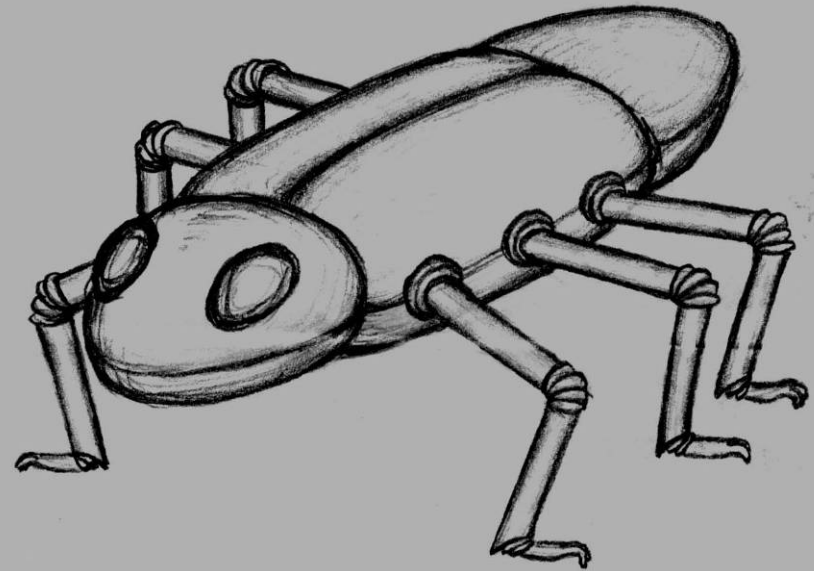




Pilotage d'un robot hexapode avec un Réseau de Neurones Artificiels



ORYTHIE

Nous sommes un Bureau d'Études :

- Acoustique / Hydraulique / Prototypes
- Création en août 2005
- 3/4 personnes + moult partenaires
- CA 2011 = 200 K€
- Atelier outillé avec machines CN
- CIR depuis 2008
- Paris centre



L'équipe

Ou, ceux qui participent à l'aventure ...

- Valery HAMEL – Hydraulicien – Ingénieur
- Matei GHEORGHIU – Sociologue EHESS
- Camille HAMEL – Acousticien – DEA
- Partenaires : Mocaplab, CdF, ...



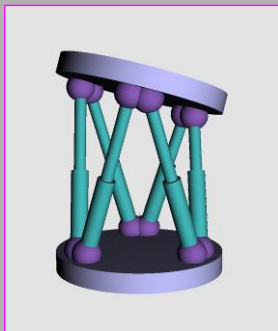
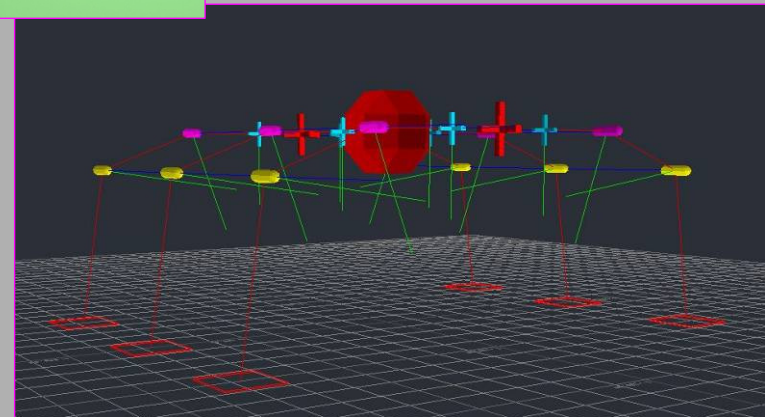
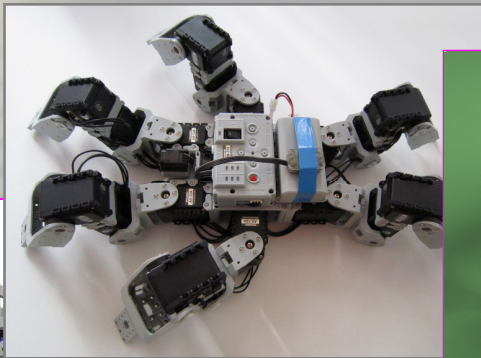
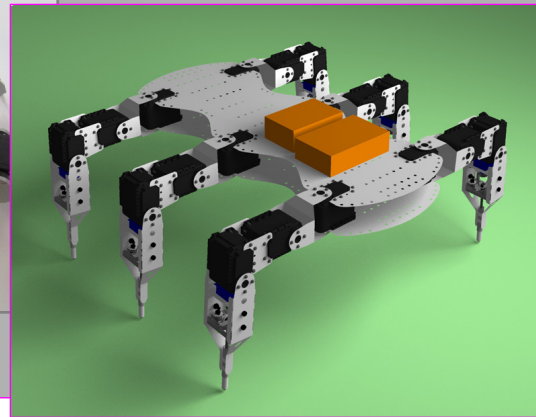
Le projet

Les bases, le contexte et les moyens

- Objectif : Pilotage d'un robot hexapode
- Application : Confidentielle
- Délai : aucun, débute en 2005
- Budget : 20 K€ / an + CIR
- Situation actuelle : finalisation du pilotage
- Nb prototypes : 4
- Reste à faire : 40% du prototype fonctionnel (N°5),
à l'échelle 1

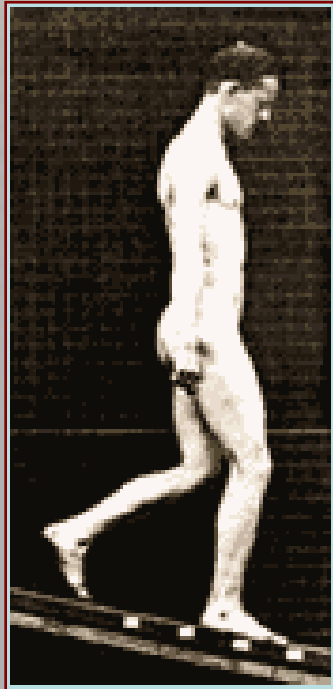
Un robot hexapode

Le nôtre est un robot mobile à six pattes



Dynamique globale

Nous souhaitons effectuer les mouvements suivants :



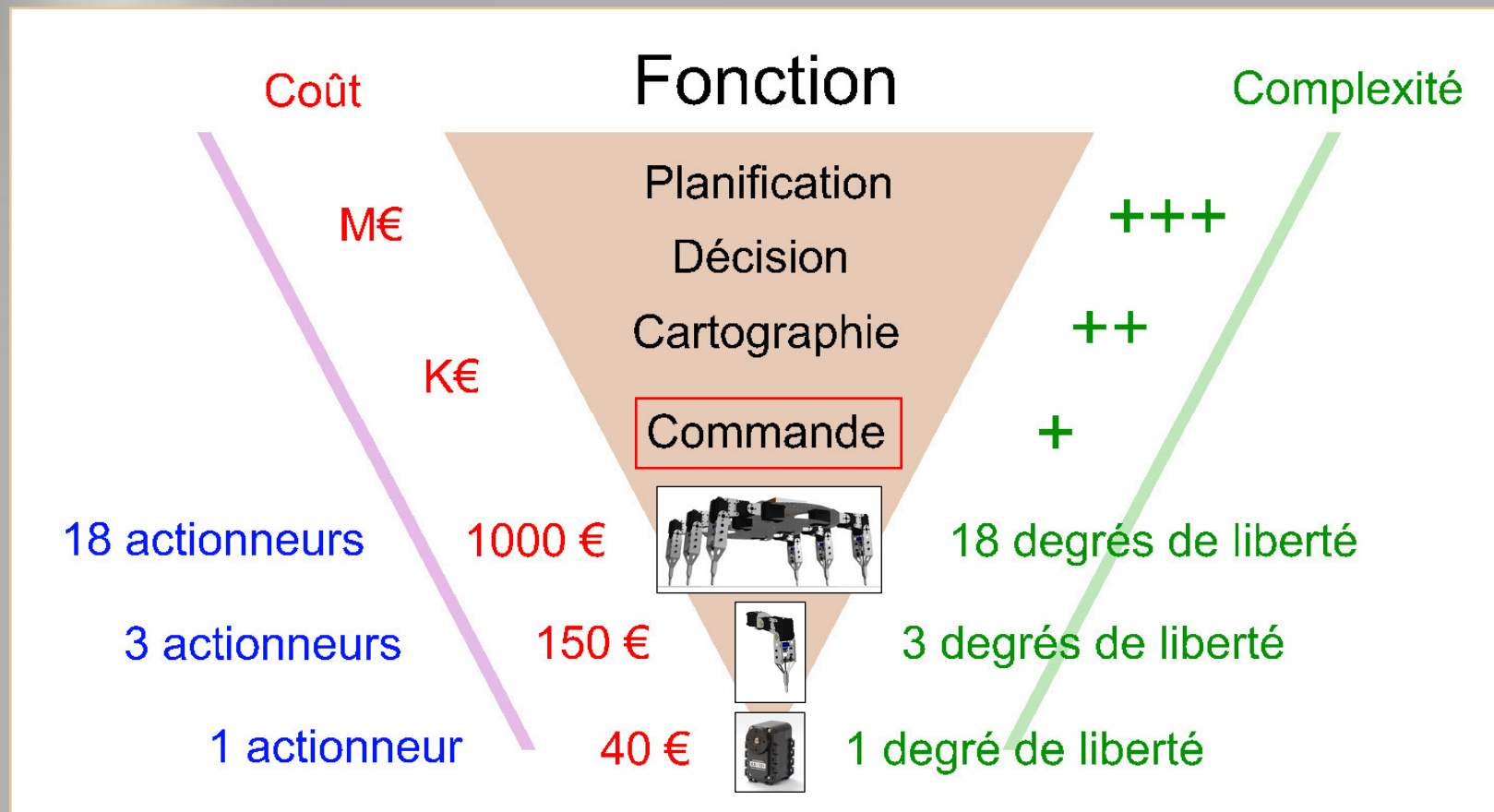
- Marche avant
- Marche arrière
- Pivot statique
- Virage pendant la marche
- Maintient de l'assiette

Et plus tard nous envisagerons :

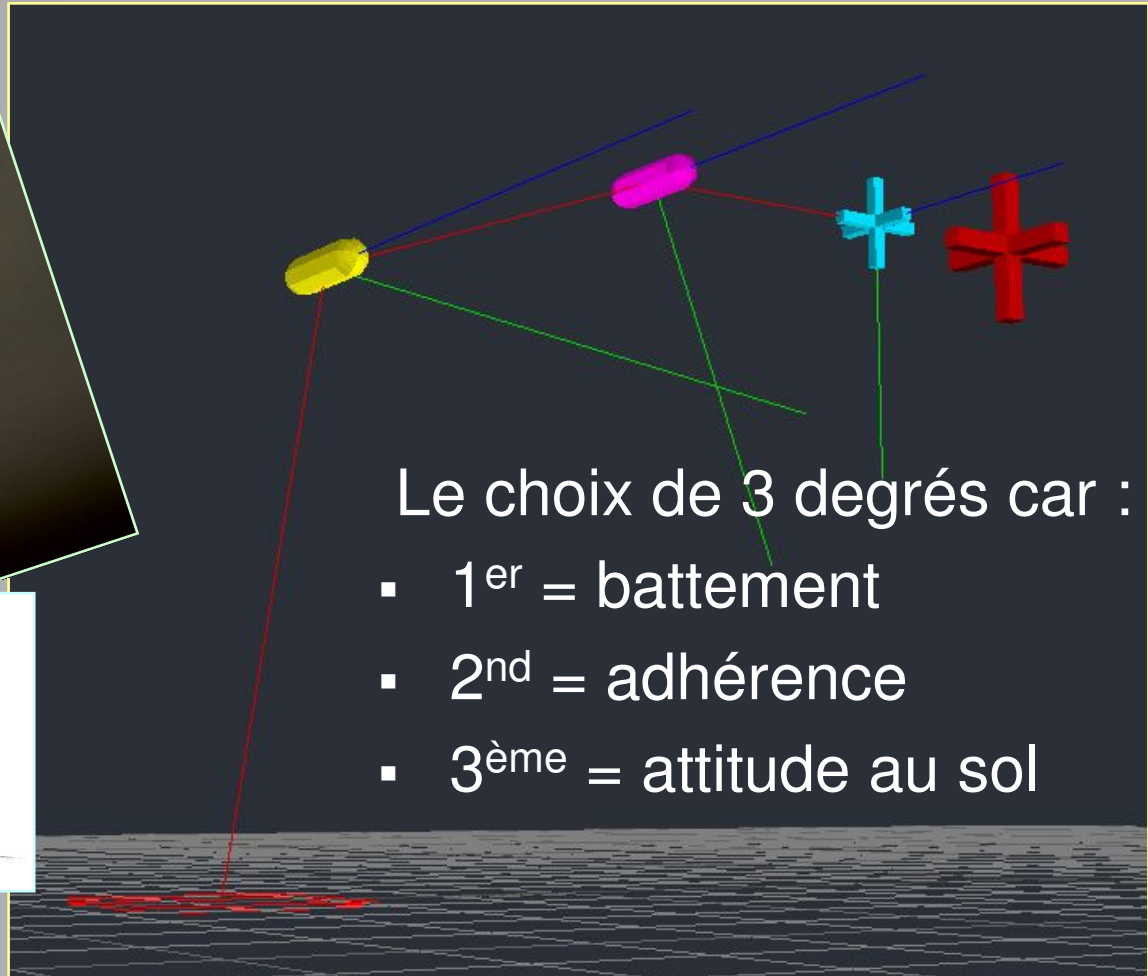
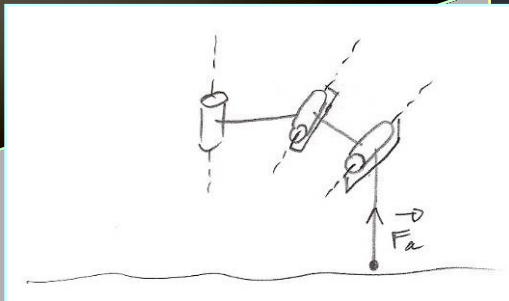
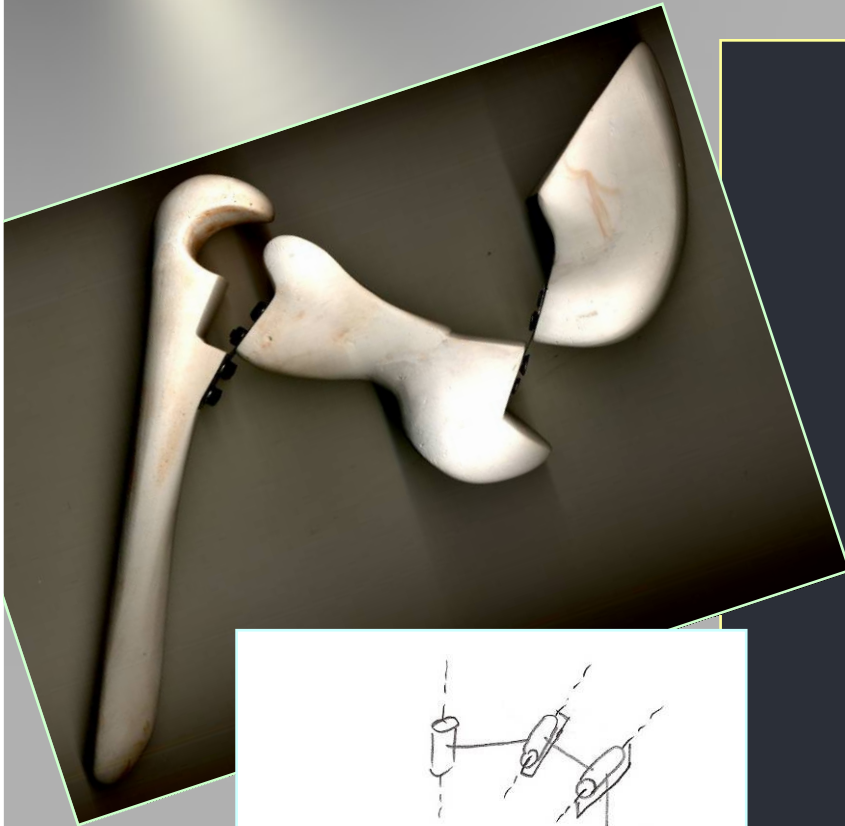
- Allures variables

Pyramide de la complexité

Ou comment situer notre projet dans le contexte



6 pattes à 3 degrés de liberté

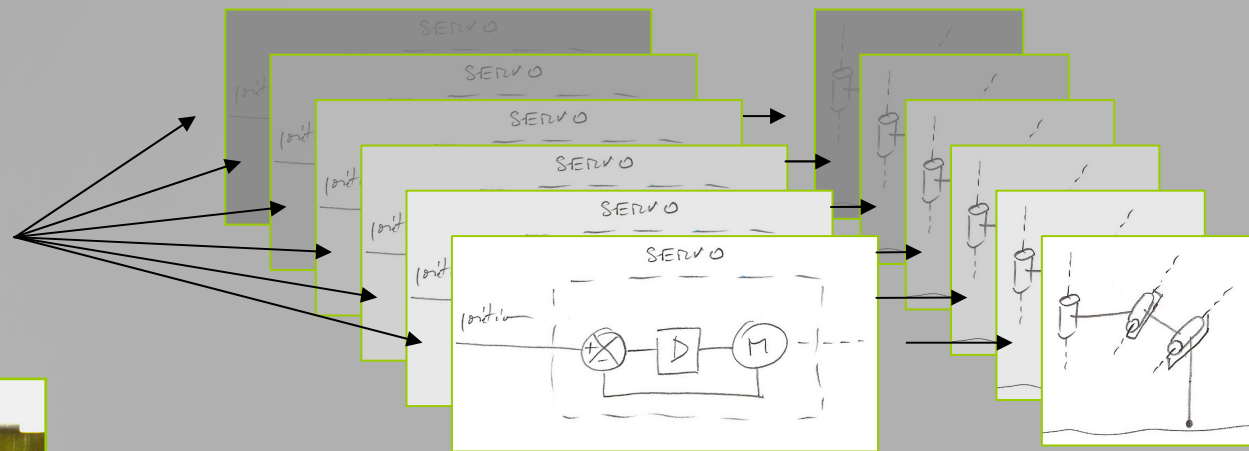
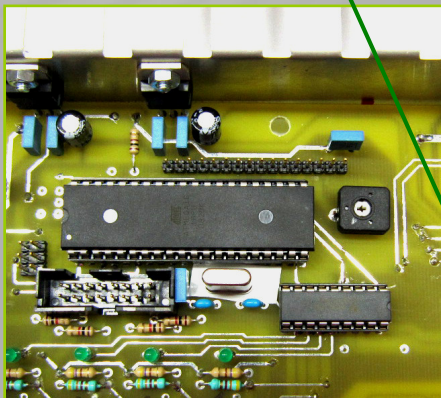
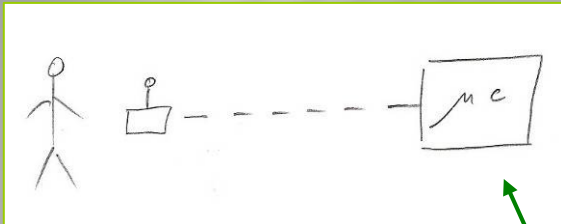


Le choix de 3 degrés car :

- 1^{er} = battement
- 2nd = adhérence
- 3^{ème} = attitude au sol

Commande

Un schéma de principe et des organes physiques

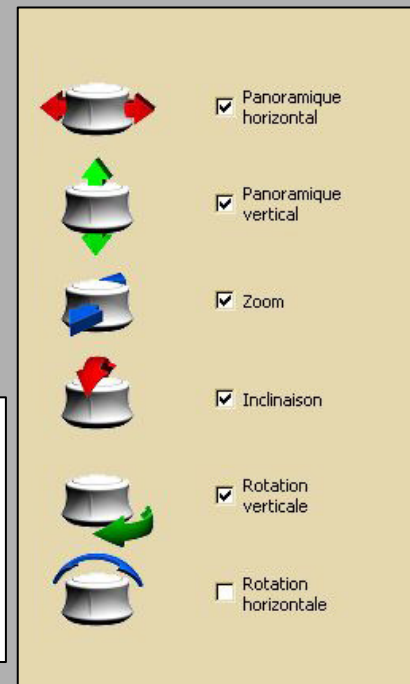


Mesure des efforts d'appui

Choix des RNA

... Quelques caractéristiques bien utiles ...

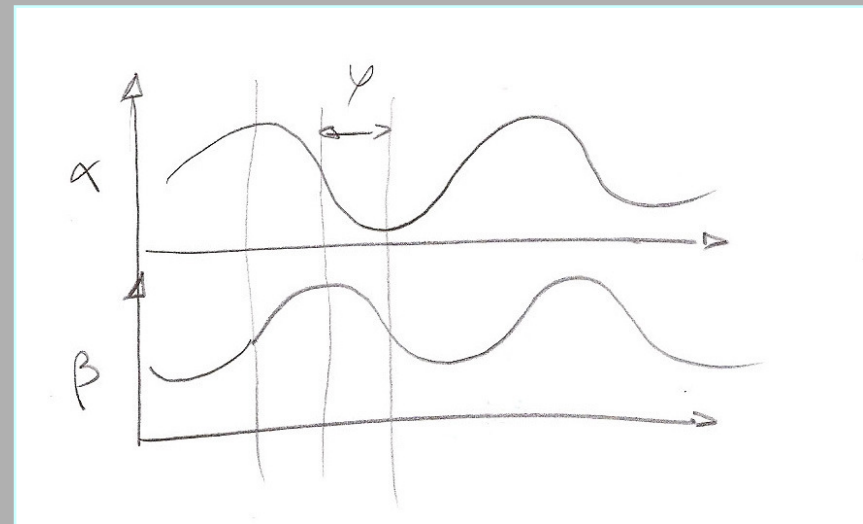
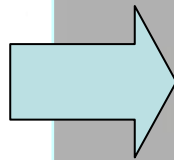
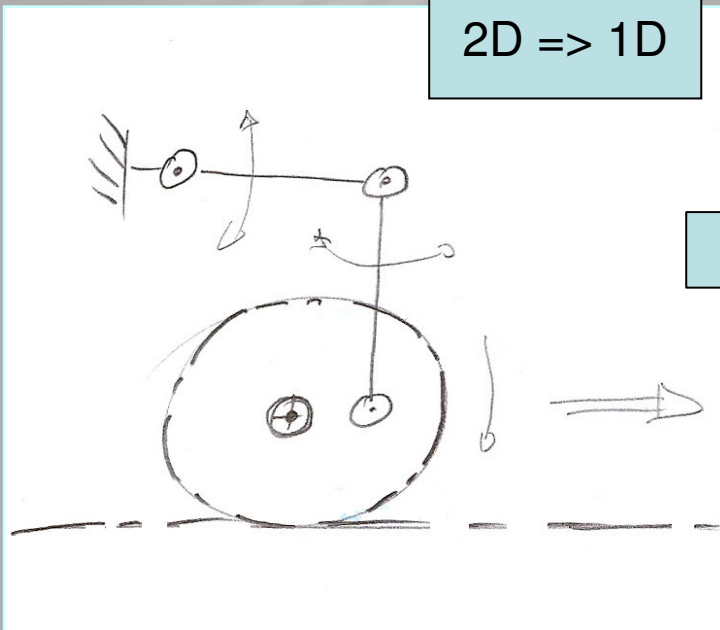
- IHM : Agrégation d'informations
- " Organique " dont H^{-1} (actionneurs)
- Abstraction et souplesse
- Apprentissage et évolutivité
- Mimétisme et optimalité
- Intérêt du concept intellectuel
- Sûreté de fonctionnement



Une patte, 1/3

Créer le mouvement élémentaire de la roue :
dans le plan des pivots

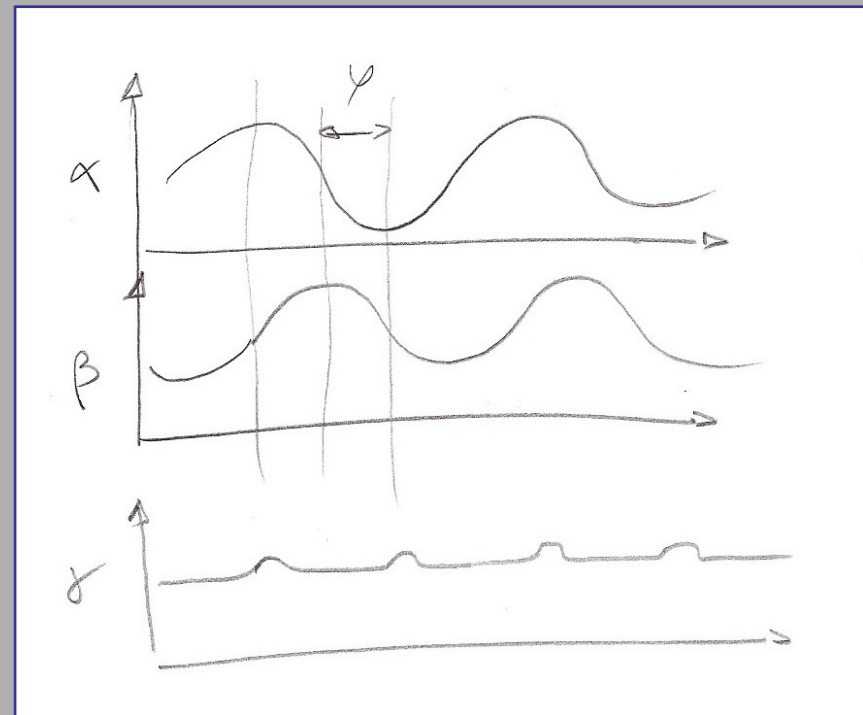
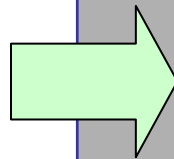
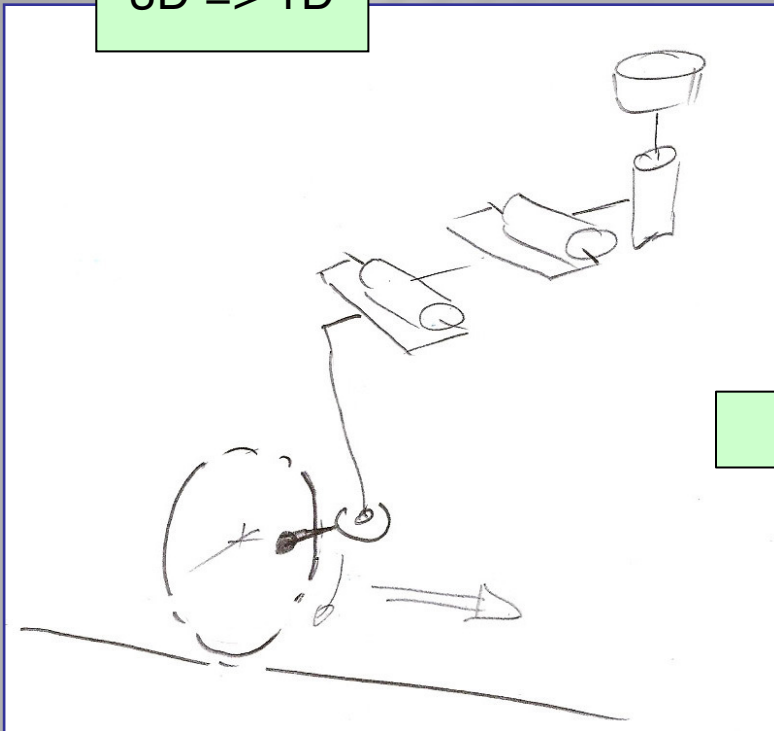
2D => 1D



Une patte, 2/3

Créer le mouvement élémentaire de la roue
dans un plan perpendiculaire à celui des pivots

3D => 1D

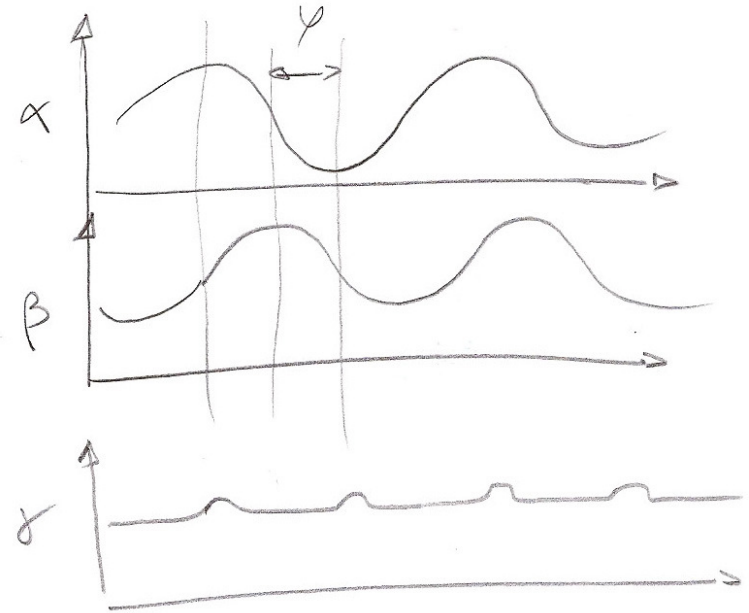
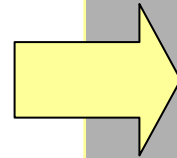
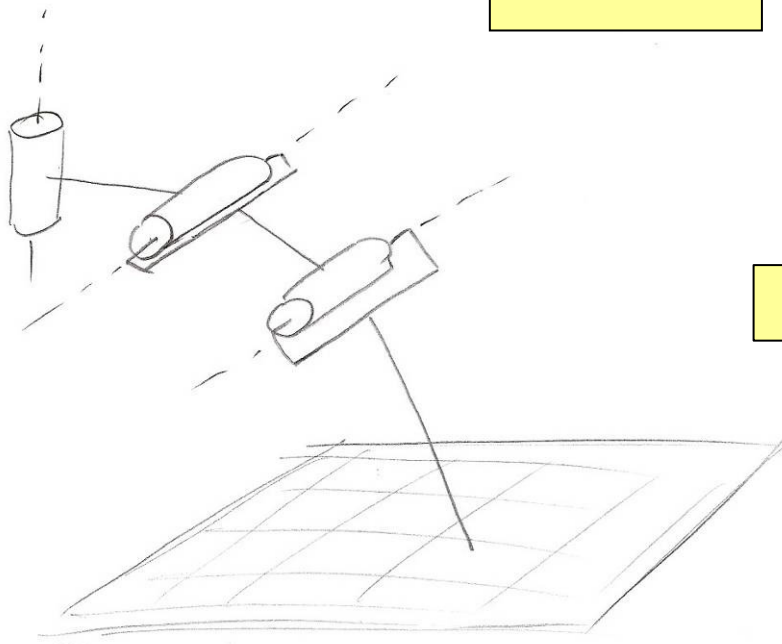


Une patte, 3/3

Créer le mouvement élémentaire de la roue

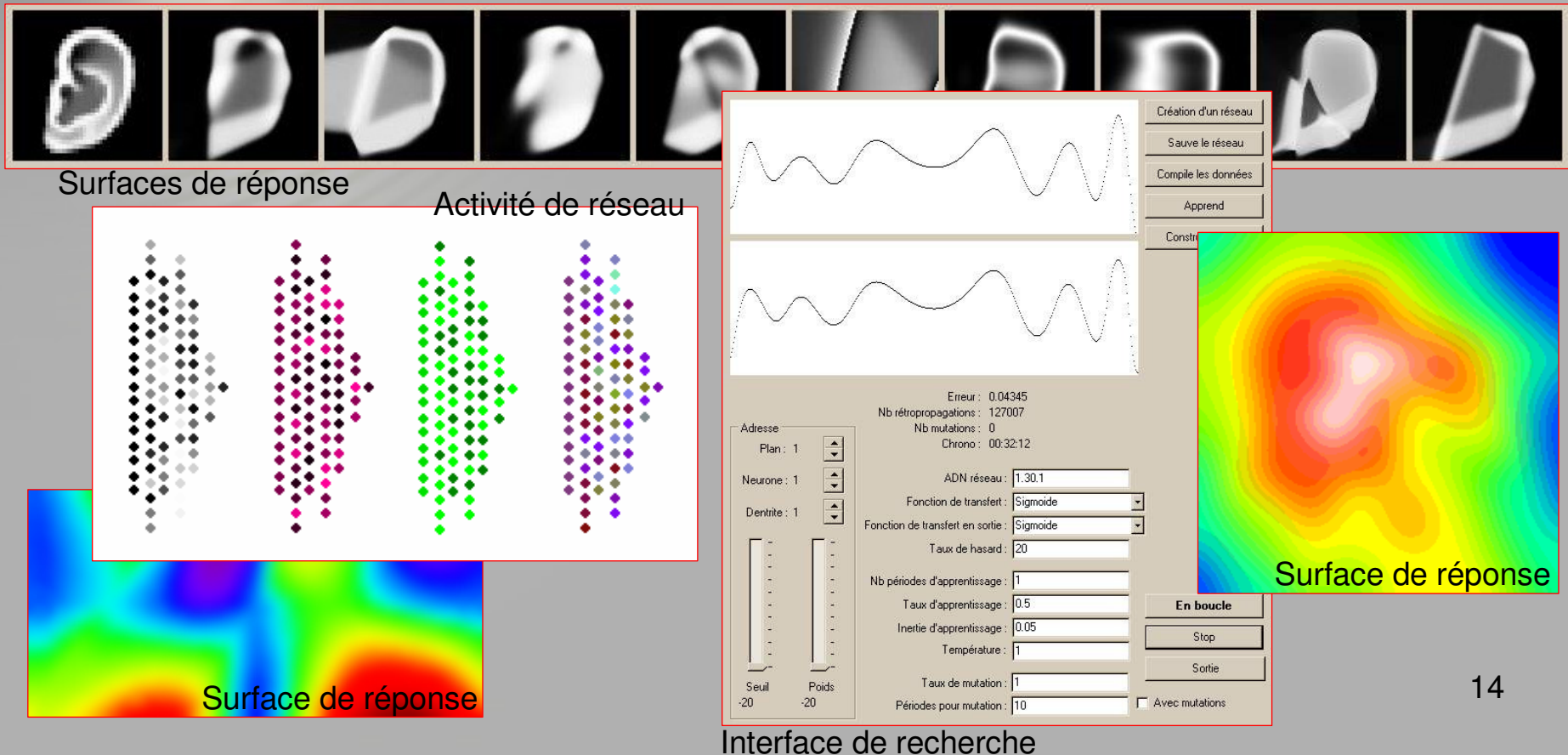
dans un plan arbitraire

3D $\Rightarrow$ 2D



Recherche de la structure, 1/2

Reproduire l'évolution des angles pour le mouvement élémentaire de la roue dans un plan arbitraire avec un RNA



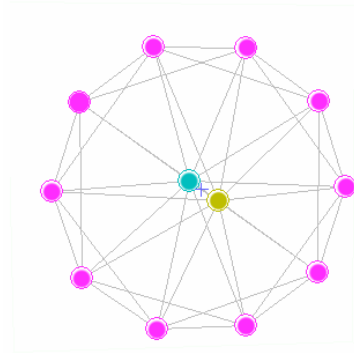
Recherche de la structure, 2/2

Reproduire le temps, un cycle, avec un RNA

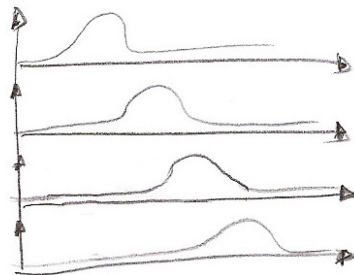
Variables :

- Amplitude
- Vitesse
- Angles α, β

Horloge

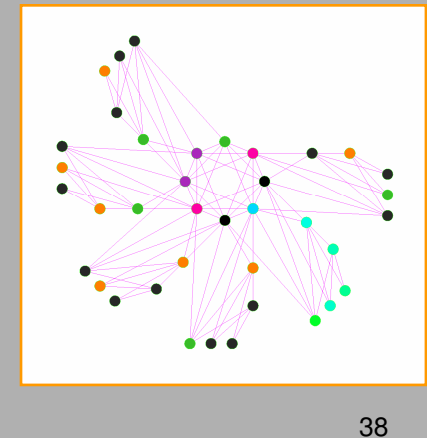
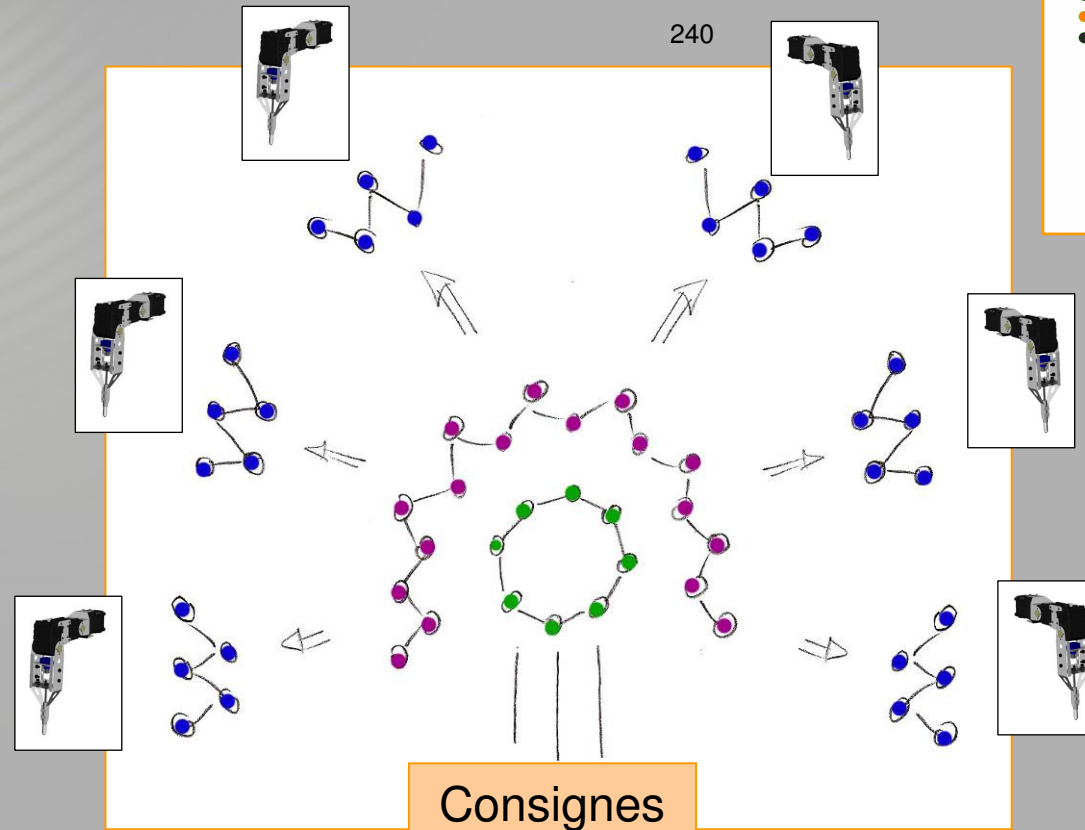
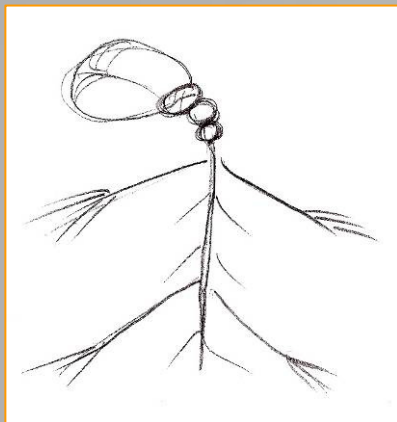
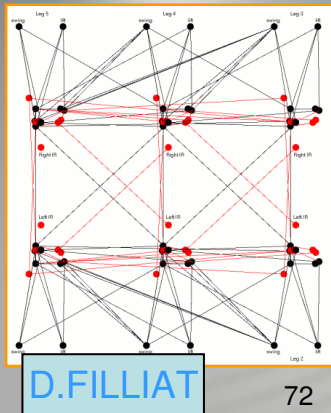


Vers les
RNA traducteurs



Structure du réseau complet

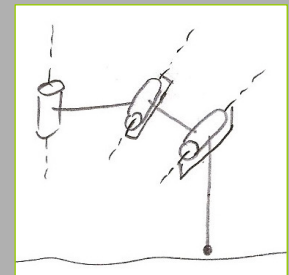
Exemple de RNA complet : 1 horloge et 6 traducteurs



Liste des variables d'entrée

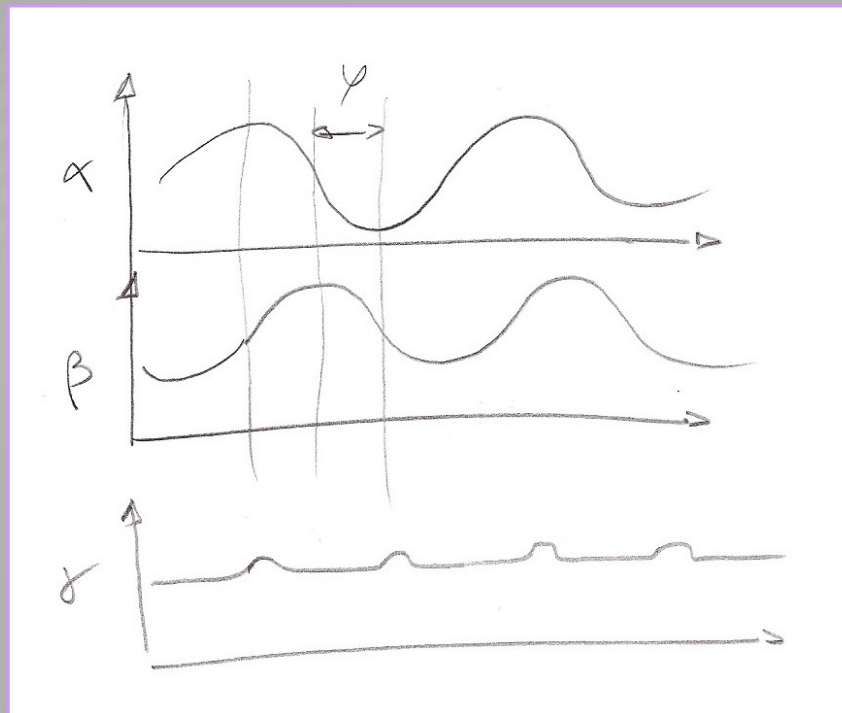
Ce qui informe le réseau ...

- Commande.Avance (ou recule)
- Commande.Tourne (lacet : Dr ou Ga)
- Commande.Penche (roulis et tangage)
- Angles aux articulations (**bouclage**)
- Efforts en bout de pattes (**bouclage**)



"Apprentissage" 1/3

Saisie de paramètres empiriques



Apprentissage 2/3

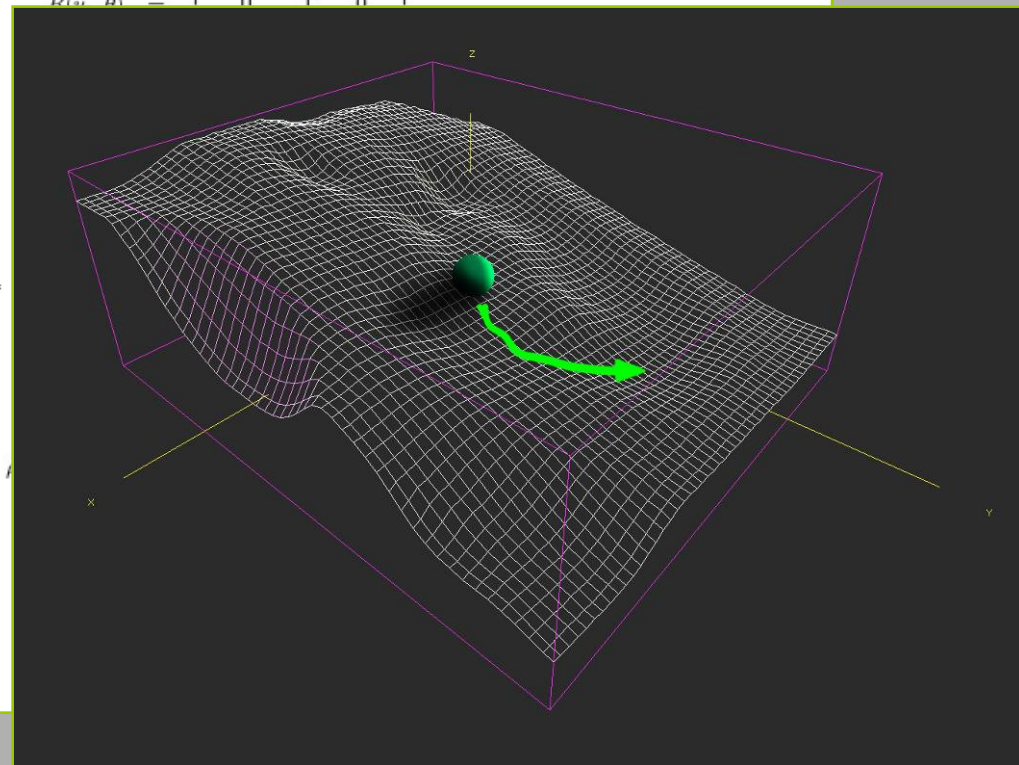
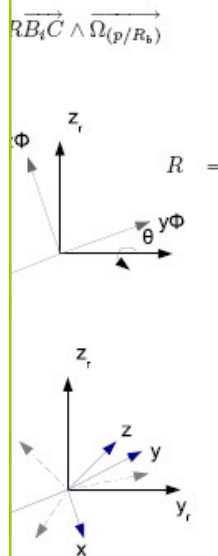
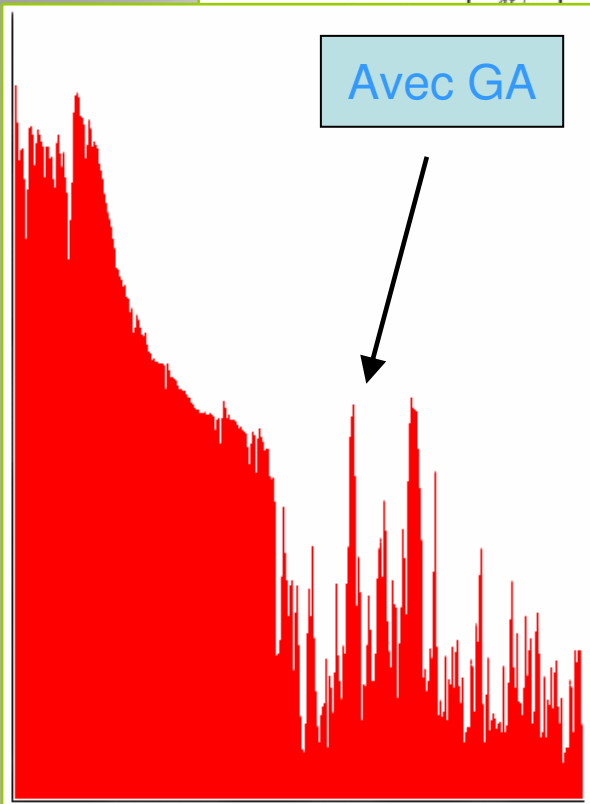
Données issues du modèle mécanique (MGD)

$$\{W\} = \begin{pmatrix} \frac{d}{dt}x_r \\ \frac{d}{dt}y_r \\ \frac{d}{dt}z_r \\ \frac{d}{dt}\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} \\ \Omega_1 \\ \Omega_2 \\ \Omega_3 \end{pmatrix}_{R_b}$$

$$\rho_i^2 = \|\vec{A_iO}\|^2 + \|\vec{CB_i}\|^2 + \|\vec{OC}\|^2 + 2(\vec{A_iO} + \vec{RCB_i}) \cdot \vec{OC} + 2\vec{A_iO} \cdot \vec{RCB_i}$$

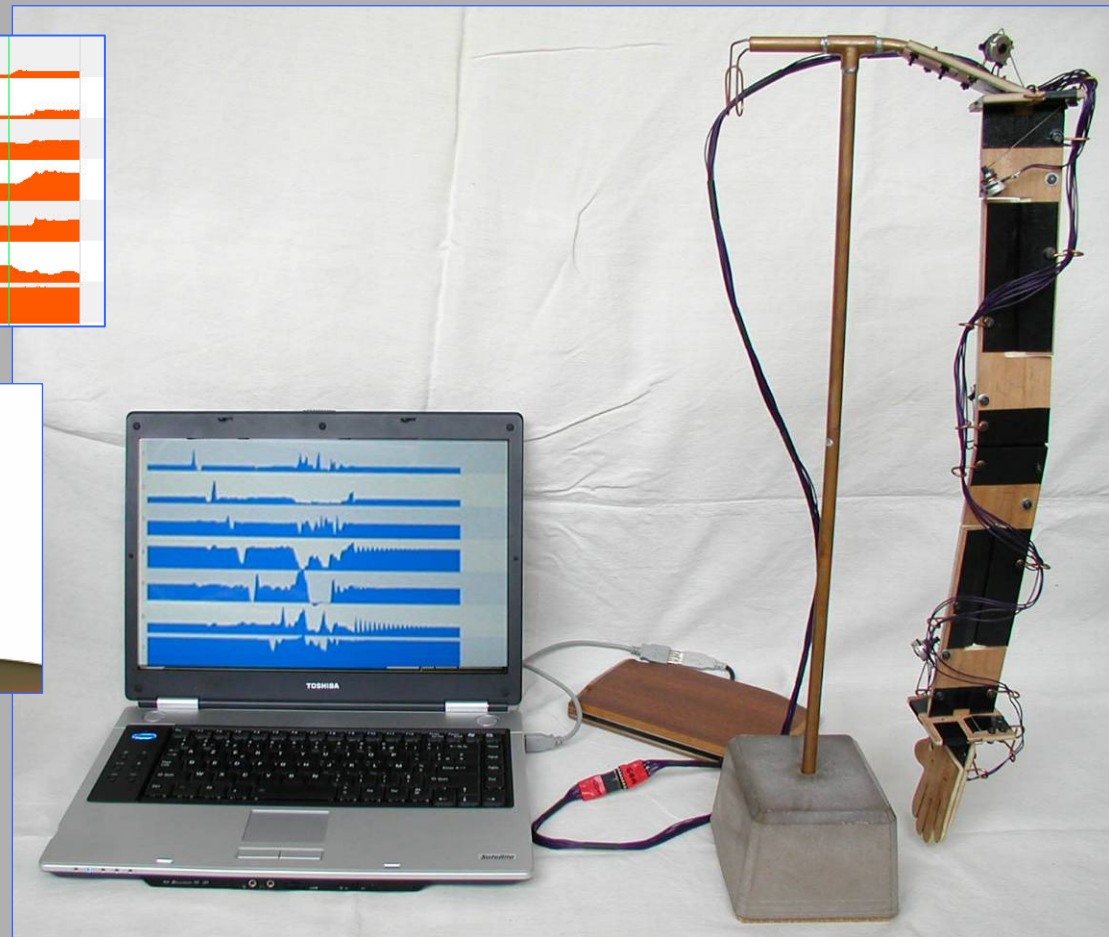
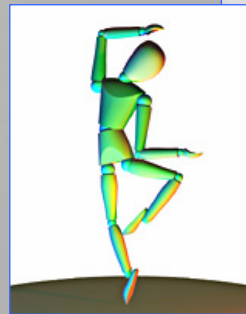
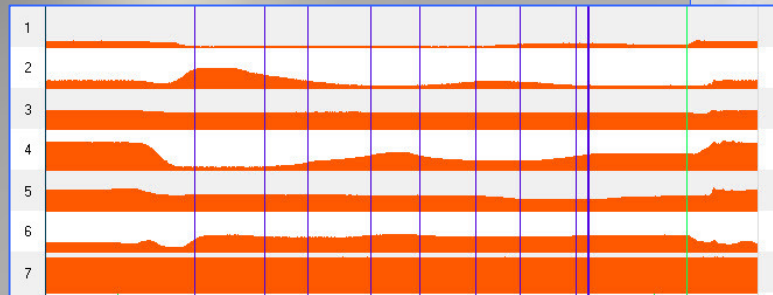
$$R(\alpha, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Avec GA



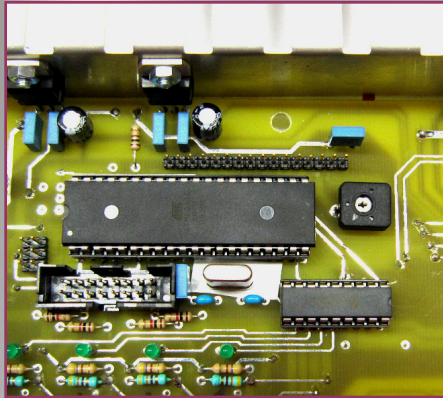
Apprentissage 3/3

Données issues de la Motion Capture (MOCAP)

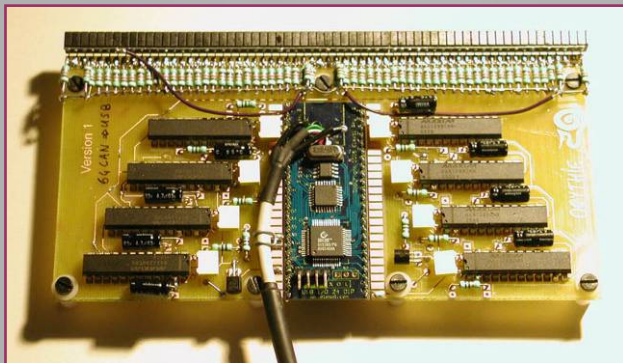


Implémentation sur μC

Le calcul juste, au bon endroit ...

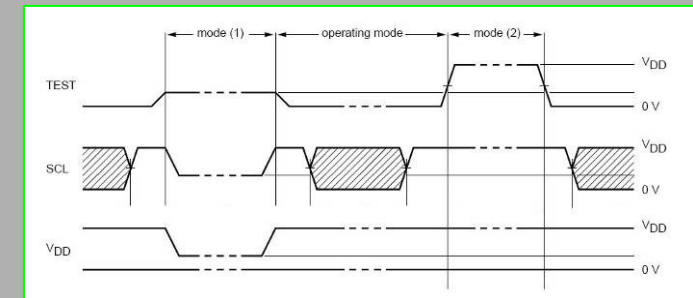


- "Dédution" seule, pas d'apprentissage
- 240 neurones
- Codage des données sur 8 bits
- Fonctions de transfert en table
- Rafraîchissement des sorties à 140 Hz
- Processeur 8 bits 16 MHz - Atmel
- Pilotage via bus USB + I2C



RNA.Calculs

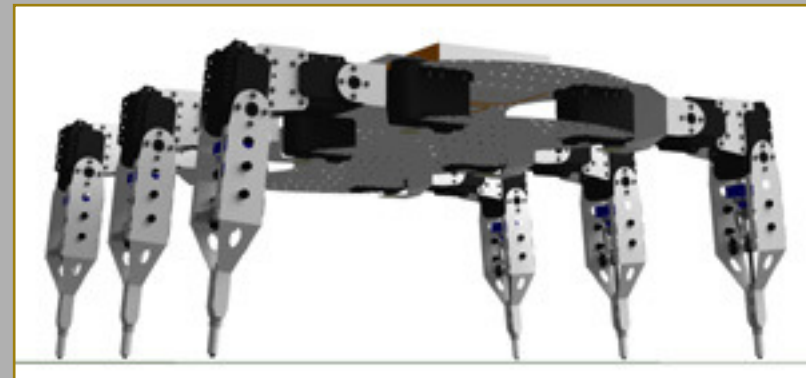
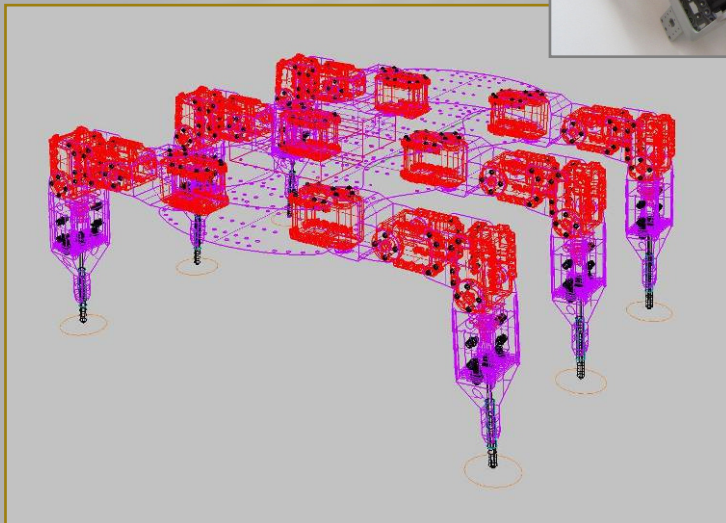
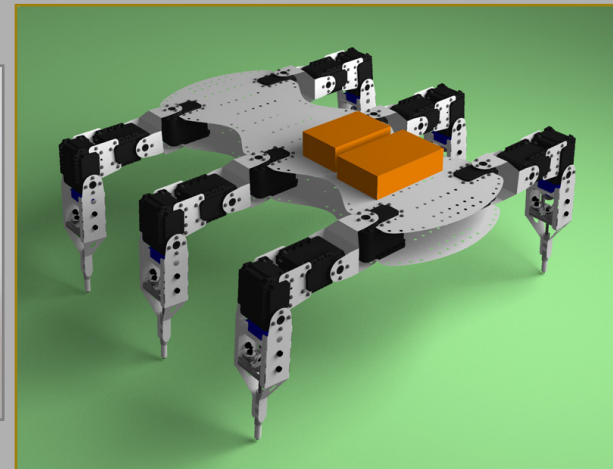
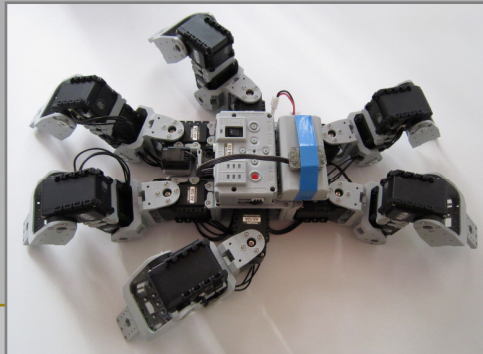
Estimation du nombre d'opérations pour en déduire la fréquence de rafraîchissement théorique



- $D \times N$ Multiplications = $8 \times 240 \times 2\text{clk}$
- $(D+1) \times N$ Additions = $9 \times 240 \times 1\text{clk}$
- $D \times N + N(\text{Ftrans}) + N(\text{rangement})$ accès tableau = $10 \times 240 \times (2 + 2)\text{clk}$
- Total = $240 \times 57 = 13680$ clock
- Rafraîchissement = $16^6 / 13680 = 1169$ Hz

Du virtuel au réel : Mécanique

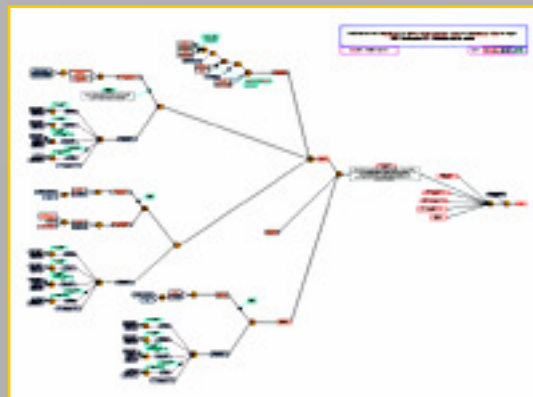
Car il faut bien garder les pieds sur terre



Difficultés rencontrées

Sinon cela ne serait pas drôle ...

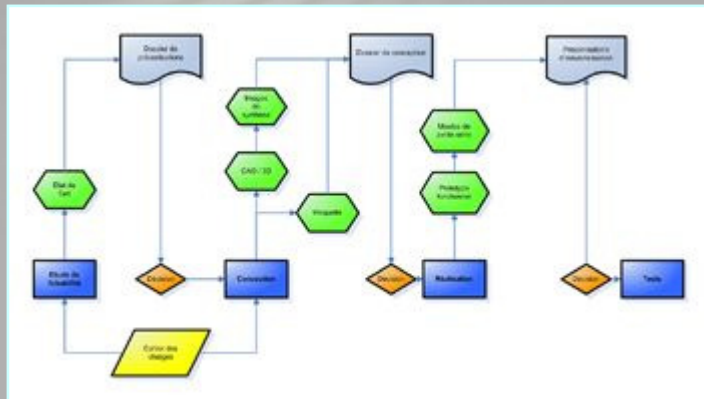
- Structures de RNA peu documentées
- Beaucoup d'essais
- Choix du codage des informations
- Capteur réels : coûteux en taille, signaux bruités, ...
- ...



Arbre de défaillance

Atouts mis en oeuvre

Sans quoi nous n'aurions pas pu avancer ...



- Pluridisciplinarité
- Prototypage itératif
- Méthode , CDC
- Informatique / Littérature
- Réseau de partenaires
- ...

État actuel du projet

Par rapport à notre Cahier des charges, il reste à faire :

- 40% du prototype fonctionnel (N°5), à échelle 1
- Modèle Numérique de Terrain (cartographie)
- Parcimonie des capteurs
- IHM au sens métier, mouvements spécifiques







Questions posées en séance

- Qu'en est-il de la cadence ?

L'horloge reçoit les consignes de vitesse et d'amplitude, ce qui lui permet de générer les signaux équivalents à destination des sous réseaux assignés aux pattes.

Pour l'instant, une seule allure a été mise en œuvre : la marche à trois pattes simultanées au sol car nous recherchons la stabilité plus que la vitesse.

- Quid du comportement si une patte est défaillante ?

Sans que nous l'ayons encore mis en œuvre, je pourrais dire que cet aspect de la sûreté de fonctionnement est envisageable en faisant apparaître une variable interne pour la position du centre de gravité et une déformation des surfaces de réponse afin de piloter chaque patte valide restante avec la correction nécessaire.

- Pourquoi ne pas avoir utilisé ce qui a été développé par d'autres (la Nasa, etc.) ?

Les autres n'ont pas fait la même chose, le résultat est financièrement inaccessible ou seulement un effet d'annonce. Bien évidemment, *we did not start from scratch* et nous remercions au passage toute la communauté pour les éléments parsemés qui nous ont servi d'une manière ou d'une autre.

Au final, faire nous assure de maîtriser.