

À LA RECHERCHE DE GARANTIES DE PERFORMANCE EN ROBOTIQUE MOBILE

Application au
contexte
subaquatique

L. Lapierre, HDR 2015

QUELQUES PRÉCISIONS

- Robotique Mobile
 - Locomotion : contrôle de l'interaction avec l'environnement.
 - Autonomies : énergétique, décisionnelle (partagée)...
 - Requiert une vision holistique : l'étrange alchimie transdisciplinaire.
- Performance
 - Critères environnés, composables et vérifiables.
- Garanties
 - Exigence sociale de résultats et d'innocuité.
 - De services ?
- Recherche
 - Du spéculatif à l'opératif.
- Contexte Subaquatique
 - Un terrain générique.
- L. Lapierre, HDR 2015

SOMMAIRE

- De l'automatique...
 - De la roue à l'AUV, le contrôle du mouvement, la commande NGC, abstraction de l'actionnement, la commande S-NGC-A.

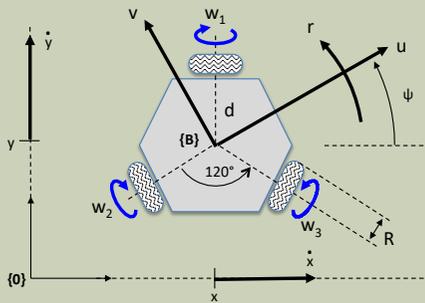
- ... au robot.
 - Le contexte d'exécution, le processus d'implémentation, évaluation de la performance, agrégation à la mission.

- Le projet REEA
 - La polyvalence
 - REK, MDA, ARCHEO, RBSEA

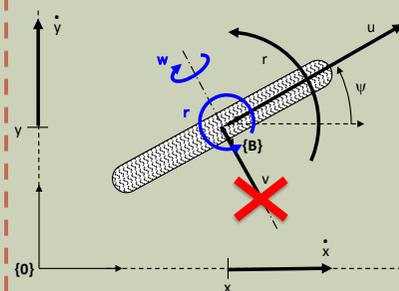
- Perspectives
 - Automatique non linéaire discrète
 - Commande S-NGC-A
 - Espace Sensoriel
 - Les problèmes inverses

DE L'AUTOMATIQUE...

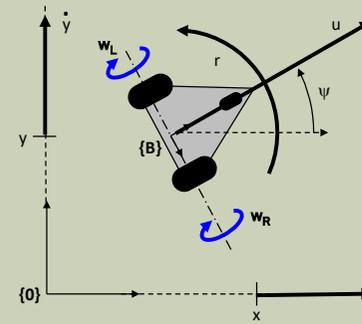
La roue, le char et l'AUV.



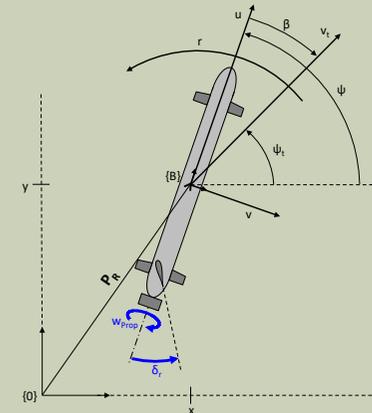
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 \\ \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ r \end{bmatrix}$$



$$\dot{x} \cdot \cos \psi - \dot{y} \cdot \sin \psi = 0$$



$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi_t & 0 \\ \sin \psi_t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_t \\ r + \beta \end{bmatrix}$$

Approche linéaire caduque

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \frac{-1}{R} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & d \\ -\sin \alpha_2 & \cos \alpha_2 & d \\ -\sin \alpha_3 & \cos \alpha_3 & d \end{bmatrix}}_{M_x^{-1}} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ r \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w \\ r \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{2} & \frac{R}{2} \\ \frac{R}{2 \cdot L} & \frac{-R}{2 \cdot L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_l \\ w_r \end{bmatrix}$$

$$F_u = m_u \cdot \dot{u} + d_u$$

$$0 = m_v \cdot \dot{v} + m_{ur} \cdot u \cdot r + d_v$$

$$\Gamma = m_r \cdot \dot{r} + d_r$$

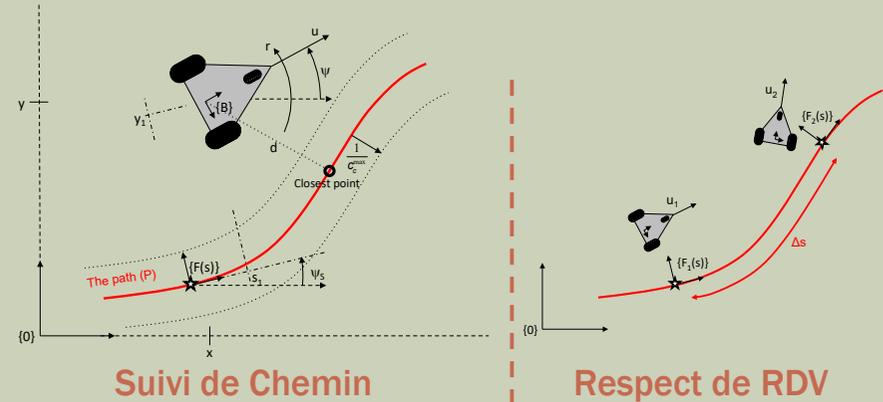
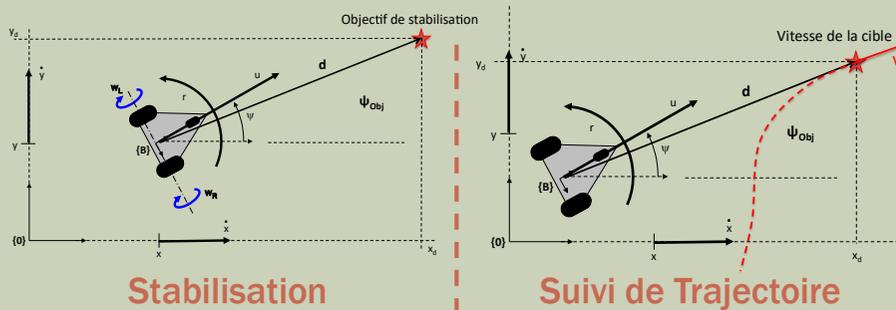
$$\mathbf{F}_B = \begin{bmatrix} F_u \\ \Gamma \end{bmatrix} = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{F}_m(w_{prop}, \delta)$$

La transposition de la solution non-holonome dépend de la forme de l'engin.

$$\frac{m_{ur}}{m_v} < 1 \quad 4$$

DE L'AUTOMATIQUE...

Le contrôle du mouvement



Il n'existe pas de loi continument dérivable qui puisse stabiliser un système non-holonome !!!
[BROCKETT 83]

- L'objectif est singulier.
- Une petite erreur provoque une grande manœuvre.
- Le linéarisé n'est plus contrôlable.
- AUV : perte de contrôlabilité en cas de courant portant (stalling).

Soit V une fonction de Lyapunov candidate :

$$V = \frac{1}{2} \cdot (s_1^2 + y_1^2) + \frac{1}{2 \cdot \gamma} \cdot (\theta - \delta)^2 > 0$$

Le choix suivant :

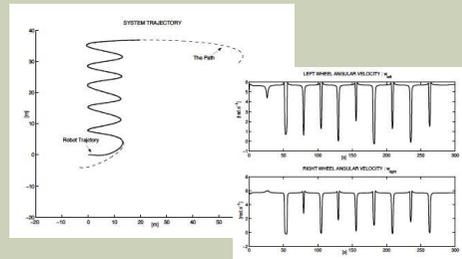
$$\begin{cases} \dot{s} = u \cdot \cos \theta + k_1 \cdot s_1 \\ r = \dot{\delta} - \gamma \cdot y_1 \cdot u \cdot \frac{\sin \theta - \sin \delta}{\theta - \delta} - k_2 \cdot (\theta - \delta) \\ u > 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \dot{V} \leq 0 \text{ et } \ddot{V} \text{ bornée} \xrightarrow{\text{Lemme de Barbalat}} \lim_{t \rightarrow \infty} (y_1, s_1, \theta) = 0$$

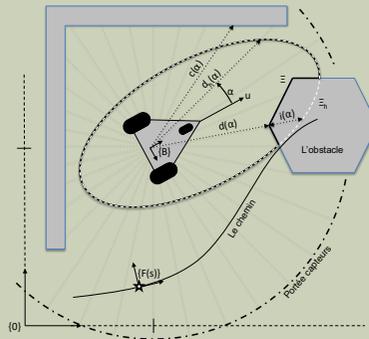
$$u_i = u_d + \frac{2 \cdot \arctan \Delta_s}{\pi} \cdot \Delta_u, \quad i = 1, 2 \xrightarrow{\text{Princ. Inv. LaSalle}} \lim_{t \rightarrow \infty} \Delta_s = 0$$

DE L'AUTOMATIQUE...

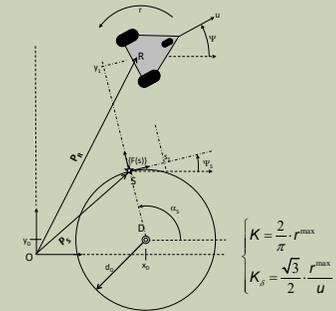
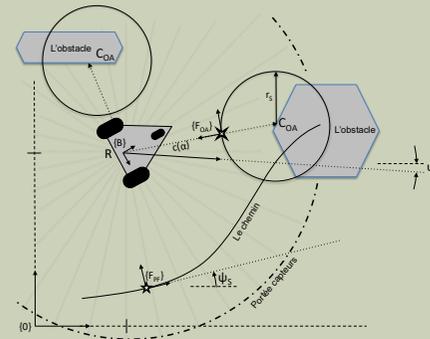
■ Extensions



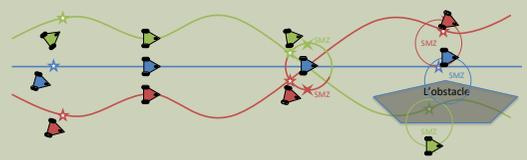
Saturation



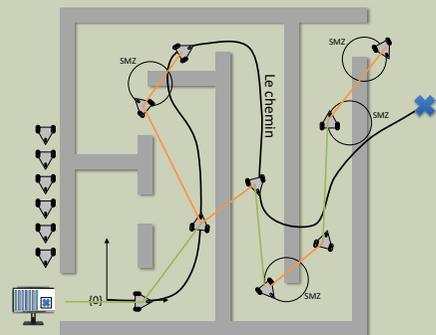
Evitement d'obstacles et suivi de chemin



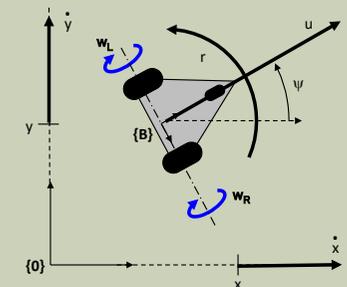
Stabilisation



Coord. Path Track.



Ombilical virtuel



Robustesse

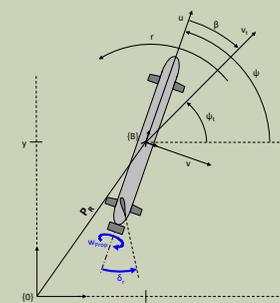


Schéma de commutations

Tenue de formation

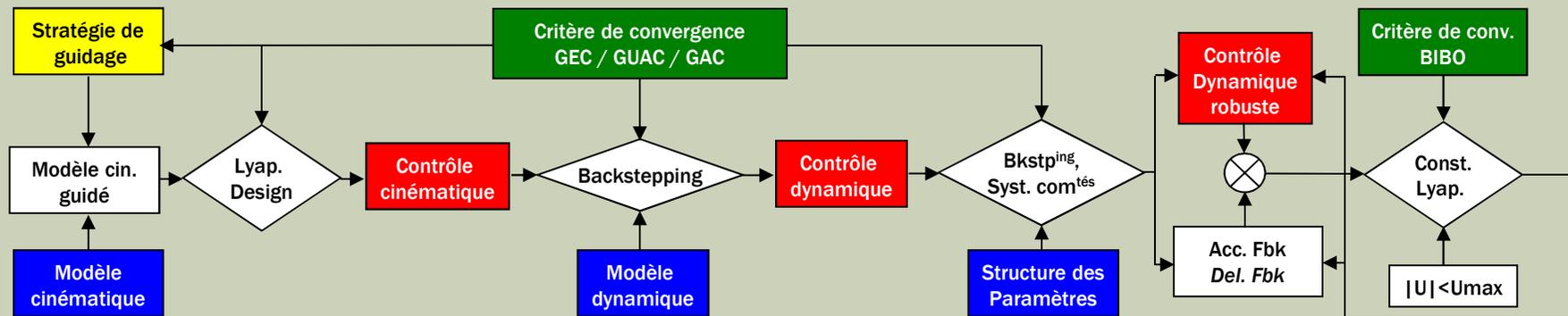
Evitement d'obstacle
Evitement de collision

Vers la notion de *garantie de service*

Loi adaptative

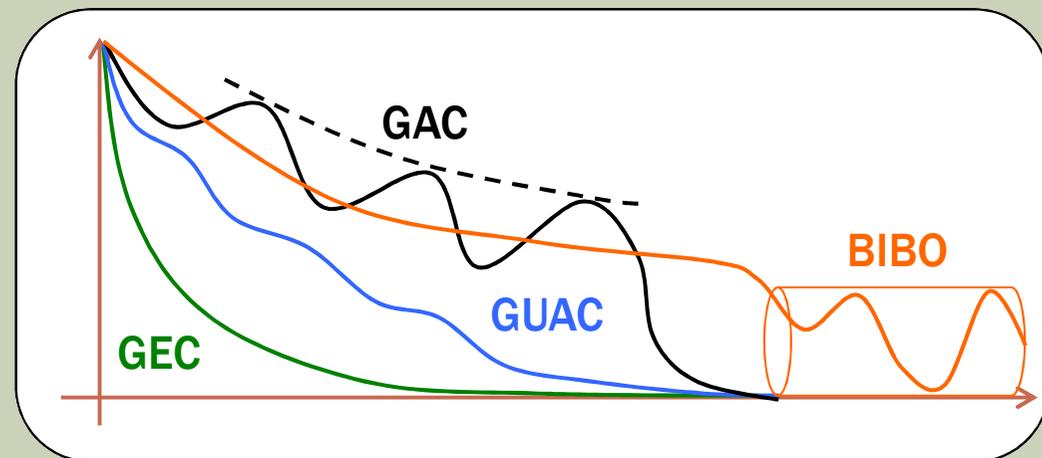
DE L'AUTOMATIQUE...

■ Design global



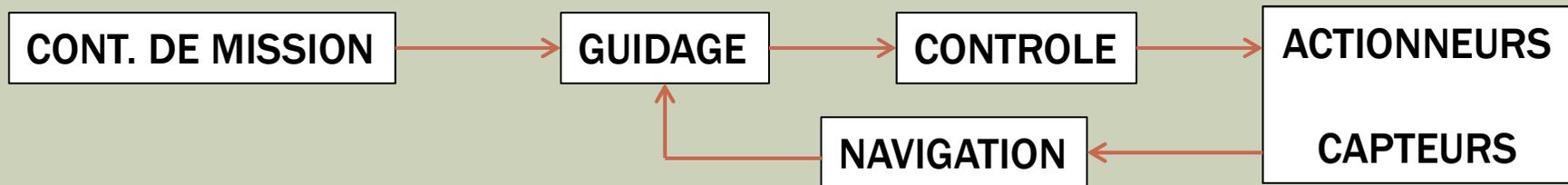
■ Performance associée

- GEC
- GUAC
- GAC
- BIBO



DE L'AUTOMATIQUE

- La commande NGC, un héritage de la marine.



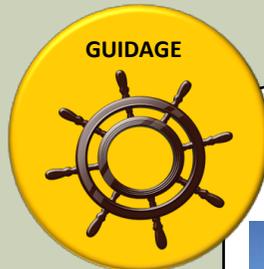
Où suis-je?



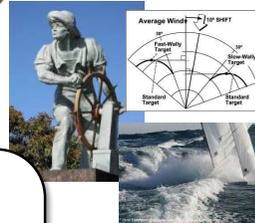
Où vais-je ?



The **Navigation System** provides estimates of the vehicle states based on a set of motion sensor suites.



Comment approcher mon objectif?



The **Guidance system** processes Navigation/ Inertial reference trajectory data and output **set-points** for desired vehicle's velocity and attitude



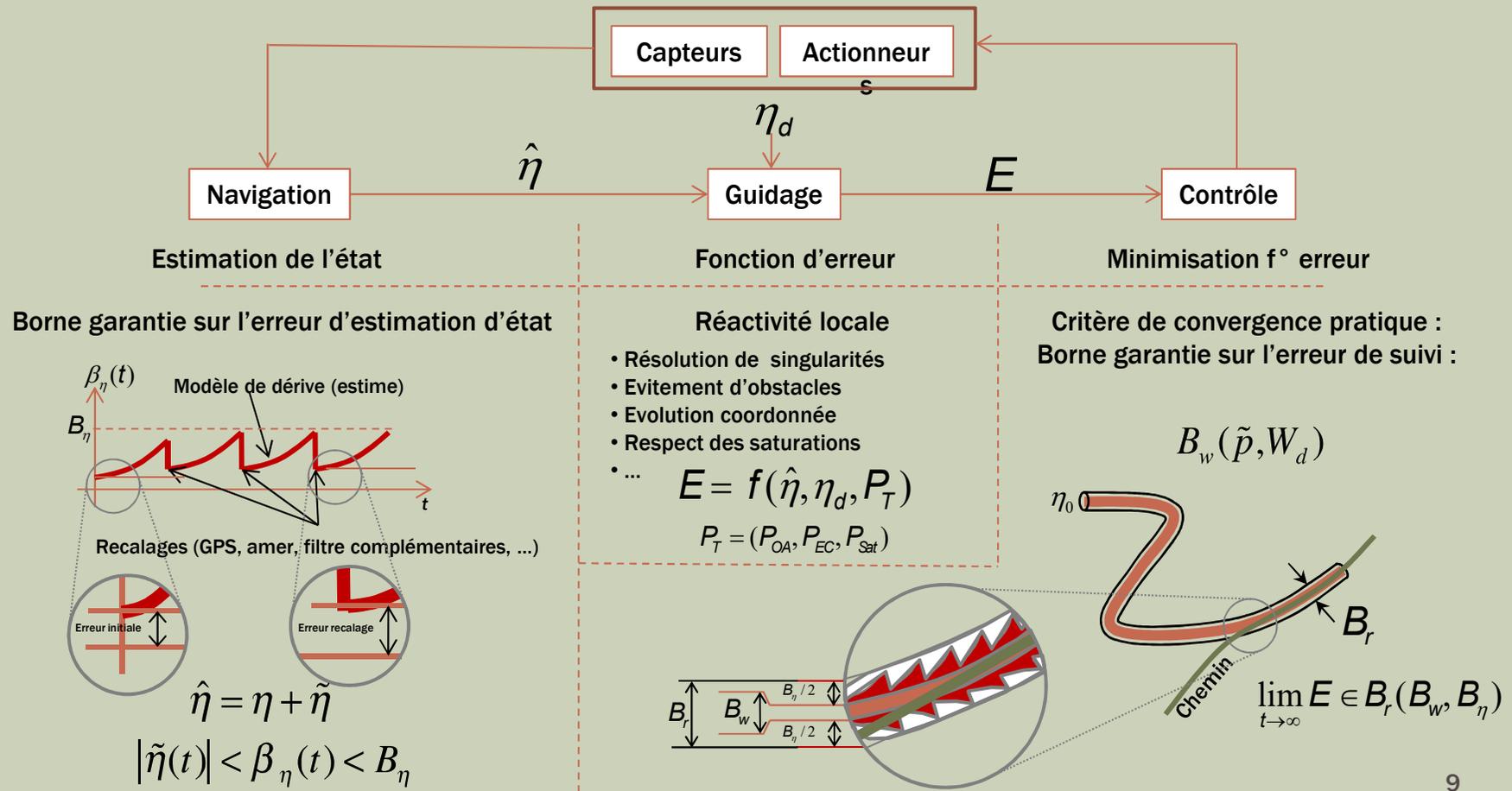
Comment agir ?



The **Control system** generates actuator signals to drive the actual velocity and attitude of the vehicle to the values provided by the **Guidance system**.

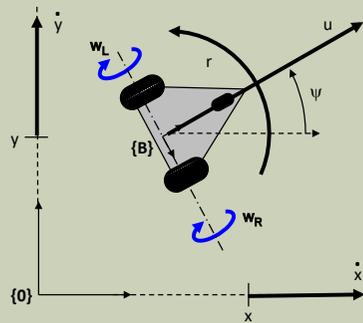
DE L'AUTOMATIQUE...

■ La commande NGC : garanties de performance (GEC, GUAC, BIBO)



DE L'AUTOMATIQUE...

■ Réification et propriétés de l'étage d'actionnement



$$\begin{bmatrix} u \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{2} & \frac{R}{2} \\ \frac{R}{2 \cdot L} & \frac{-R}{2 \cdot L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_l \\ w_r \end{bmatrix}$$

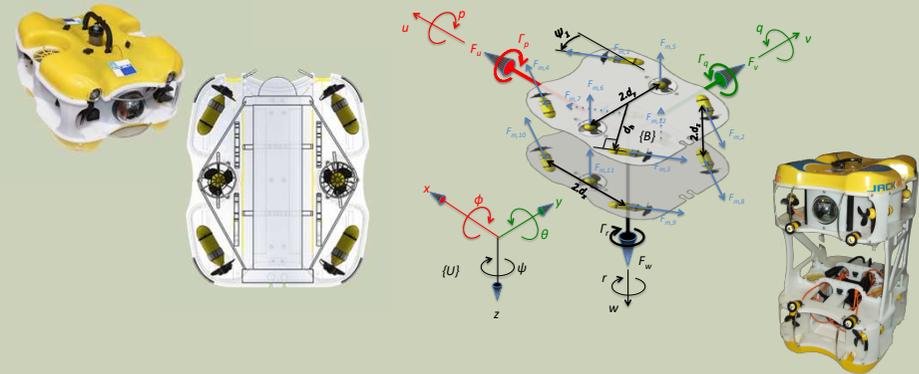
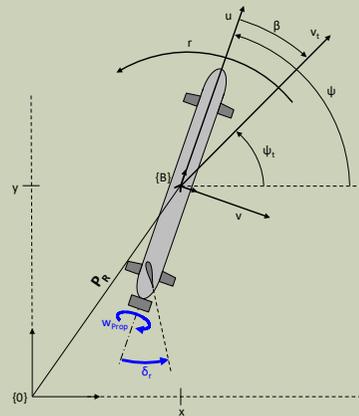
$$F_u = m_u \cdot \dot{u} + d_u$$

$$0 = m_v \cdot \dot{v} + m_{ur} \cdot u \cdot r + d_v$$

$$\Gamma = m_r \cdot \dot{r} + d_r$$

$$\mathbf{F}_B = \begin{bmatrix} F_u \\ \Gamma \end{bmatrix} = \mathbf{M}_A \cdot \mathbf{F}_m(w_{prop}, \delta)$$

$$\frac{m_{ur}}{m_v} < 1$$



$$\mathbf{F}_B = \mathbf{C} \cdot \mathbf{F}_m$$

$$\mathbf{F}_m = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{C}^+ & \mathbf{M}_m \end{bmatrix}}_{\mathbb{R}} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{F}_B^d \\ \mathbf{R}_m \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{F}_B = \mathbf{C} \cdot \mathbf{C}^+ \cdot \mathbf{F}_B^d \quad (\text{si } \mathbf{M}_m \in \ker \mathbf{C} \text{ et } \forall \mathbf{R}_m)$$

$$\mathbf{F}_B = \mathbf{C} \cdot \mathfrak{M} \cdot \mathbf{Q} \cdot \hat{\mathfrak{M}}^{-1} \cdot \mathbb{R} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{F}_B^d \\ \mathbf{R}_m \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{F}_B = k_Q \cdot \mathbb{I}_n \cdot \mathbf{F}_B^d$$

Systèmes sous-actionnés

Systèmes sur-actionnés

DE L'AUTOMATIQUE...

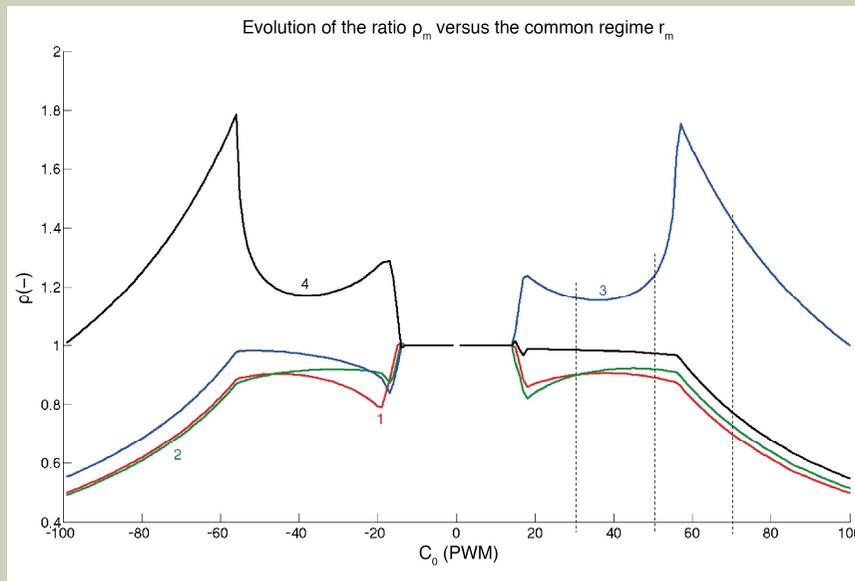
■ Réification et propriétés de l'étage d'actionnement

NAVIGATION

GUIDAGE

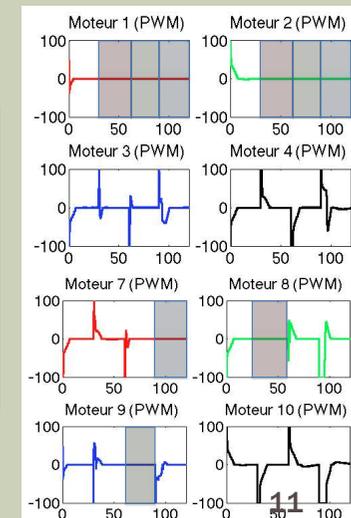
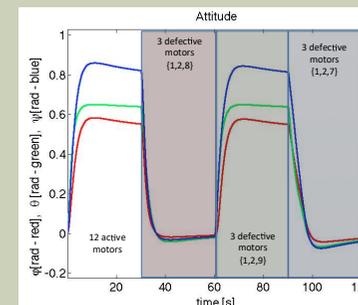
CONTROLE

ETAGE D'ACTIONNEMENT



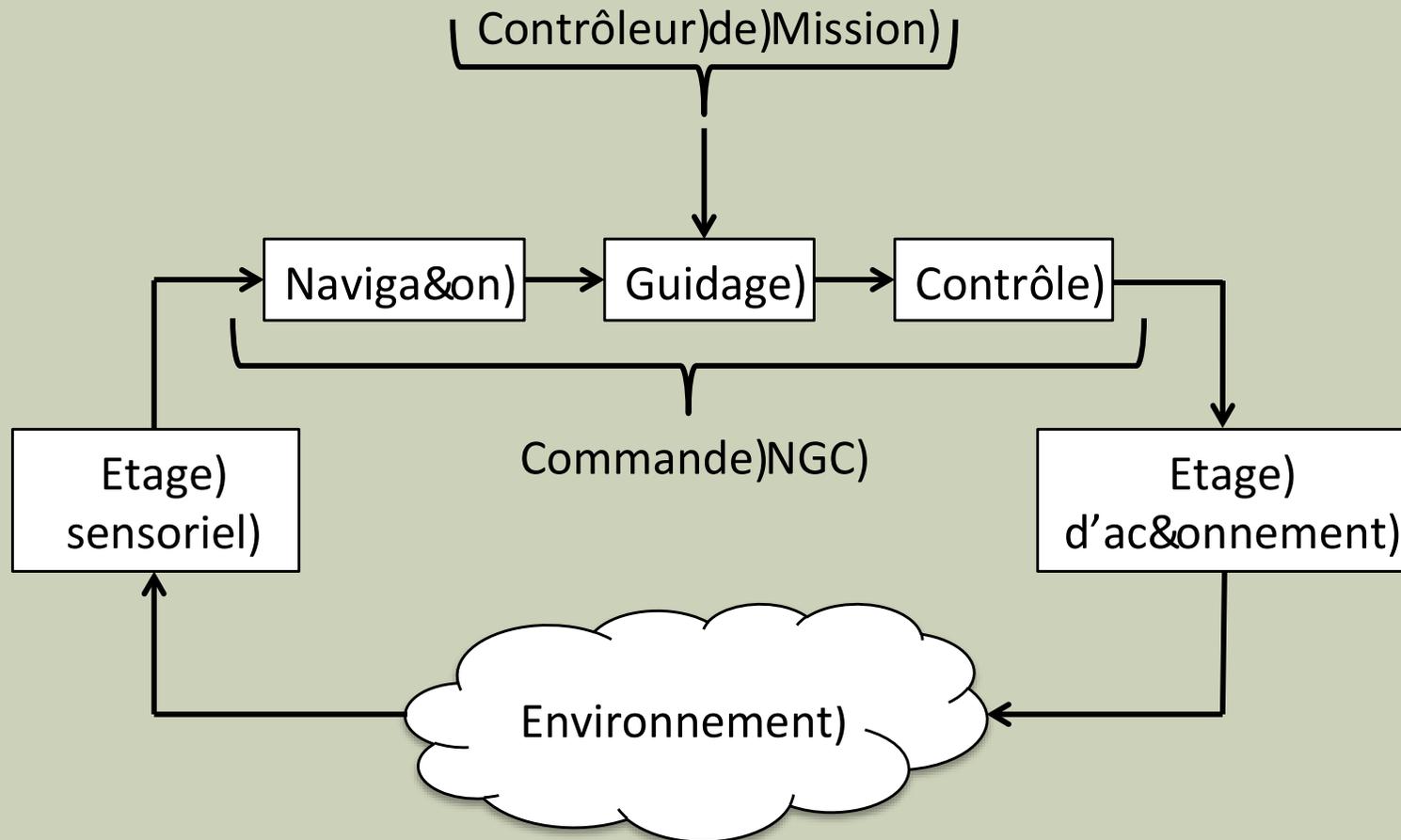
$$\mathbf{F}_B = \mathbf{C} \cdot \mathcal{M} \cdot \mathbf{Q} \cdot \hat{\mathcal{M}}^{-1} \cdot \mathbb{R} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{F}_B^d \\ \mathbf{R}_m \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{F}_B = k_Q \cdot \mathbb{I}_n \cdot \mathbf{F}_B^d$$

Robustesse
Découplage B0
Pilotage de la réactivité
Tolérance aux pannes



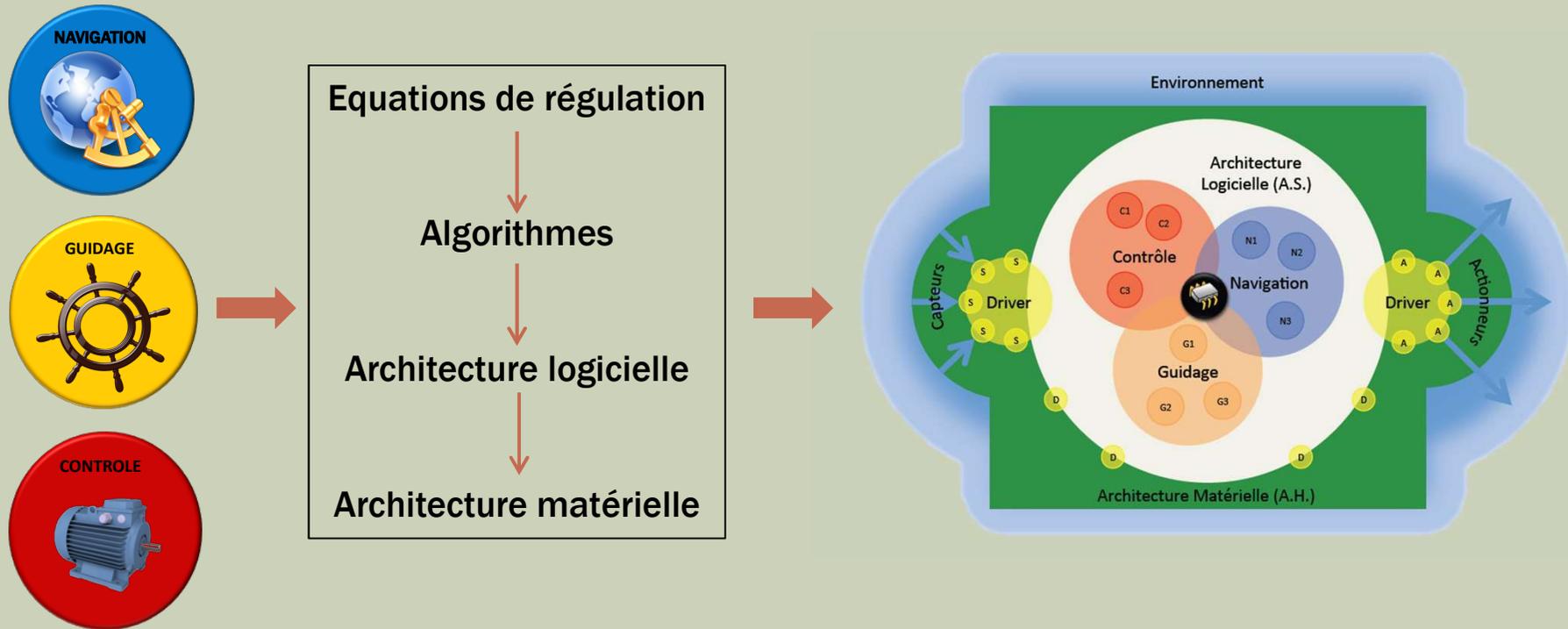
DE L'AUTOMATIQUE...

- La commande S-NGC-A



... AU ROBOT

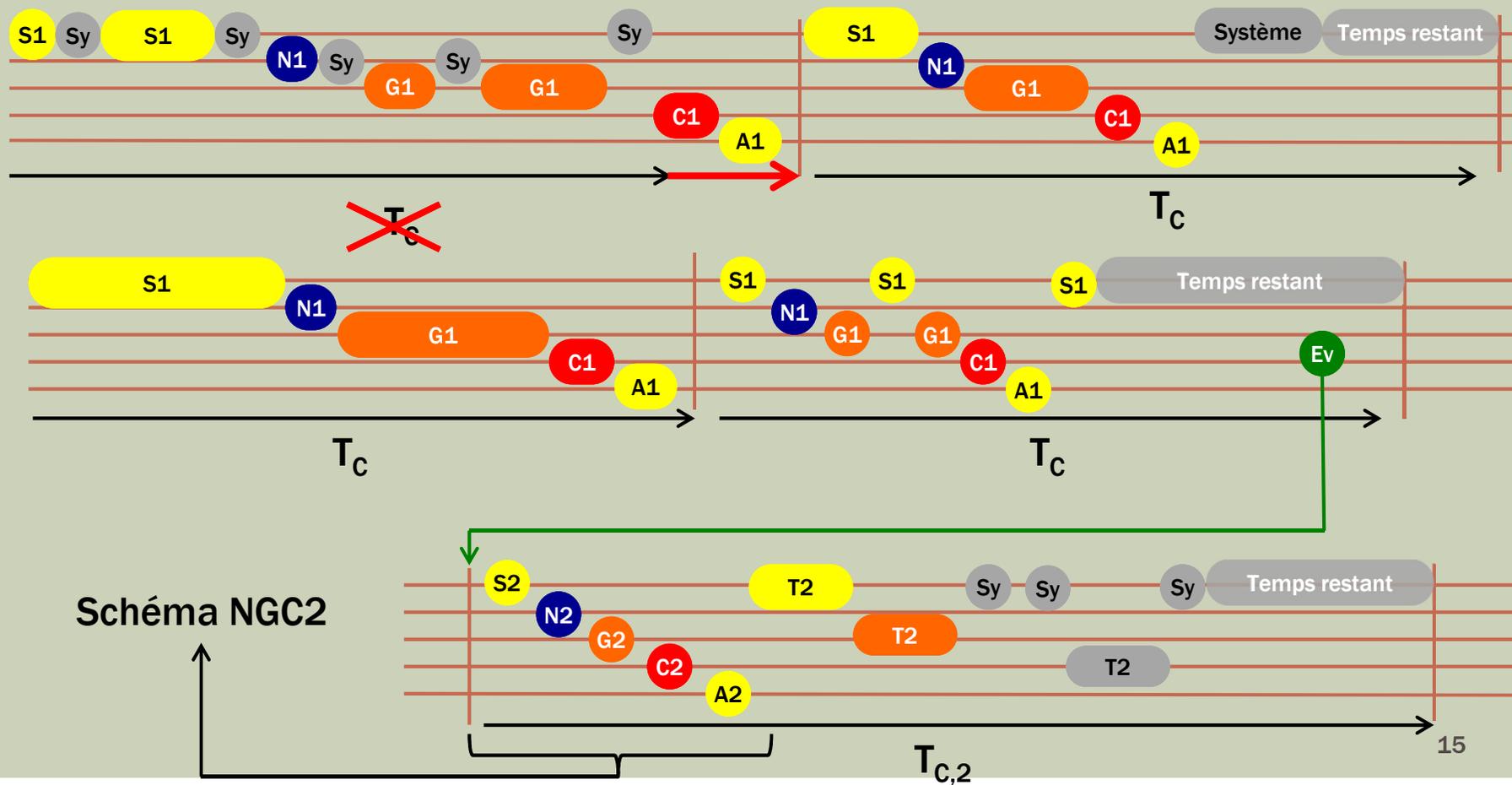
■ Le processus d'implémentation



Que deviennent les garanties de l'automaticien ?

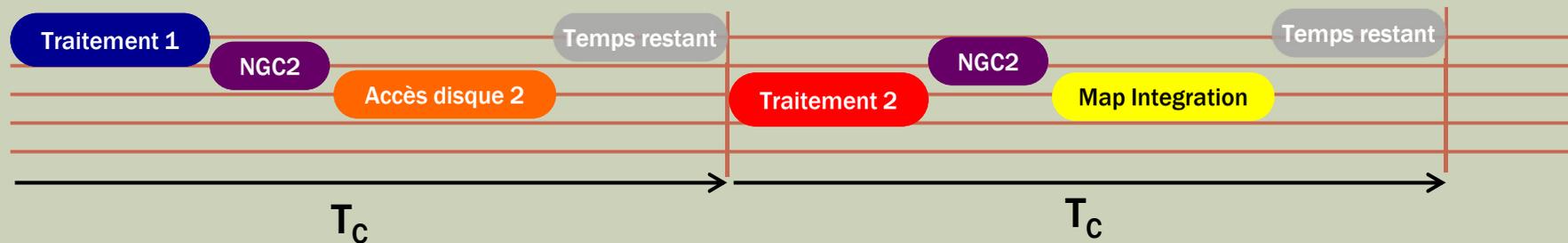
... AU ROBOT

La partition d'exécution (produite par ContrACT)



... AU ROBOT

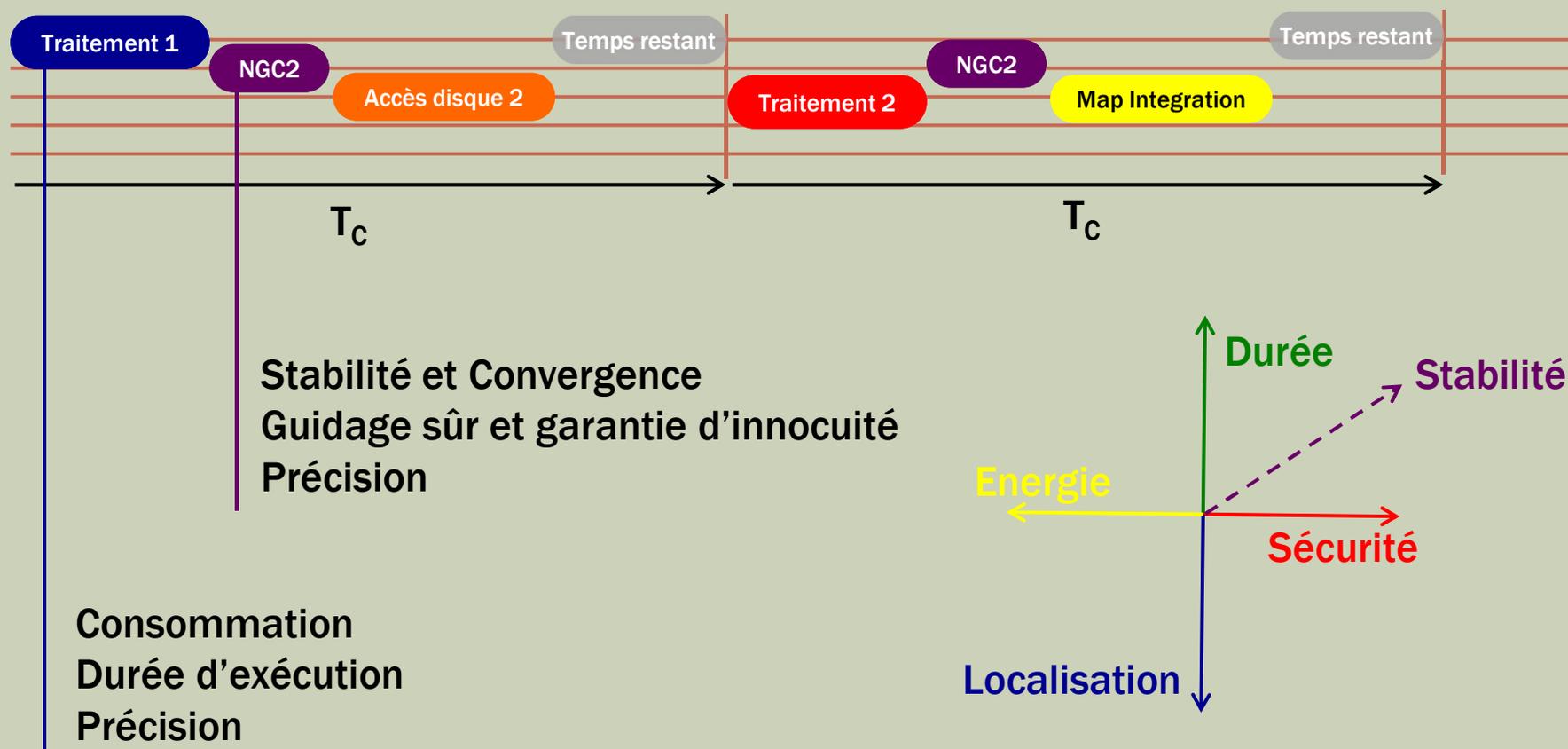
- La partition d'exécution (produite par ContrACT)



- Jouer avec des temporalités différentes
 - Continu/discrète
 - Périodique et multi-périodiques
 - Évènementielle

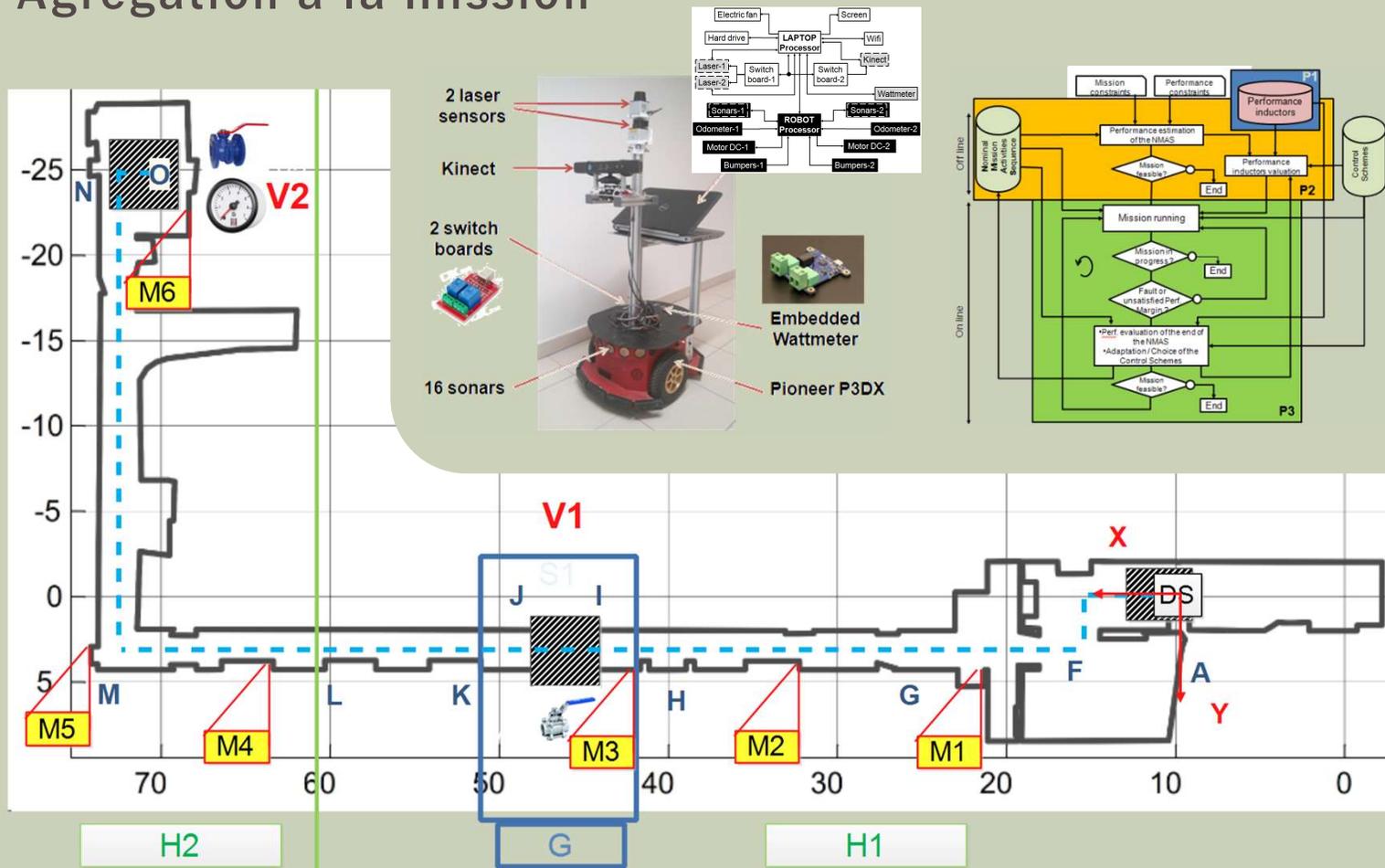
... AU ROBOT

- Evaluation de la performance depuis les schémas



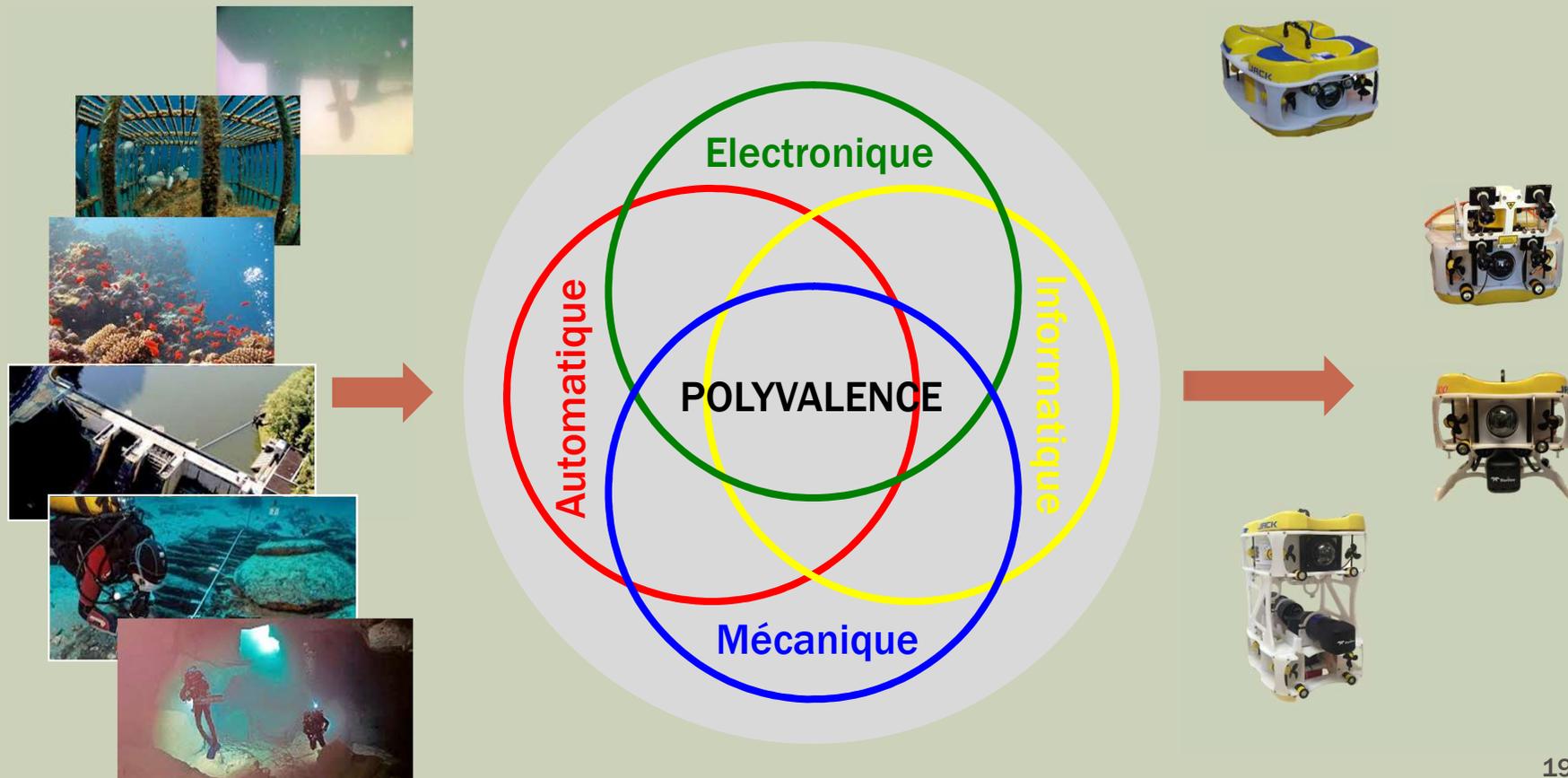
... AU ROBOT

■ Agrégation à la mission



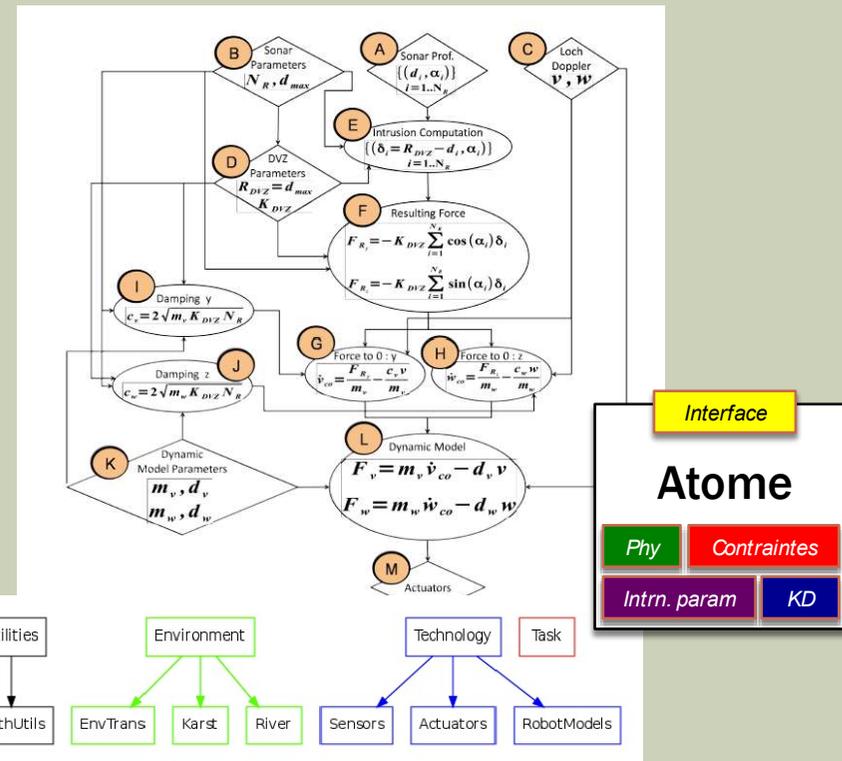
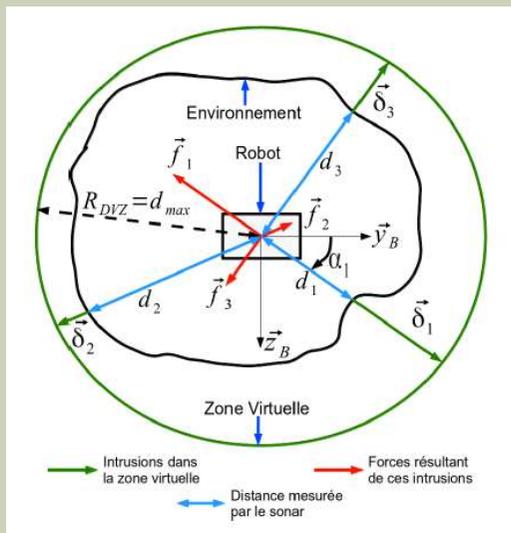
LE PROJET REEA

- La *polyvalence* pour répondre à la diversité des applications
 - *Spécialiser* le système pour répondre à l'utilisateur.



LE PROJET REEA

- La polyvalence pour répondre à la diversité des applications
 - Spécialiser le système pour répondre à l'utilisateur.
 - Décomposition atomique en fonction de l'origine des connaissances



$$F_{Ry} = -K_{DVZ} \sum_{i=1}^{N_R} \cos(\alpha_i) \delta_i$$

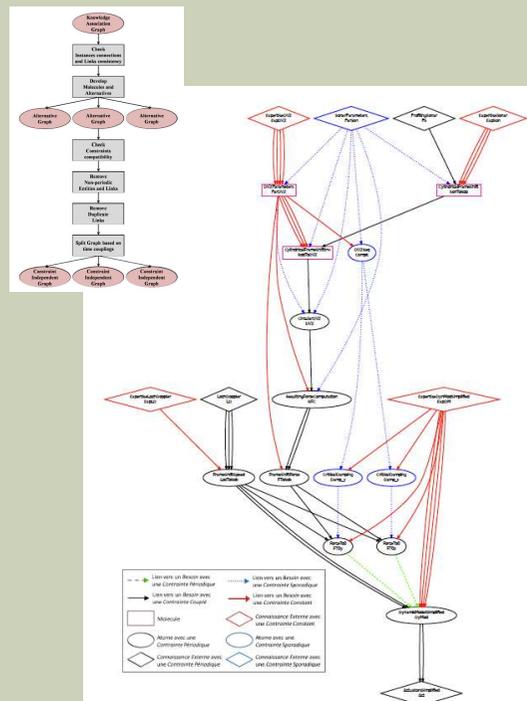
$$F_{Rz} = -K_{DVZ} \sum_{i=1}^{N_R} \sin(\alpha_i) \delta_i$$

$$\dot{v}_{co} = \frac{F_{Ry}}{m_v} - \frac{c_v v}{m_v}$$

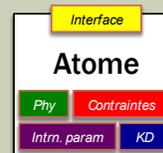
$$\dot{w}_{co} = \frac{F_{Rz}}{m_w} - \frac{c_w w}{m_w}$$

LE PROJET REEA

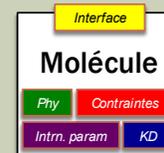
- La *polyvalence* pour répondre à la diversité des applications
 - *Spécialiser* le système pour répondre à l'utilisateur.
 - Décomposition atomique en fonction de l'origine des connaissances



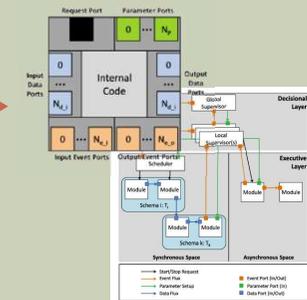
Graphe d'association de connaissances



diffusion des contraintes de connexion et temporelle



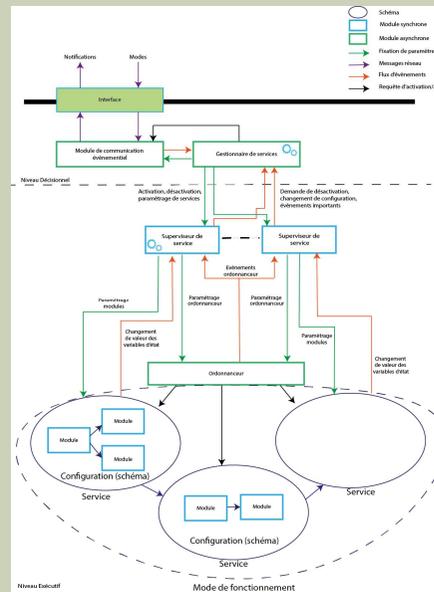
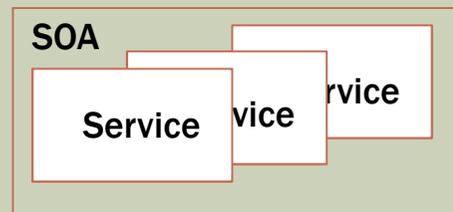
Règles de projection sur ContrACT



Composition avec vérification du respect des contraintes

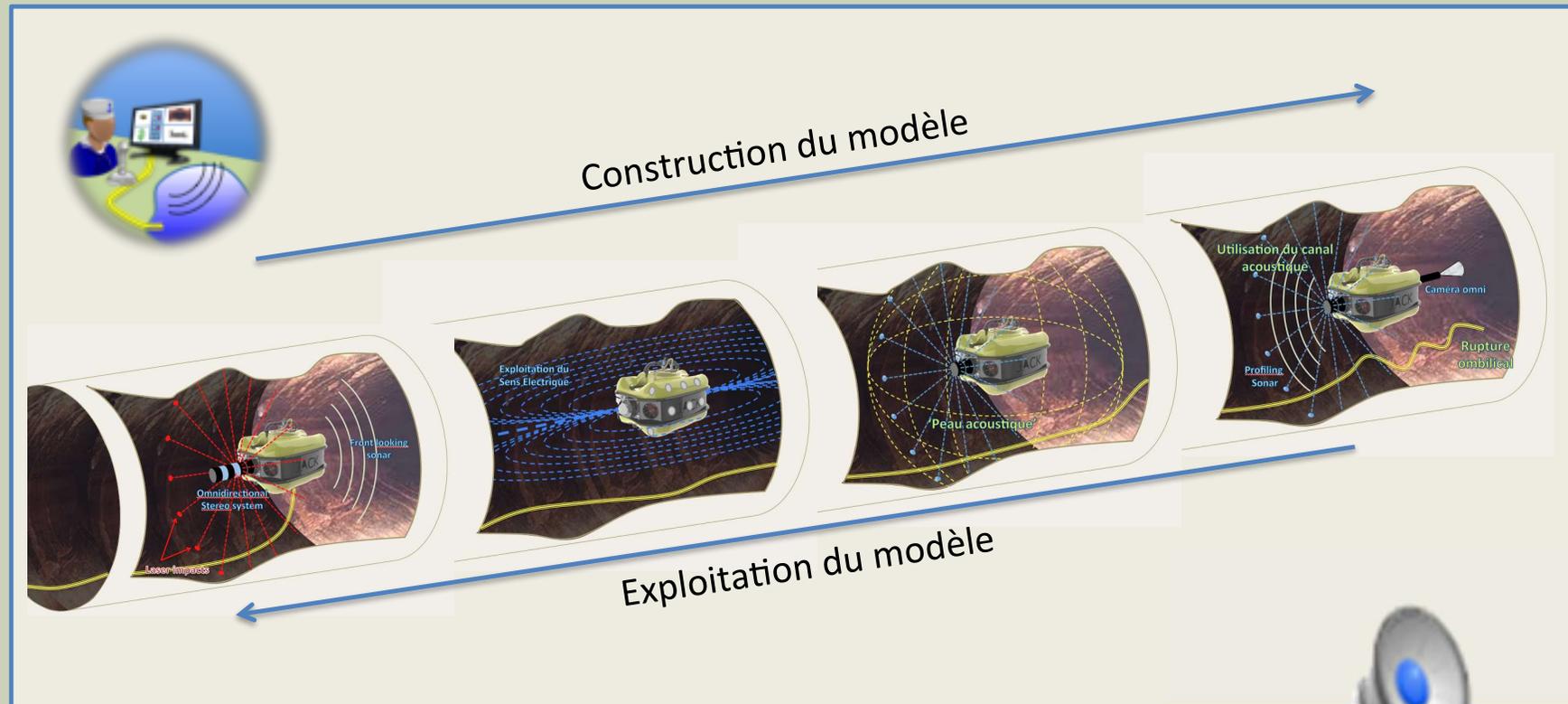
LE PROJET REEA

- La *polyvalence* pour répondre à la diversité des applications
 - *Spécialiser* le système pour répondre à l'utilisateur.
 - Décomposition atomique en fonction de *l'origine des connaissances*
 - *Architecture Orientée Services*.



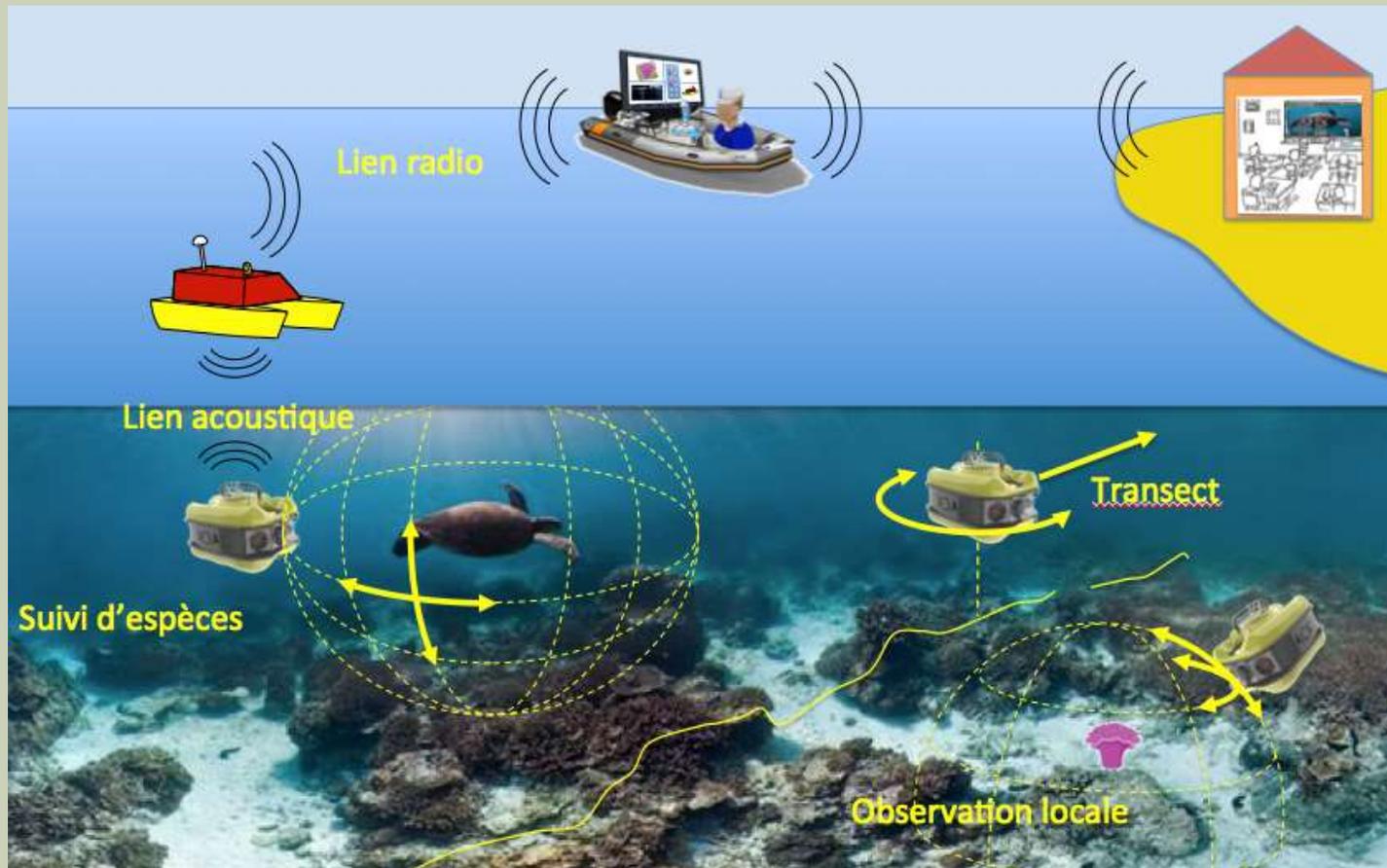
LE PROJET REEA

■ Robotique d'Exploration Karstique : REK



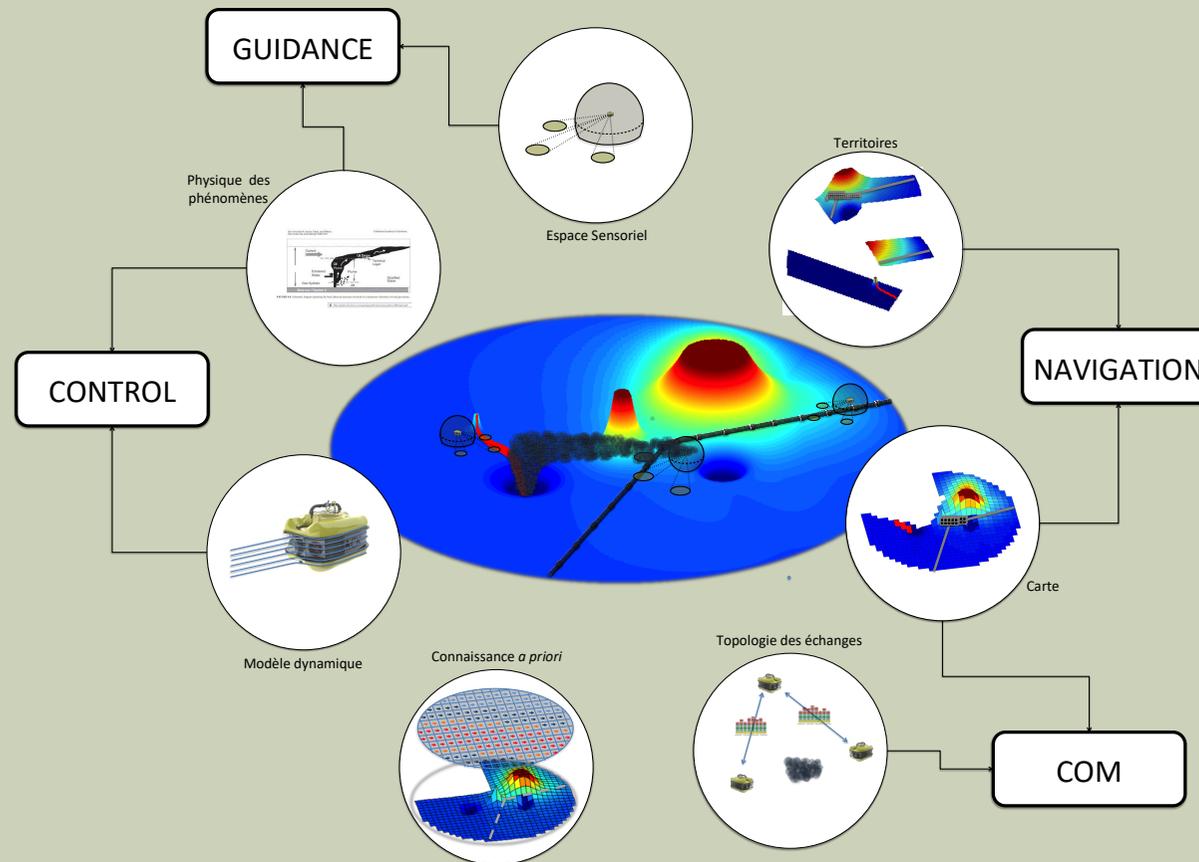
LE PROJET REEA

■ *Marine Diversity Assessment* : MDA



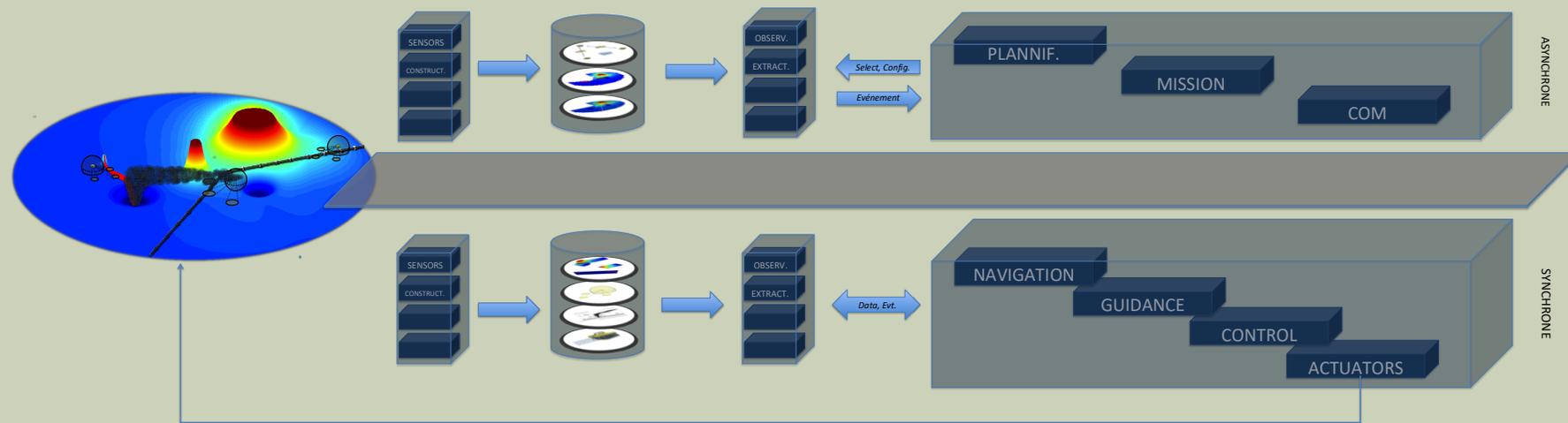
PERSPECTIVES

- Espace sensoriel : la carte, le territoire, l'espace sensoriel courant



PERSPECTIVES

- Espace sensoriel : la carte, le territoire, l'espace sensoriel courant, des granularités spatio-temporelles spécifiques.



PERSPECTIVES

- Les problèmes inverses
 - Quelle capacité de calcul pour garantir la stabilité ?
 - Calcul opportuniste du contrôle ?
 - Un juste dimensionnement du système.
- *Autonomic Computing* et Systèmes Cyber-physiques

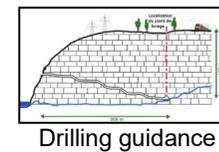
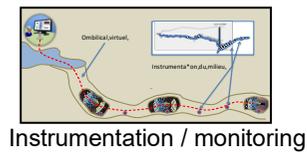
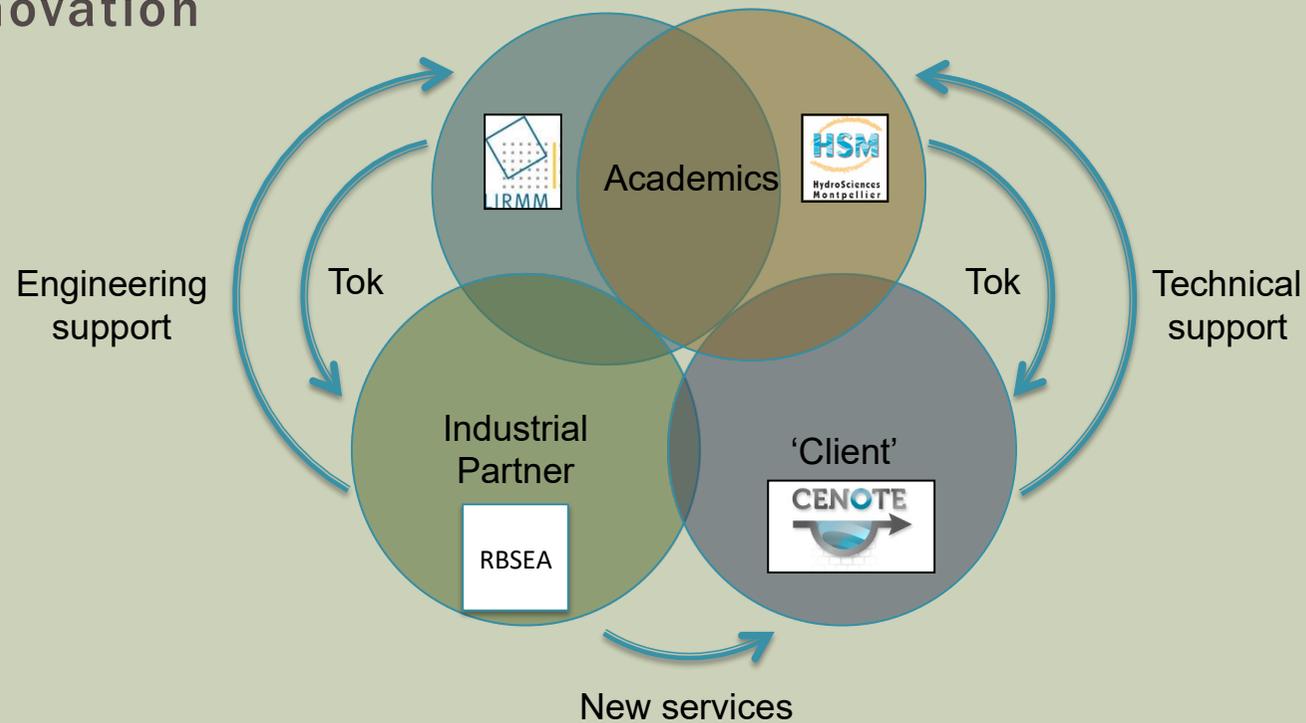
À LA RECHERCHE DE GARANTIES DE PERFORMANCE EN ROBOTIQUE MOBILE

Application au
contexte
subaquatique

L. Lapierre, HDR 2015

LE PROJET REEA

- Le cercle vertueux : la transdisciplinarité comme terrain de l'innovation



LE PROJET REEA

- RoBotique de Service en Environnement Aquatique : RBSEA

