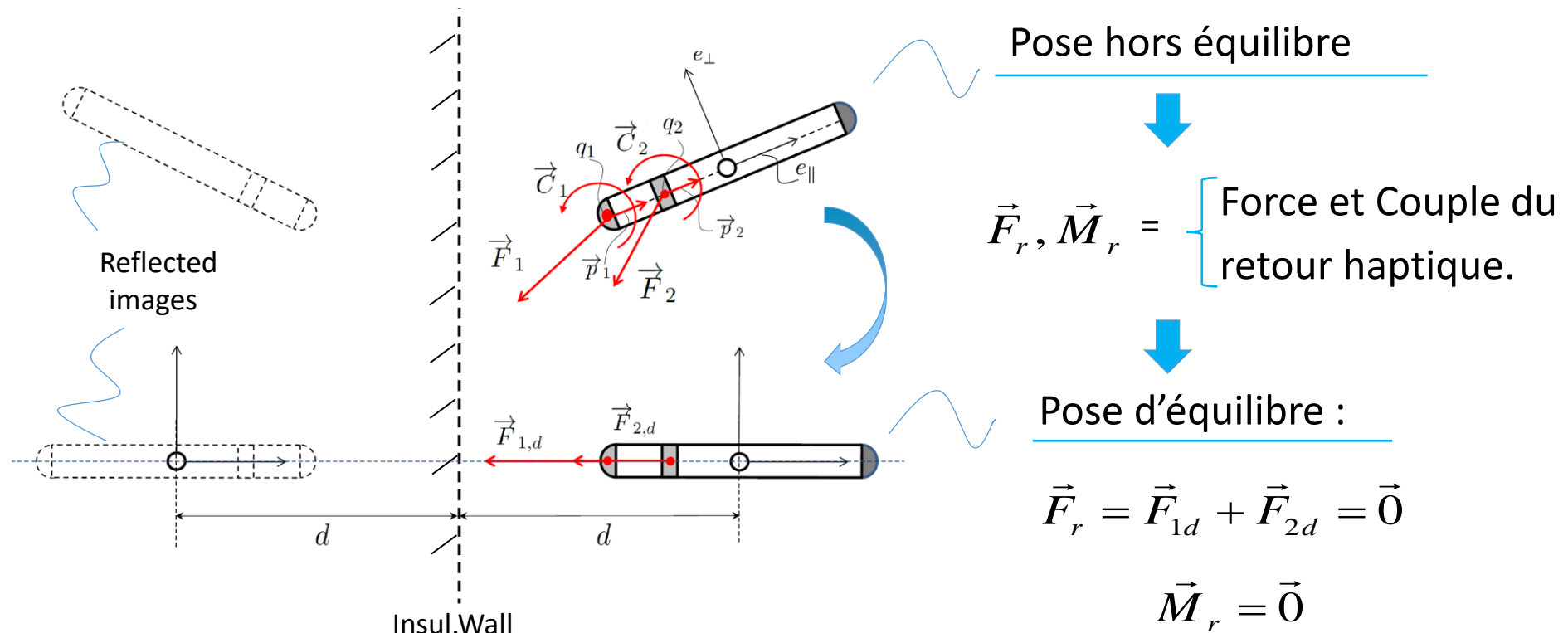
➔ Idée: émuler les déformations d'un champ élastique autour du robot



Collaboration CEA.

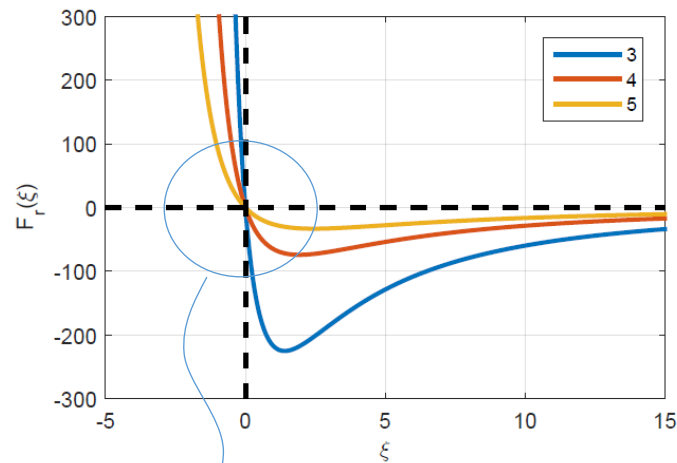


En remplaçant les vitesses par des forces, on peut combiner linéairement les mesures pour émuler les forces de Coulomb

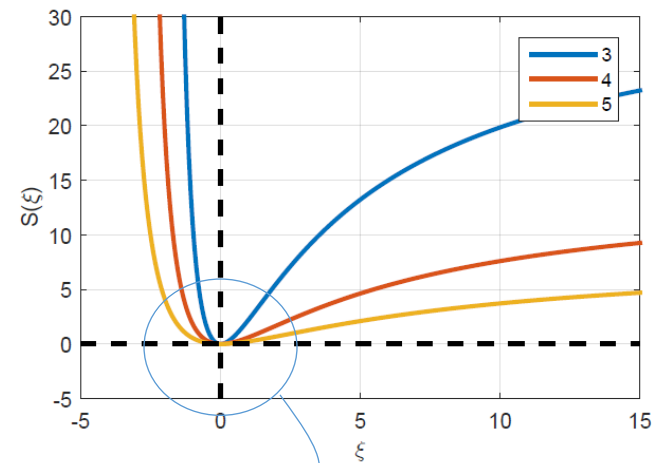


Rk : les forces sont passives, ce qui garantit la stabilité de la boucle de rétroaction

Dans la position d'équilibre, les forces électriques renvoyées au maître émulent un potentiel d'interaction de Lennard-Johns (interactions interatomiques) :



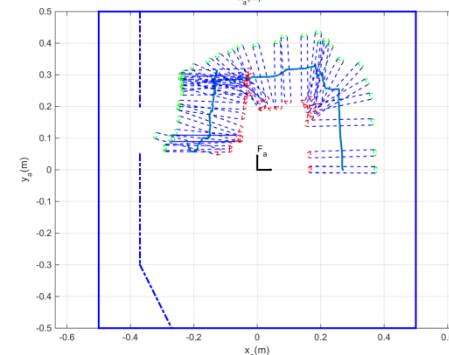
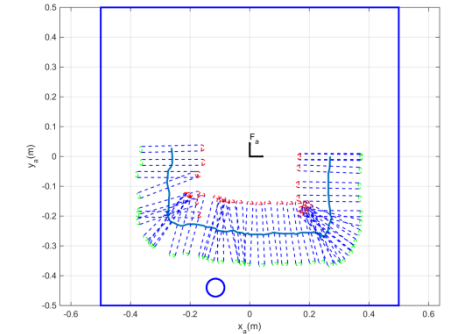
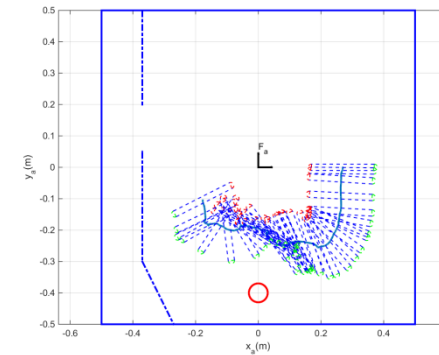
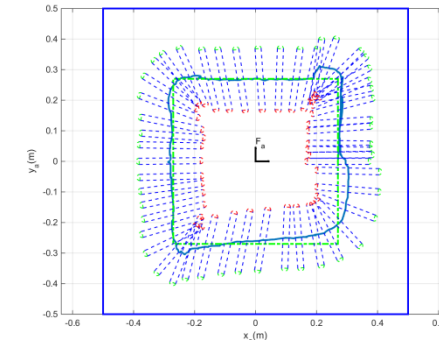
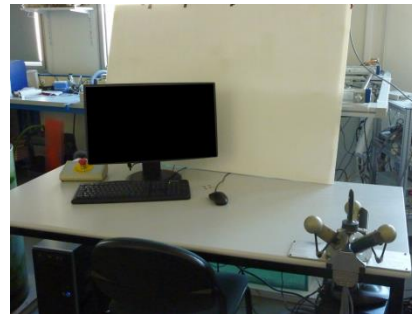
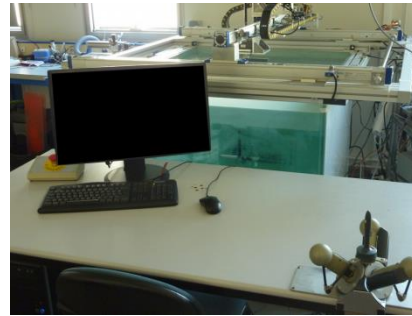
Restoring force = 0



Minimum of energy

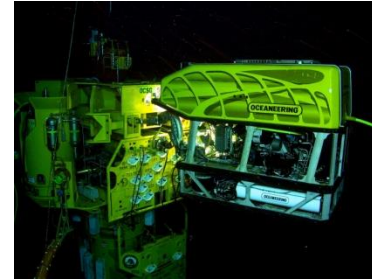
Doigt électrique... Ou le toucher sans contact

Retour haptique
par sens électrique



Contexte

Augmenter la perception de l'utilisateur en retournant un effort de pré-contact



On équipe les prises du sens électrique

La prise femelle est équipée de la modalité active et est fixe

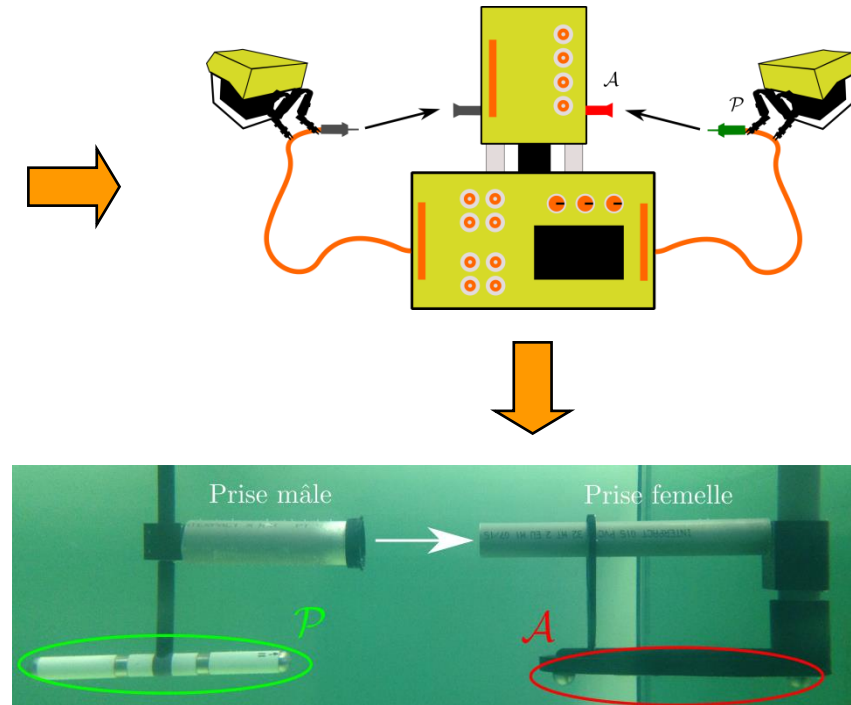
La prise mâle est équipée de la modalité passive se déplace

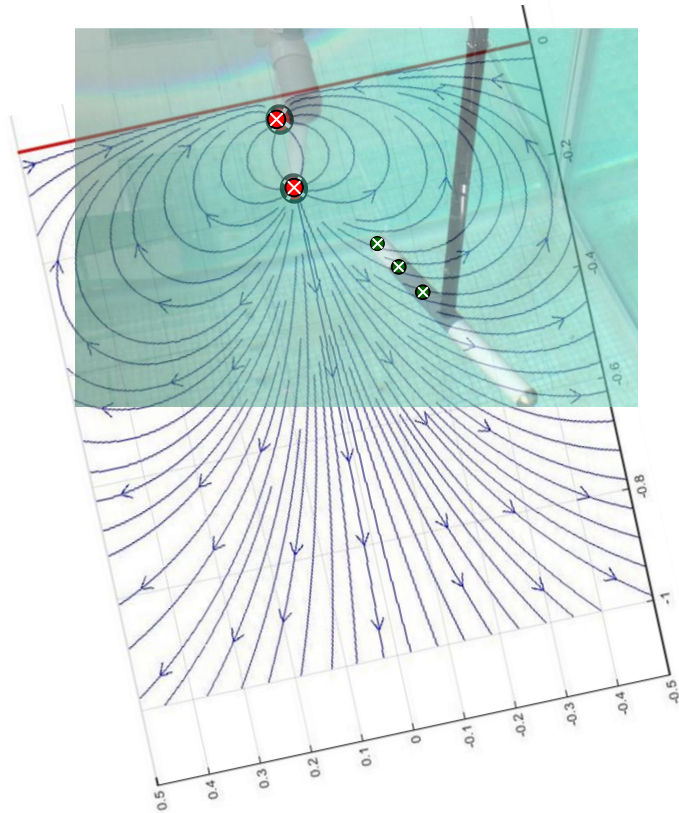
Objectifs

Un opérateur télé-opère la prise mâle par l'intermédiaire d'une interface haptique.

Il est guidé par un effort de pré-contact issue du sens électrique.

Il doit aligner les deux sondes à une certaine distance l'une de l'autre.



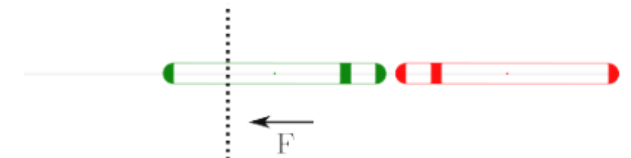
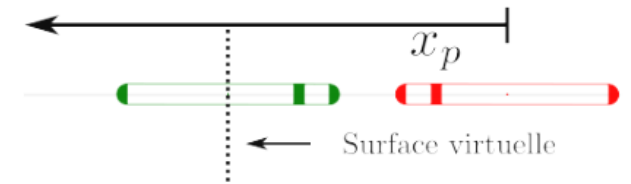
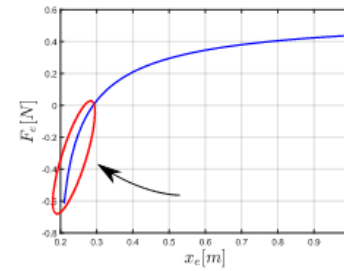
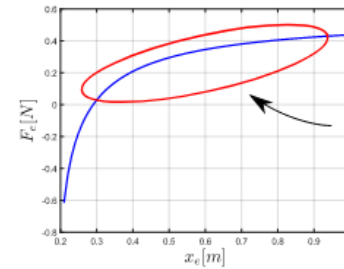
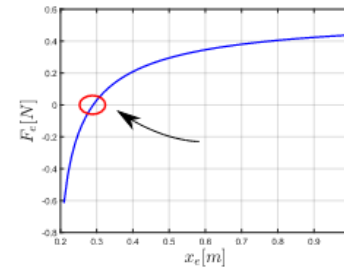


Équilibre
 $R_{\parallel}^0 = 0$

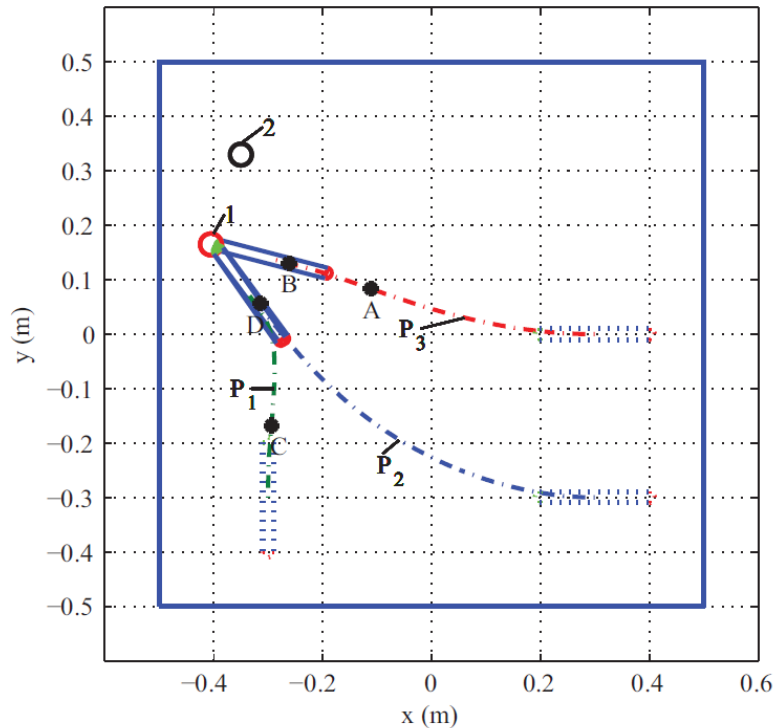
Attraction
 $R_{\parallel}^0 > 0$

Répulsion
 $R_{\parallel}^0 < 0$

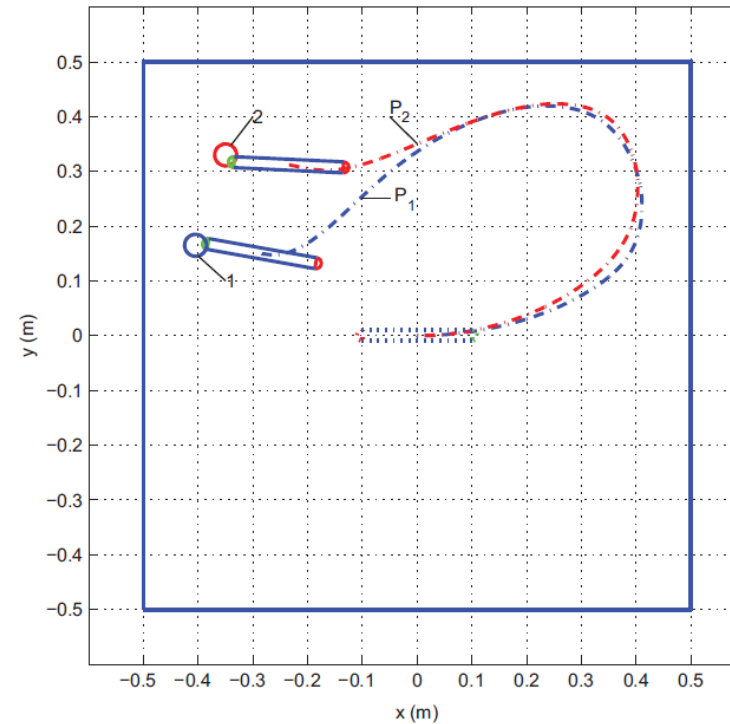
Avec : $F = R_{\parallel}^0$



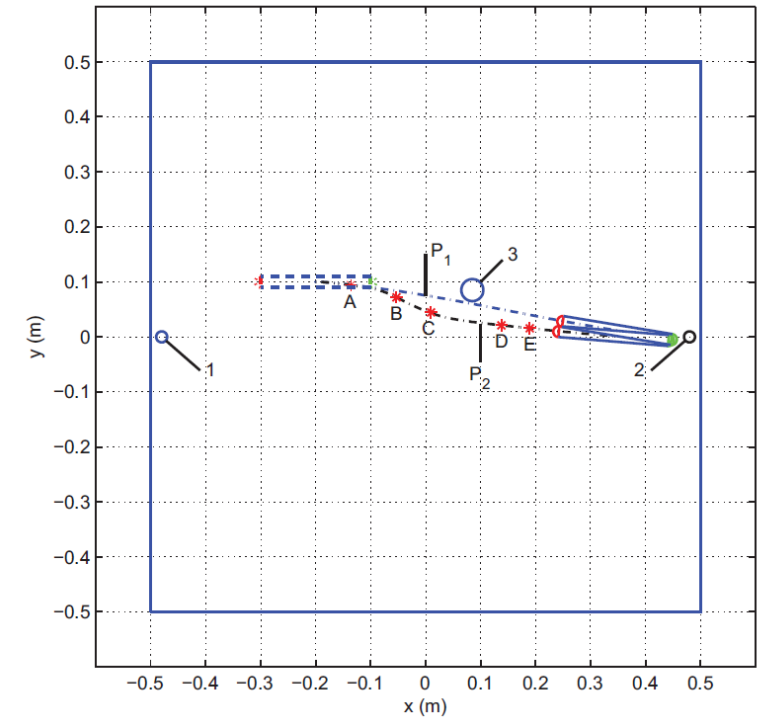
Les capteurs convergent toujours vers l'émetteur



Quelle que soit la condition initiale



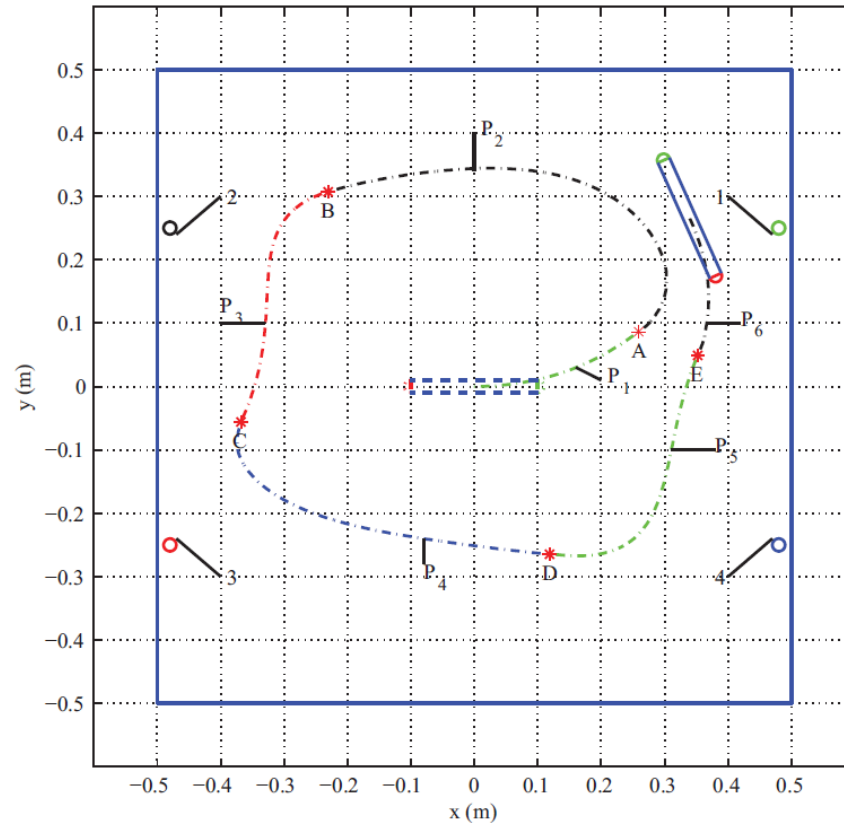
Ou que l'on switch l'émetteur



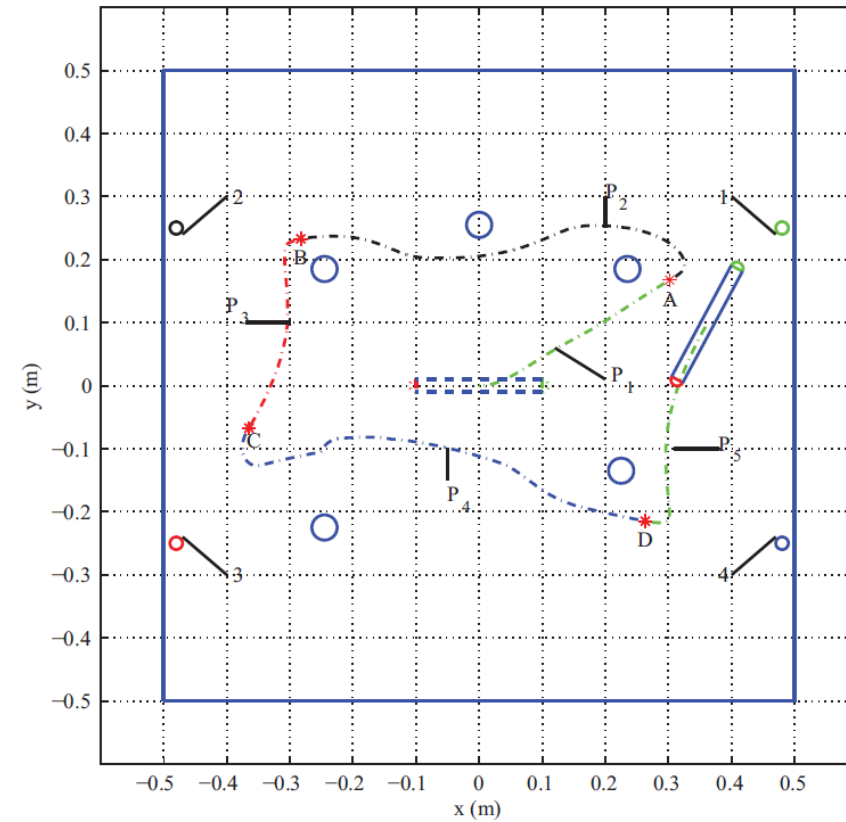
Ou qu'il y a des obstacles isolants

Sens électrique passif

Les capteurs convergent toujours vers l'émetteur que l'on peut déplacé



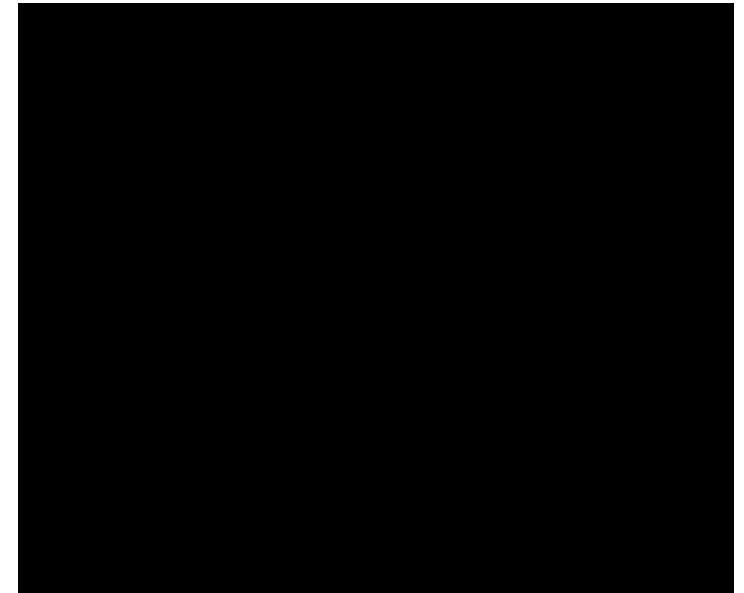
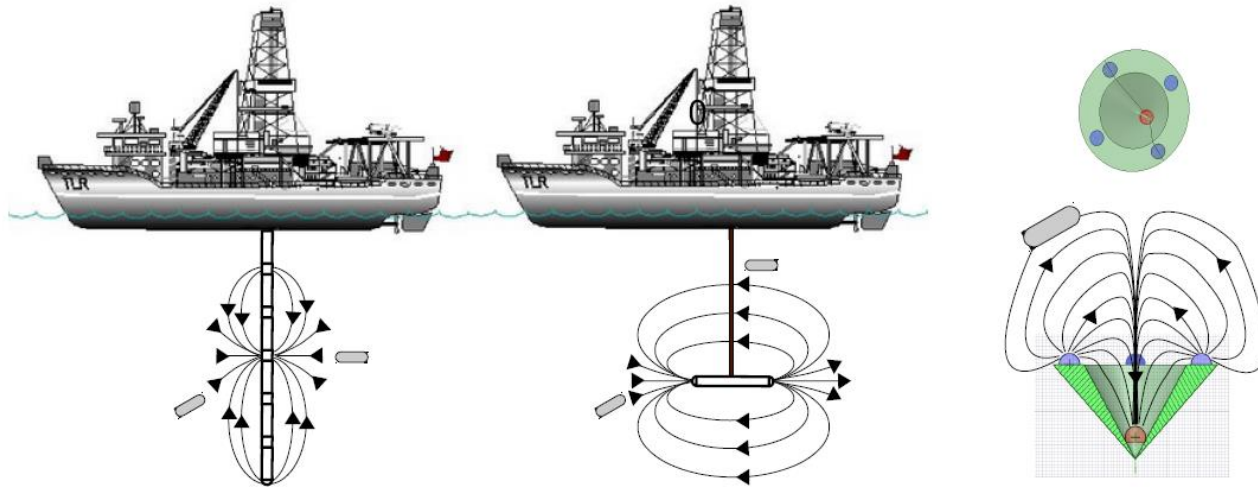
Sans obstacle



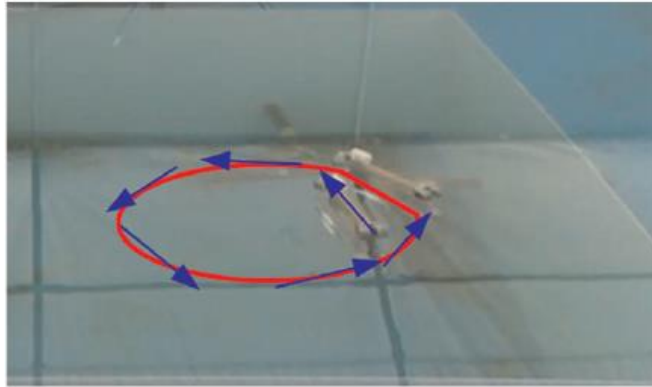
Ou avec obstacles isolants

Sens électrique passif

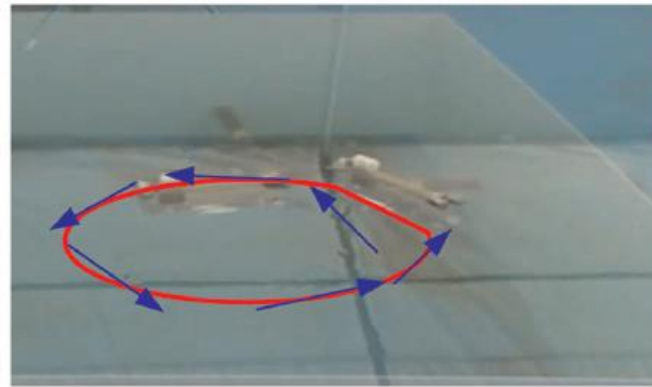
➔ Idée: guider un AUV dans les lignes d'un champ électrique



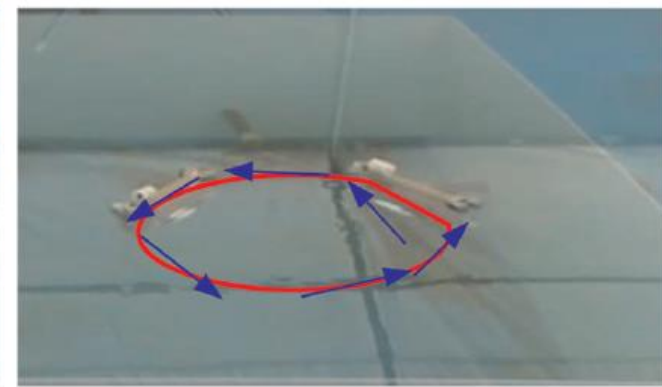
➔ Idée: guider un AUV dans les lignes d'un champ électrique



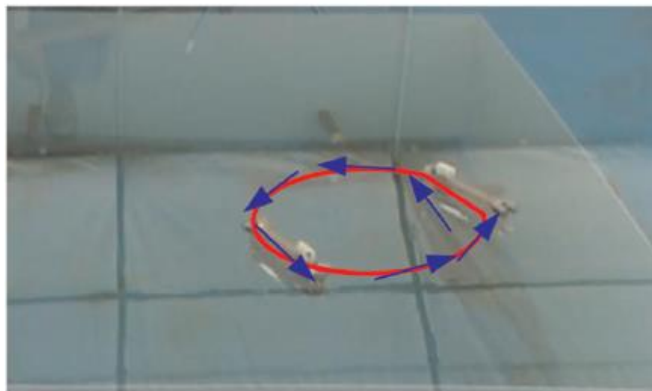
(a)



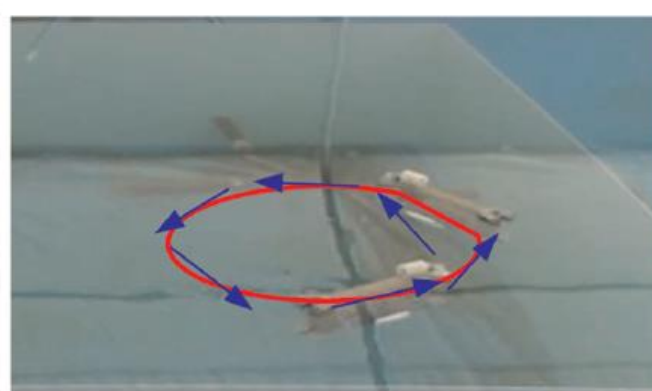
(b)



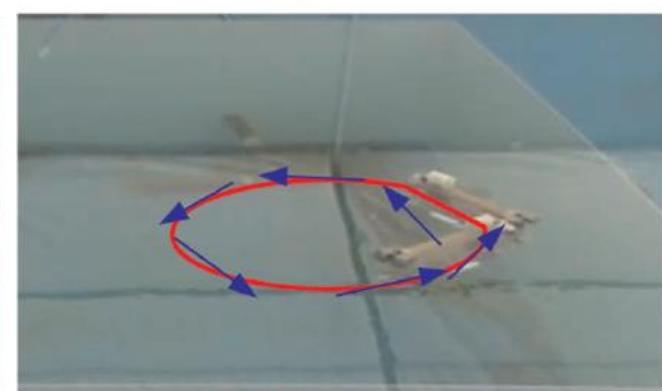
(c)



(d)



(e)



(f)

Underwater communication with
artificial electric sense:
new perspectives for swarm robotics

M. Boukens, V. Lebastard, F. Boyer

Merci

Questions?