



Une approche programmation par contraintes pour la modélisation et la planification de mouvements en robotique humanoïde.

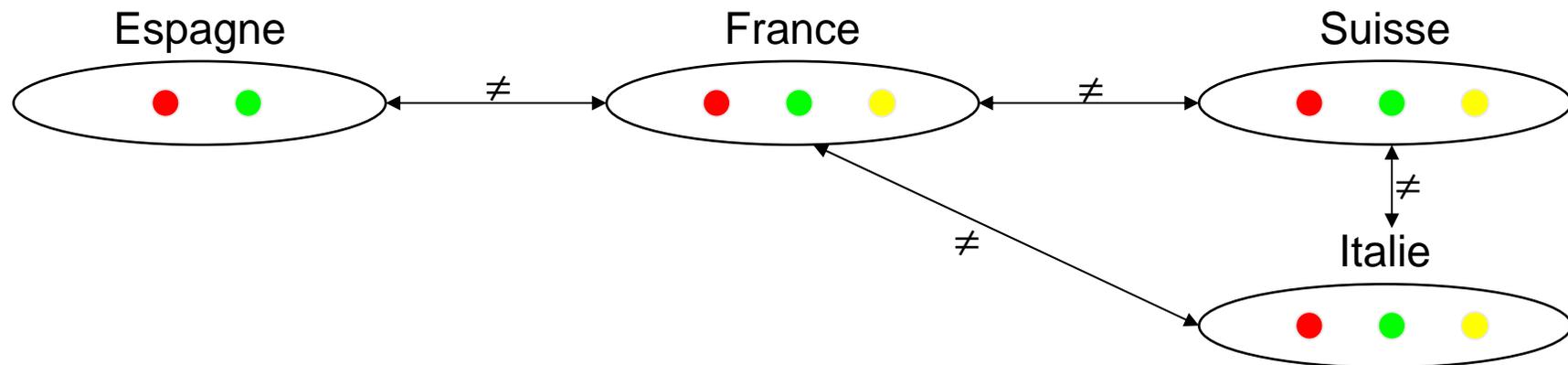
Mathias PAULIN

Plan de l'exposé

- **Préliminaires & problématique.**
- **Une approche CSP pour supervision de la planification en robotique.**
- **Expérimentations préliminaires.**
- **Conclusion et perspectives de travail.**

Programmation par contraintes

- Un réseau de contraintes est un triplet $P = (X, D, C)$ où :
 - $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ est un ensemble fini de variables,
 - $D = \{D(x_1), \dots, D(x_n)\}$ est l'ensemble de leur domaine respectif,
 - $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ une séquence de contraintes ; $C_i = [var(C_i), sol(C_i)]$



- Une *solution* du réseau est l'affectation d'une valeur de son domaine à chaque variable, tel que toutes les contraintes soient satisfaites.

Contexte de travail : La robotique humanoïde...

- **Les robots humanoïdes actuels :**

- Nombreuses habiletés physiques
- Démonstrations de comportements évolués



- **Approche actuelle :** Modélisation des lois physiques

- ⇒ comportements difficiles à planifier,
- ⇒ adaptation difficile aux modifications de contexte.

⇒ Robots actuels / Robots autonomes : L'écart reste encore important!

Approche proposée...

- **Abstraire** les actions élémentaires sous la forme de **réseaux de contraintes**,
- **Combiner** les réseaux à l'aide d'outils de **planification**,
- **Contrôler** l'exécution d'une tâche, en corrigeant les écarts éventuels entre les prévisions et la réalité.

Modélisation d'un **espace de solutions** ⇒ Planification plus aisée

Vocabulaire restreint, flexible & robuste ⇒ **Réactivité**

Modèle de raisonnement sur les aptitudes (état futur, correction, échecs)

⇒ Un premier pas vers une **autonomie** comportementale non réflexe.

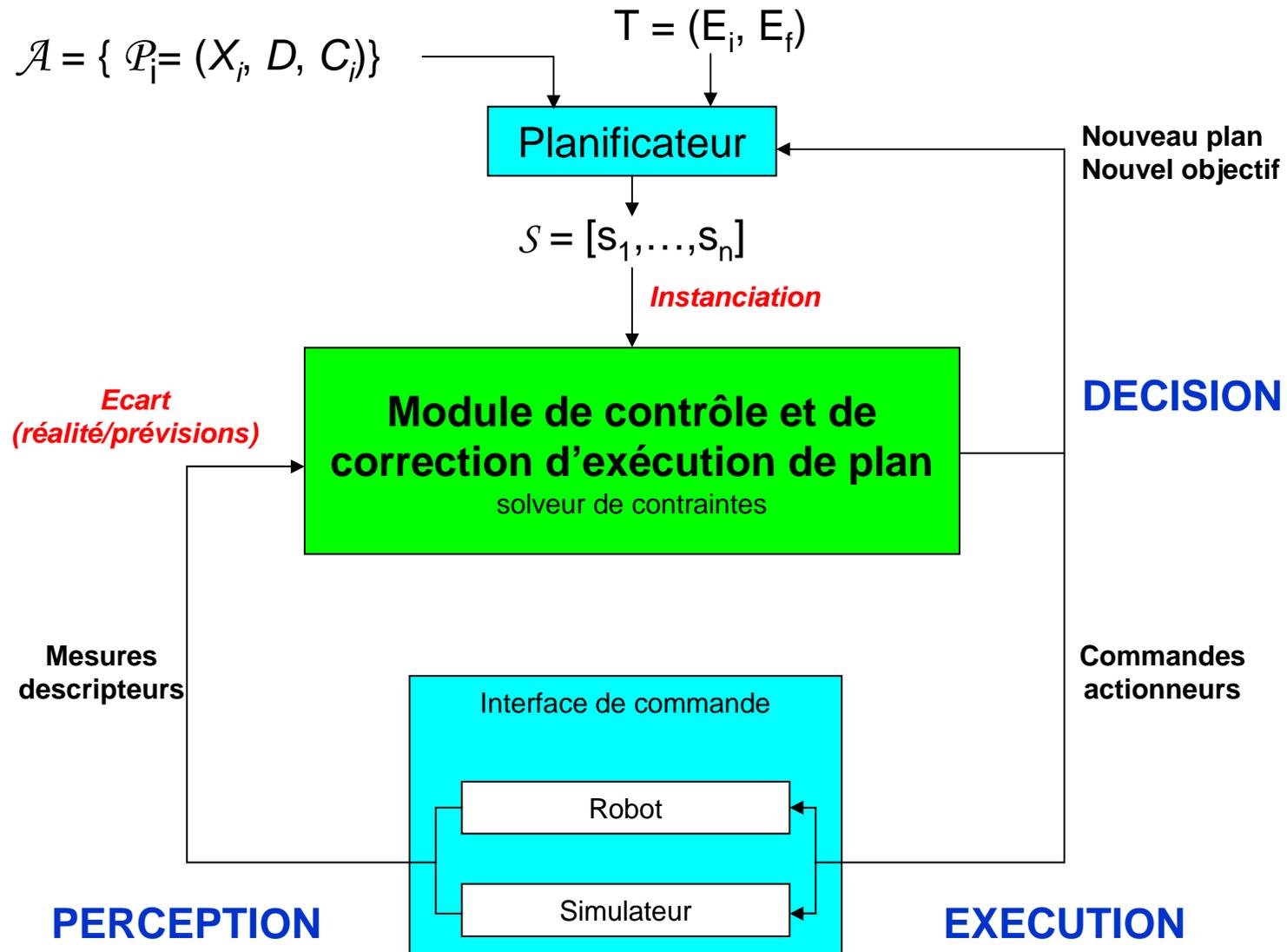
Acquisition des Unités Élémentaires de Contrôle

- Chaque action élémentaire a_i est modélisée par un réseau de contraintes qui décrit :

{
 les conditions d'exécution de a_i ,
 le comportement des actionneurs,
 les effets de a_i .

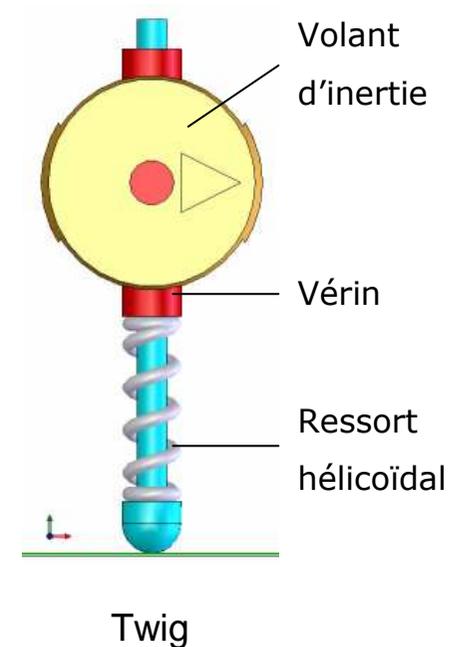
- Acquisition **automatique** des **Unités Élémentaires de contrôle**.
- Composition des U.E.C. à l'aide **planificateur de tâches**.

Contrôle et correction d'une séquence d'actions



Expérimentation préliminaire : Twig

- Twig = Robot sauteur unijambiste en perpétuel déséquilibre .
- Collaboration transversale entre informaticiens et roboticiens (S. KRUT) du LIRMM.
- Modélisation et simulation sous SolidWorks®.



Legged robots that balance, Marc H. RAIBERT, MIT Press Series,
in Artificial Intelligence, Cambridge, 1986.

Modélisation des actions de Twig (1)

- 4 actions : saut vertical, atterrissage vertical, saut hor., rester stable.
- Modélisation **automatique** par CONACQ :
 - tuples de la forme $(t^i, s^i, x_G^i, z_G^i, U_R, U_\theta, t^f, s^f, x_G^f, z_G^f)$
 - 3 instances positives, 4 instances négatives

Saut Vertical

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{P}_p = \{(s^i = 1)\} \\ \mathcal{P}_a = \{(U_R = 500, U_\theta = 0)\} \\ \mathcal{P}_e = \{(s^f = 0, x_G^f = x_G^i, z_G^f = z_G^i + 3, t^f = t^i + 2)\} \end{array} \right.$$

Atterrissage Vertical

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{P}_p = \{(s^i = 0)\} \\ \mathcal{P}_a = \{(U_R = 0, U_\theta = 0)\} \\ \mathcal{P}_e = \{(s^f = 1, x_G^f = x_G^i, z_G^f = z_G^i - 3, t^f = t^i + 20)\} \end{array} \right.$$

Saut Horizontal

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{P}_p = \{(s^i = 1)\} \\ \mathcal{P}_a = \{(U_R = 300, U_\theta = 450)\} \\ \mathcal{P}_e = \{(s^f = 0, x_G^f = x_G^i + 3, z_G^f = z_G^i + 2, t^f = t^i + 6)\} \end{array} \right.$$

Rester stable

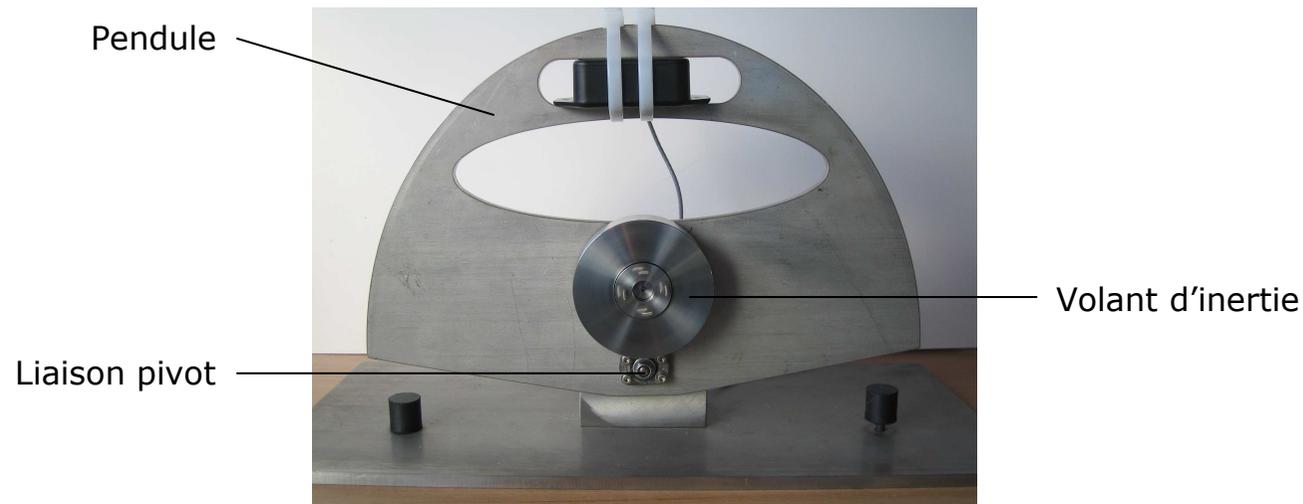
$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{P}_p = \{(s^i = 1)\} \\ \mathcal{P}_a = \{(U_R = 0, U_\theta = 0)\} \\ \mathcal{P}_e = \{(s^f = 1, x_G^f = x_G^i, z_G^f = z_G^i, t^f = t^i + 1)\} \end{array} \right.$$

Modélisation des actions de Twig (2)

- Twig = un premier protocole d'expérimentation.
- Validation pratique de la modélisation CSP par apprentissage automatique (CONACQ).
- Calcul d'une séquence d'actions à l'aide d'un planificateur capable de manipuler des réseaux de contraintes.

Expérimentation préliminaire : PIRI (1)

- Pendule Inversé stabilisé par une Roue d'Inertie



- Loi de commande bas niveau - Fréquence = 100 Hz

Expérimentation préliminaire : PIRI (2)



- Capacité des contraintes à établir une **loi de commande robuste aux perturbations**.
- Capacité à répondre aux **impératifs du réel** (fréquence élevée, perturbations extérieures) via le cycle *Perception / Décision / Action*.

Conclusion

- **Système de supervision** utilisant les réseaux de contraintes pour modéliser et planifier les **comportements** d'un robot humanoïde.
- La PPC répond aux impératifs d'**expressivité** et d'**efficacité** liés à la robotique humanoïde.
- L'utilisation des contraintes fournit un **modèle de raisonnement** sur les comportements.
- Les premières expérimentations démontrent la capacité de notre système à répondre aux impératifs du réel.

Perspectives de travail

(GDR Robotique & Apprentissage)

- Le robot humanoïde HOAP 3 :
 - ↪ 8,8kg – 60 cm
 - ↪ 28 articulations motorisées
 - ↪ descripteurs multiples (accéléromètres, gyromètres, caméras stéréoscopiques, etc.)
 - ↪ nécessité de **garantir** un **fonctionnement sécurisé**.



⇒ Réaliser une intégration cohérente et respectueuse des techniques de commande existantes afin d'exploiter au mieux les habiletés physiques de HOAP3.