GT6 – Journée prototypes

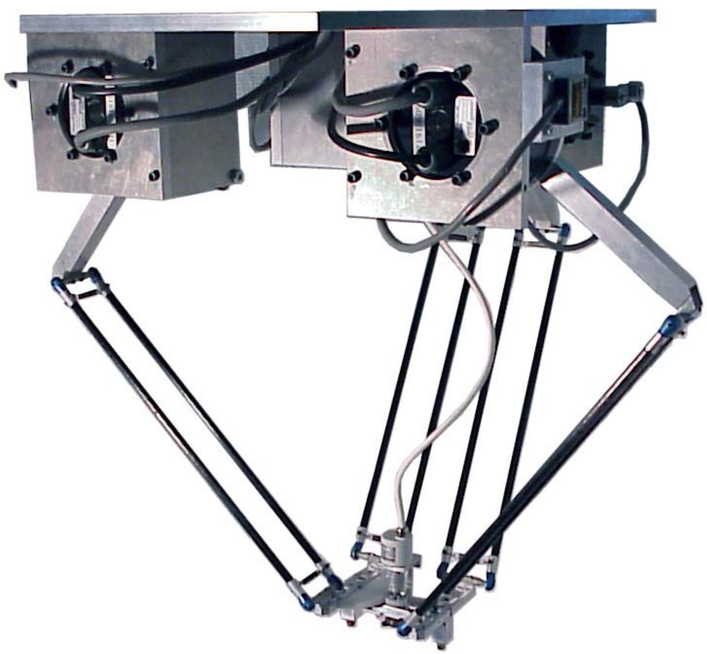
Paris – 27 juin 2011

LIRMM

Olivier Company

Une tradition de prototypes/démonstrateurs

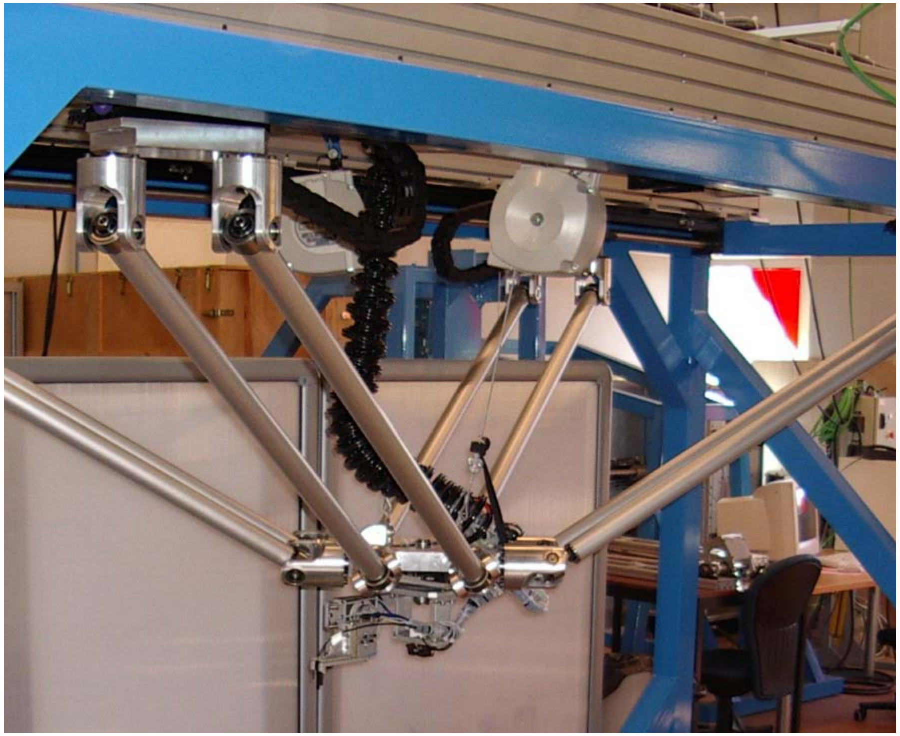
From (Hexa-H4-I4…) Par4 to Adept Quattro



- 1999
- H4
- LIRMM Prototype

- 2008
- Quattro
- Adept Product

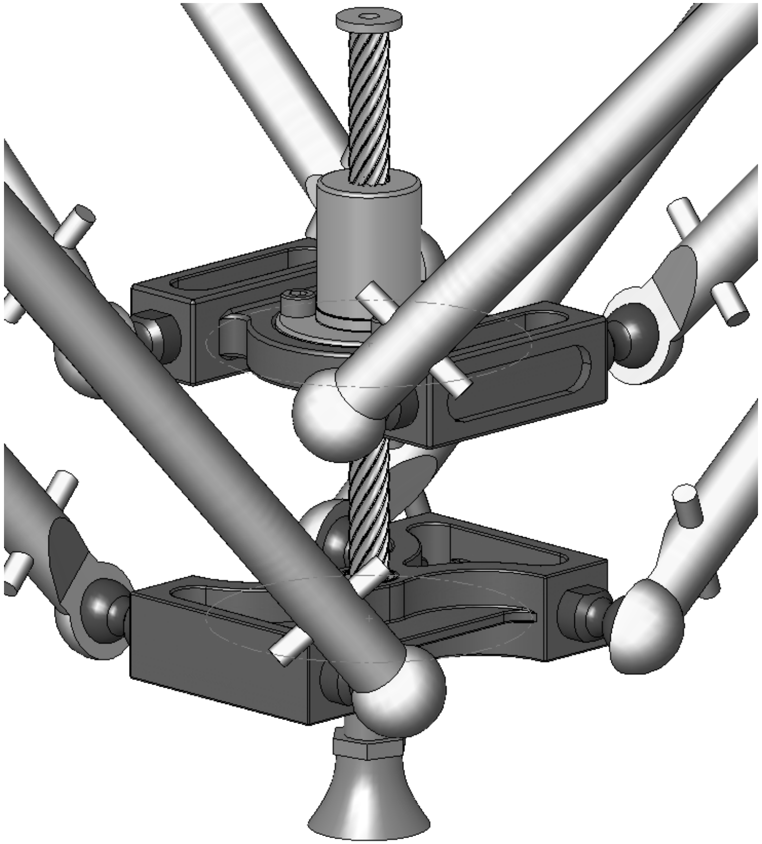
Famille I4



Good repartition of actuators in space

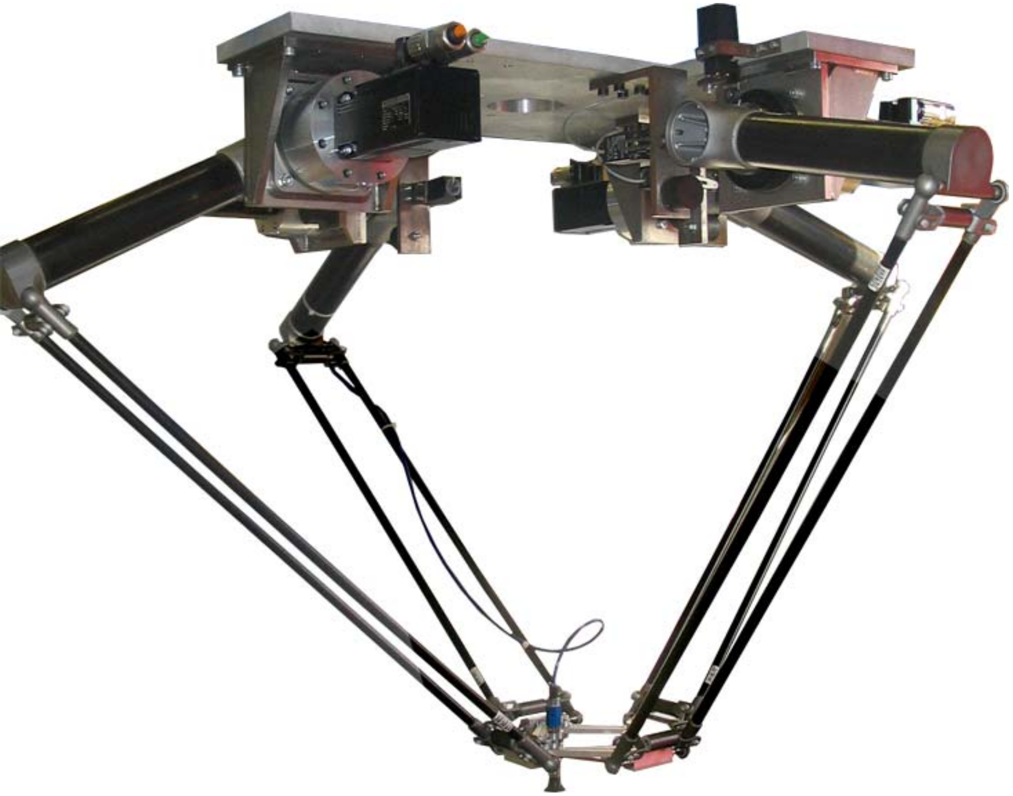
Short lifetime of passive prismatic joints

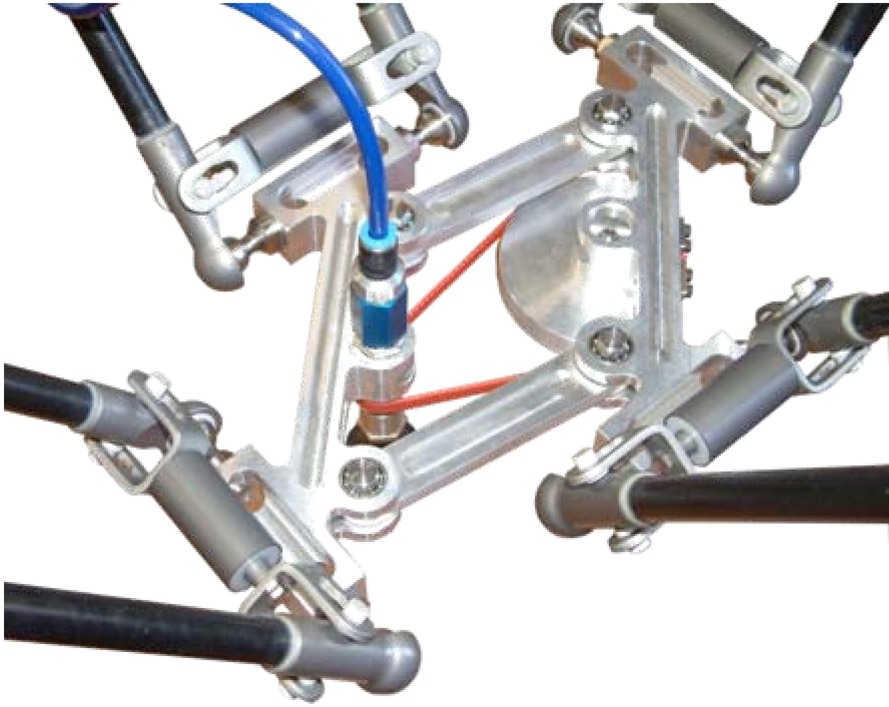
Heli4



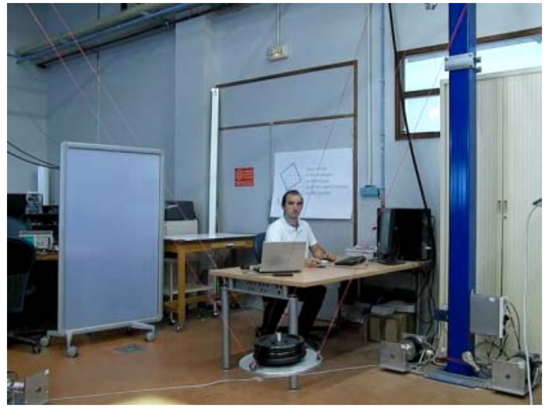
Dual 4

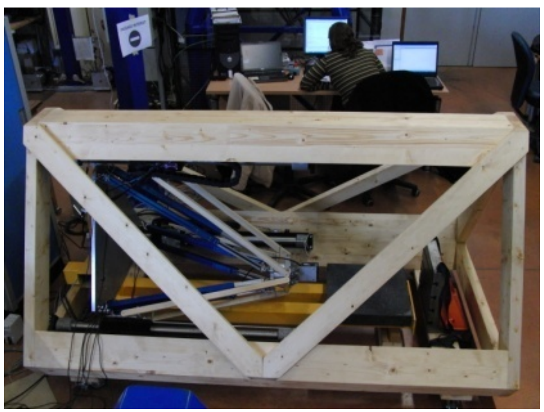
Par4





Autres prototypes





Dernier prototype

Prototypes ANR 100G

- Recherche académique
  - LIRMM / Equipe-projet DEXTER (www.lirmm.fr)
  - LAAS / Equipe MAC (www.laas.fr)
- Industrie
  - Adept Technology, Inc. (www.adept.com)
  - Filiale française à Chambéry (ex-CEREBELLUM)

- Transfert académique / industrie (sous-traitant)
  - Fatronik (www.fatronik.com) {devenu Tecnalia France}
  - Filiale française à Montpellier

Contexte & Objectifs

- Economique
  - Automatisation / robotisation indispensable pour maintenir & développer des sites de production industrielle en Europe
- Robotique
  - Mouvements de « pick-and-place » sur 2, 3 ou 4 axes
  - Un critère central : le temps de cycle
- Travailler sur 3 facteurs qui gouvernent le temps de cycle
  - la capacité à aller vite pendant les déplacements → temps de **déplacement** ➔ augmenter vitesse & accélération
  - la capacité à s'arrêter rapidement → temps de **stabilisation** ➔ diminuer les vibrations
  - la capacité à maintenir les performances quand la charge transportée varie → **robustesse** de la commande

Démarche

- Recherche de nouveaux mécanismes
  - architecture parallèle
  - utilisation des concepts de redondance
  - intégration de dispositifs « anti-vibratoires »

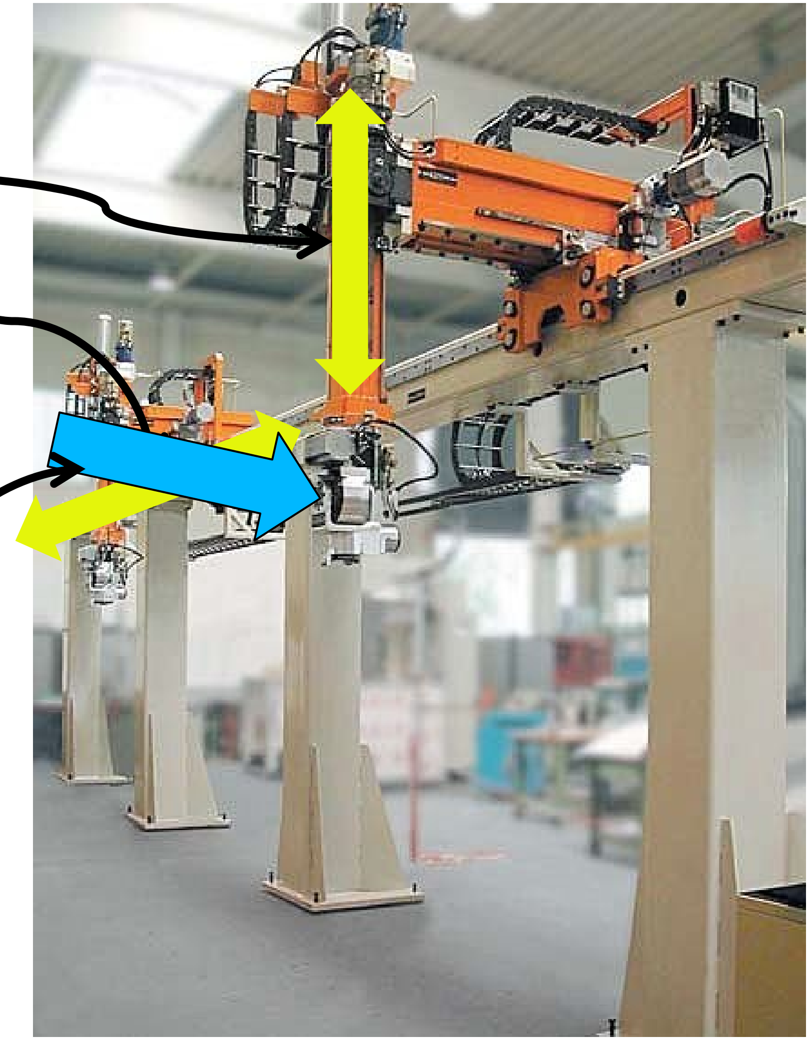
- Recherche de lois de commande compatibles avec les besoins en performance/robustesse
  - commande non-linéaire
  - prise en compte des redondances

- Prototypage systématique

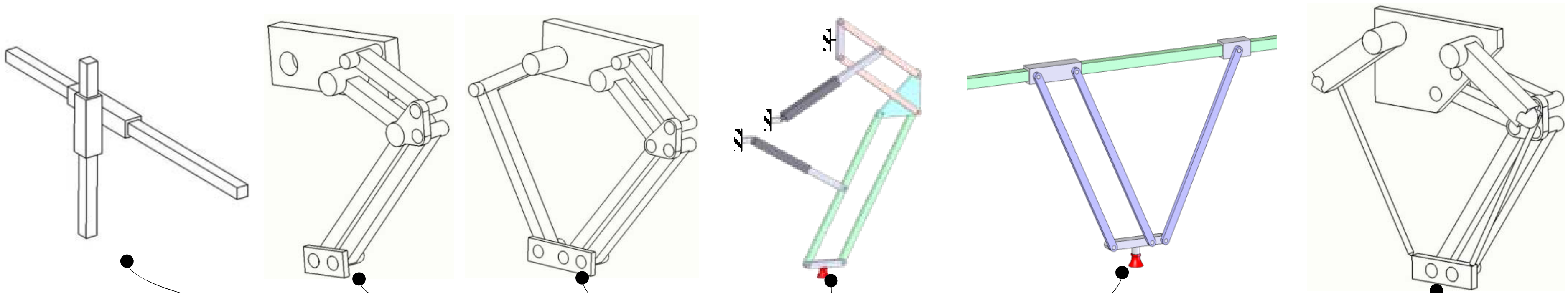
- Volonté de concilier avancées scientifiques et réalisme industriel

Un prototype simple pour se faire la main …

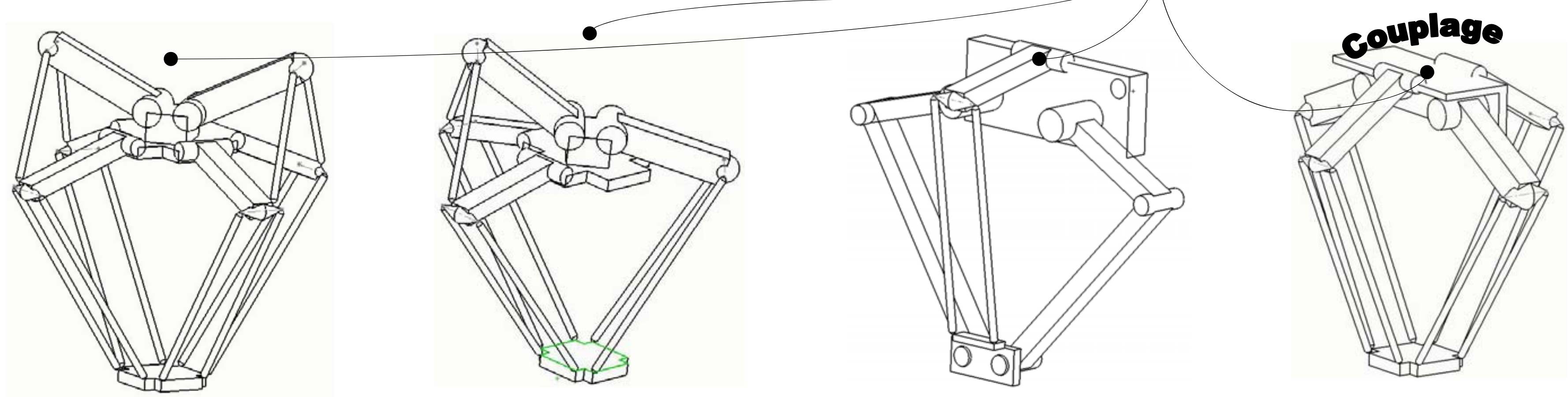
- Certaines applications ne demandent que 2 ddl
- Pour ces mouvements plans, les robots sont toujours plans
- Mais tous souffrent
  - De leur masse
  - De leur faible rigidité transversale



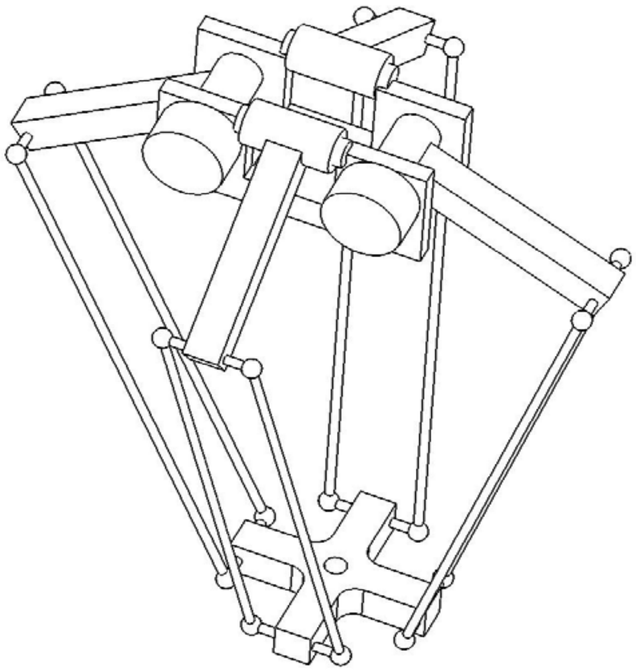
Alors, pourquoi faire comme tout le monde ?

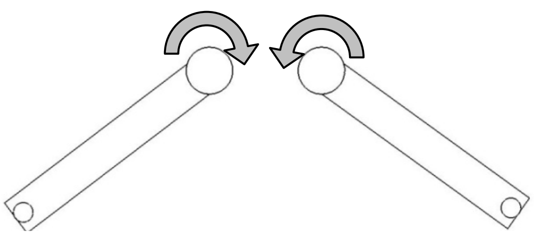


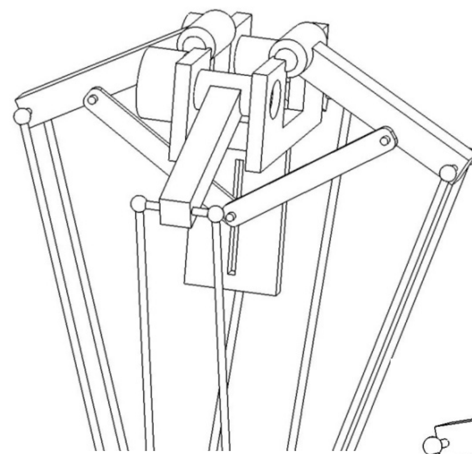
Comparatif de solutions existantes ou nouvelles

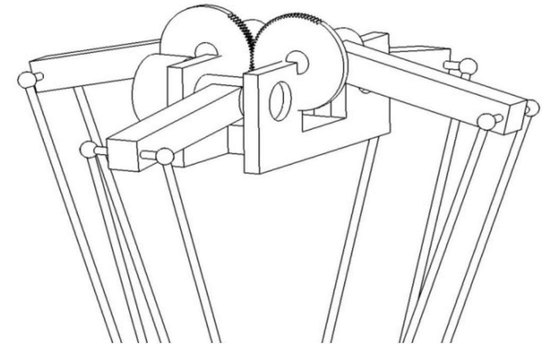


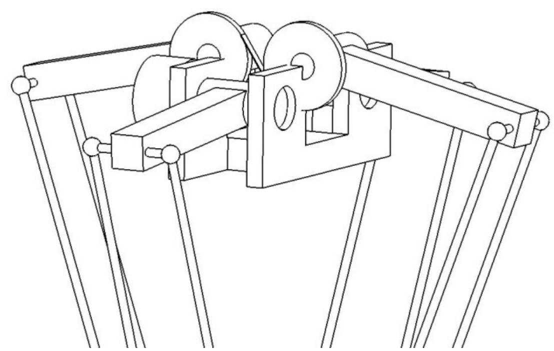
Par2 : premier robot non-plan pour mouvement plan



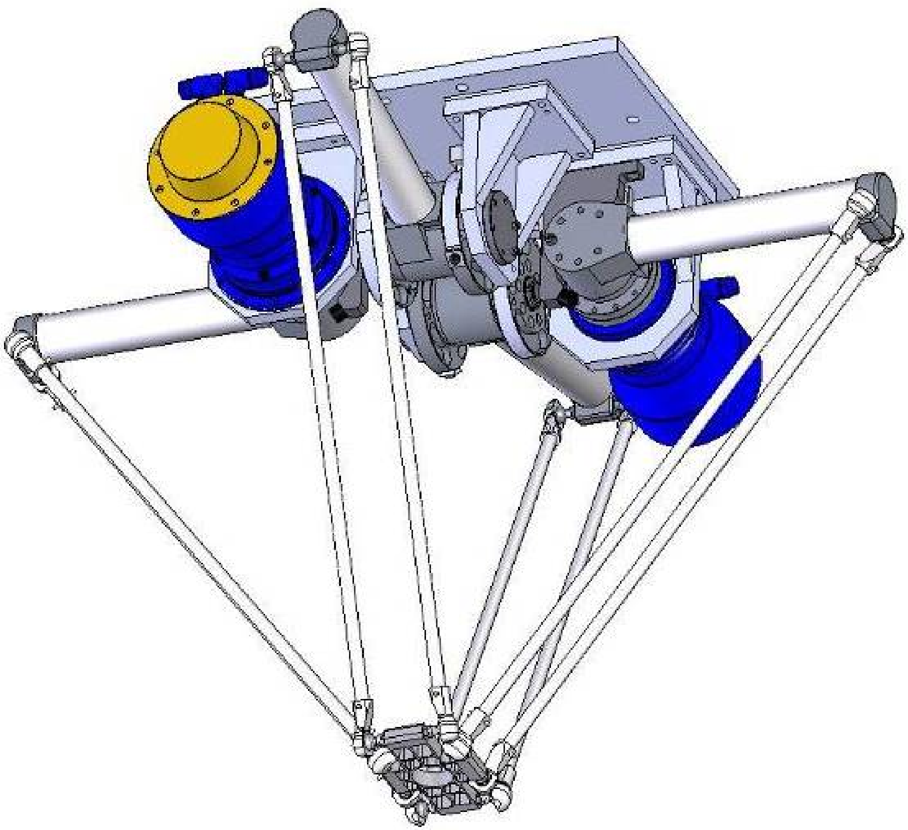








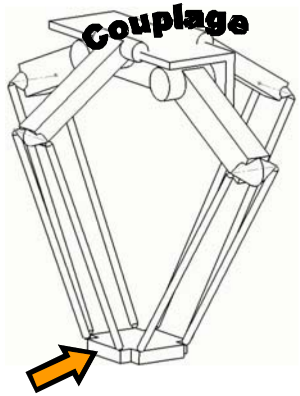
Benchmark : Par2 vs Elau-D2 (Schneider Electric)

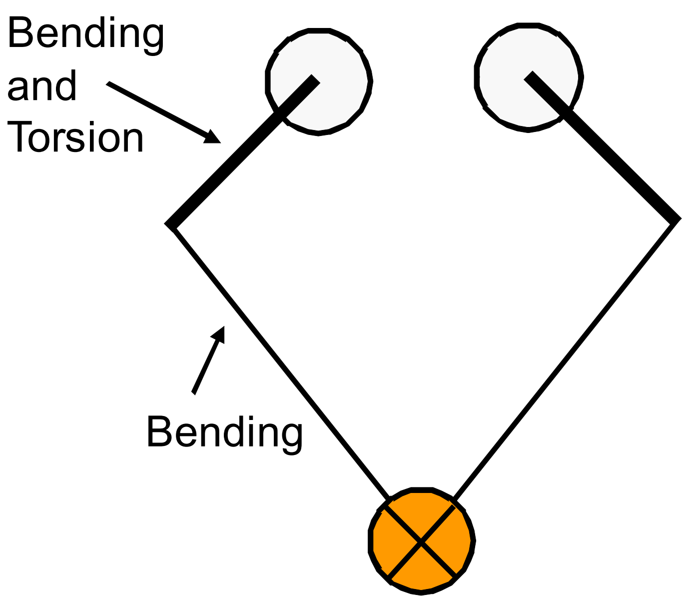


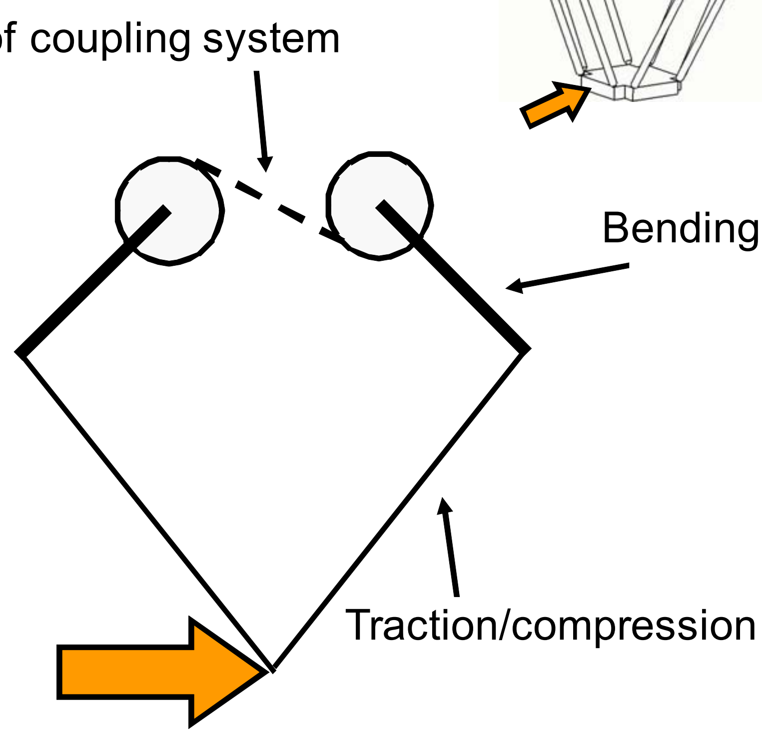
Rigidité : Par2 10 fois meilleur (et plus léger)

$$\delta = \frac{F\, l_a^{3}}{3E\, I_b} + \frac{F\, l_a\, l_f^{2}}{G\, I_t} + \frac{F\, l_f^{3}}{3E\, I_b}$$

$$\delta = \frac{F\, l_f}{S\, E} + \frac{F\, l_a^{3}}{3E I_b} + \frac{F\, l_a^{2}}{\eta}$$

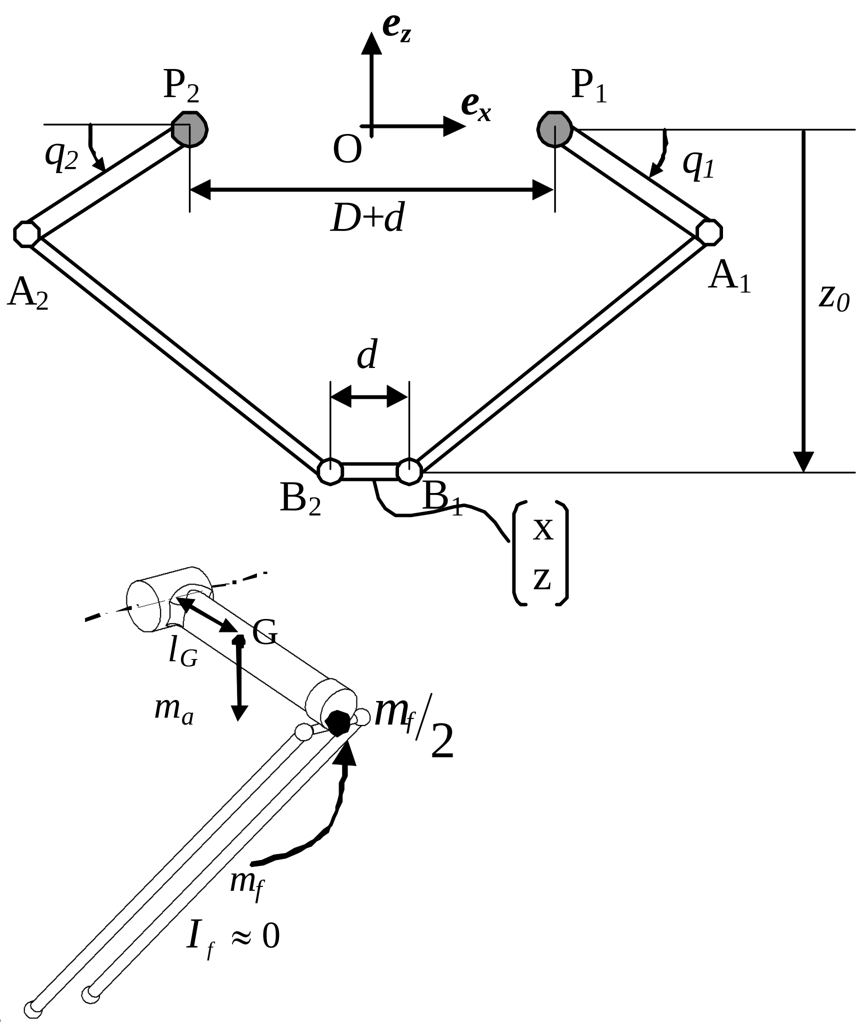






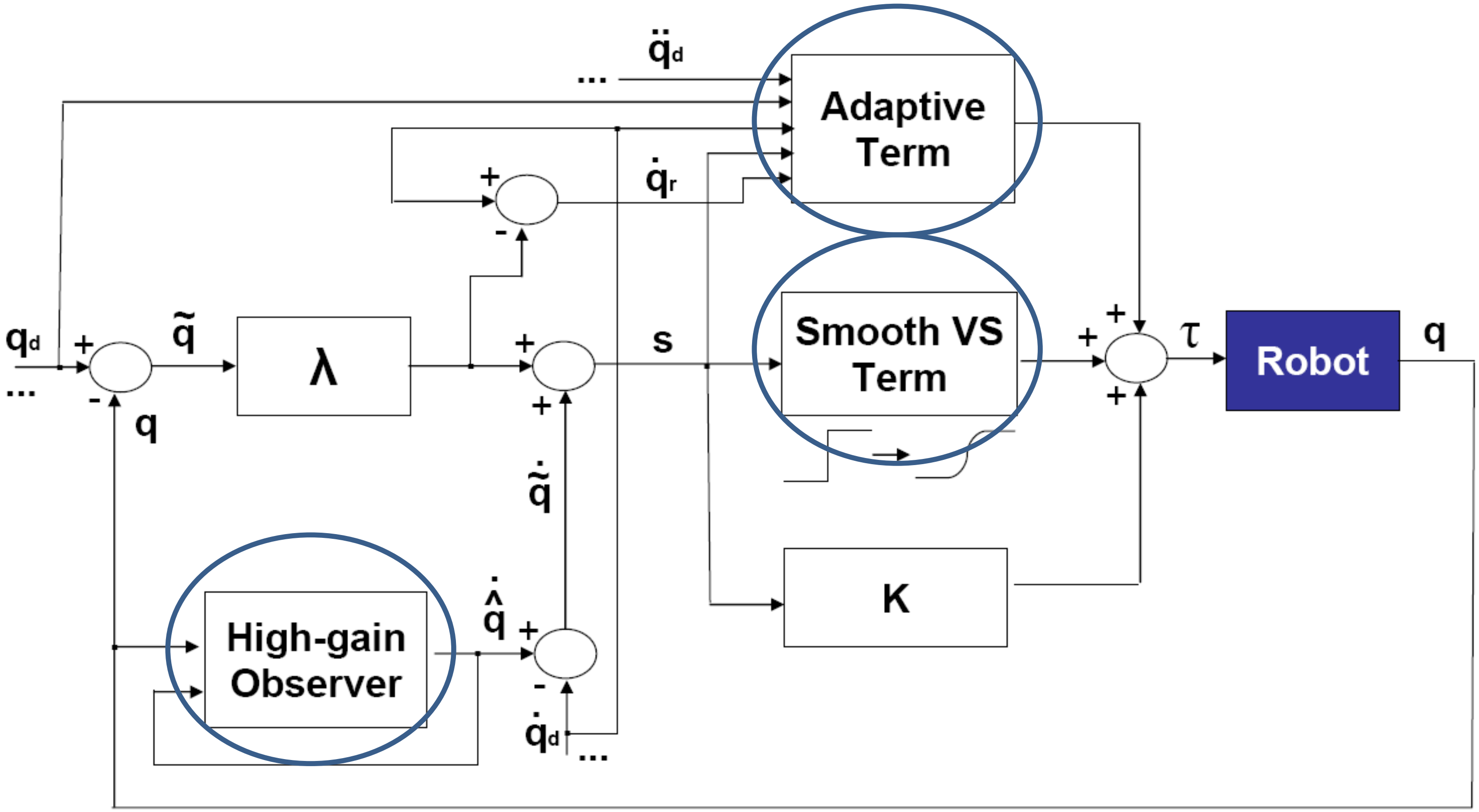
Dynamique

- Pas plus d’énergie pour déplacer le mécanisme que pour déplacer les actionneurs !



$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} I_m + I_a + \frac{1}{2} m_f l_a^2 & 0 \\ 0 & I_m + I_a + \frac{1}{2} m_f l_a^2 \end{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} + \begin{bmatrix} m_a l_G + \frac{1}{2} m_f l_a & 0 \\ 0 & m_a l_G + \frac{1}{2} m_f l_a \end{bmatrix} \cos(\mathbf{q}) g + \mathbf{J}^{\mathbf{T}} \begin{bmatrix} m_n + \frac{1}{2} m_f & 0 \\ 0 & m_n + \frac{1}{2} m_f \end{bmatrix} \left(\ddot{\mathbf{x}} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} \right)$$

Commande « dual mode »

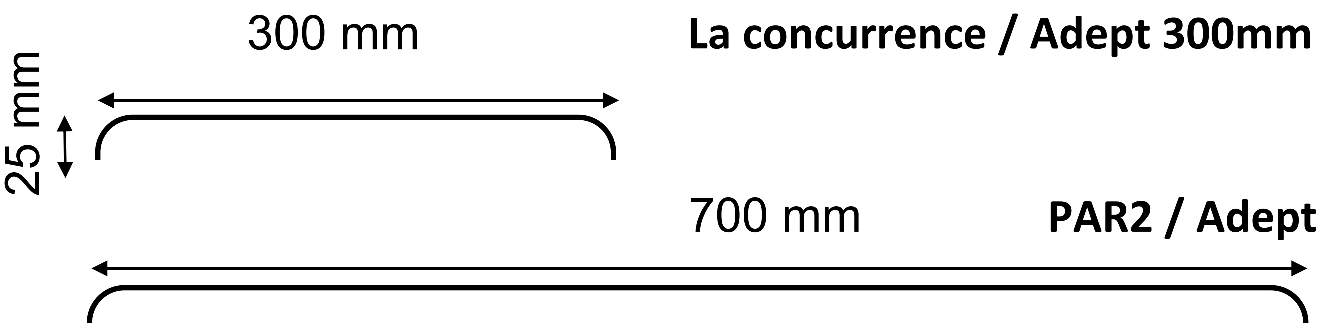


Commande « dual mode »

50G P&P

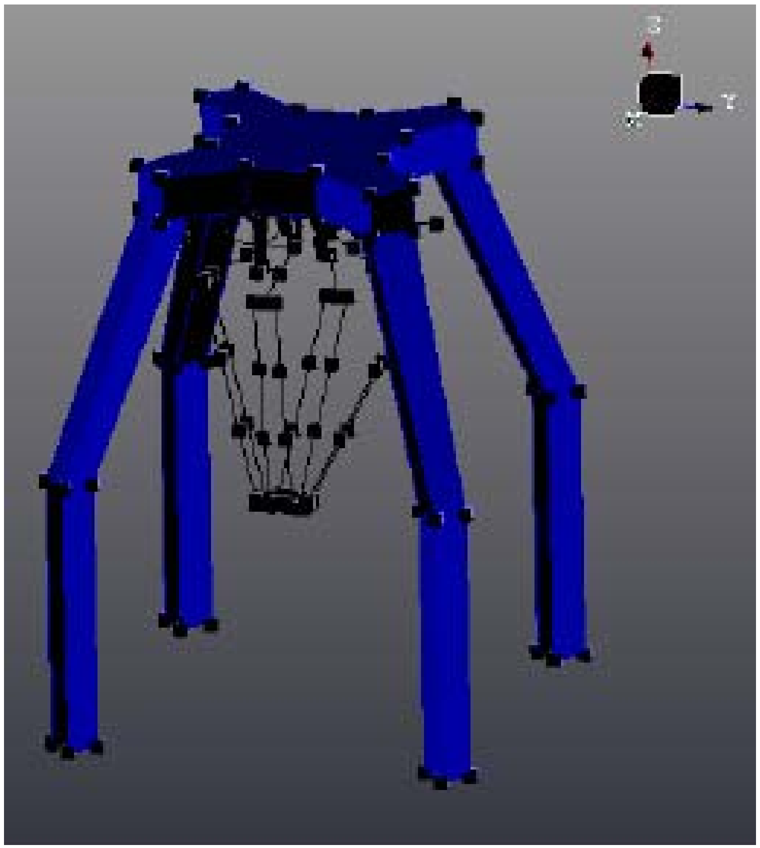
Demo Balles

La concurrence / Adept 300mm : 0.25s



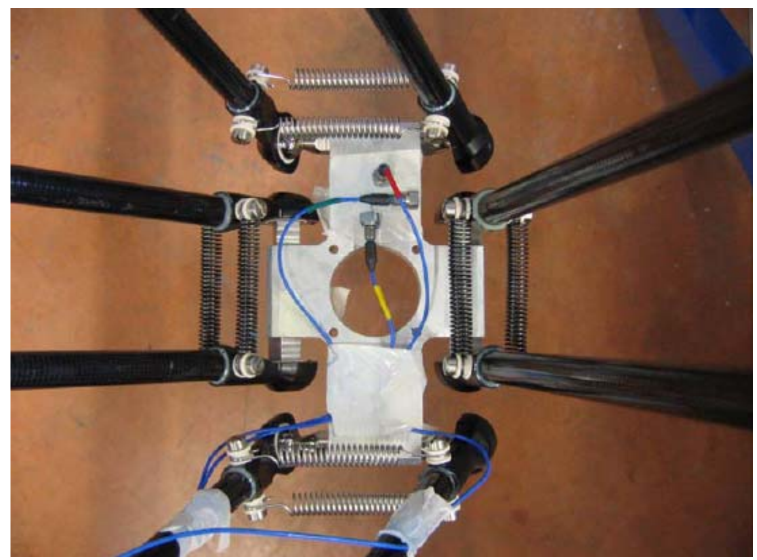
PAR2 / Adept 700mm : 0.21s

Le problème des vibrations



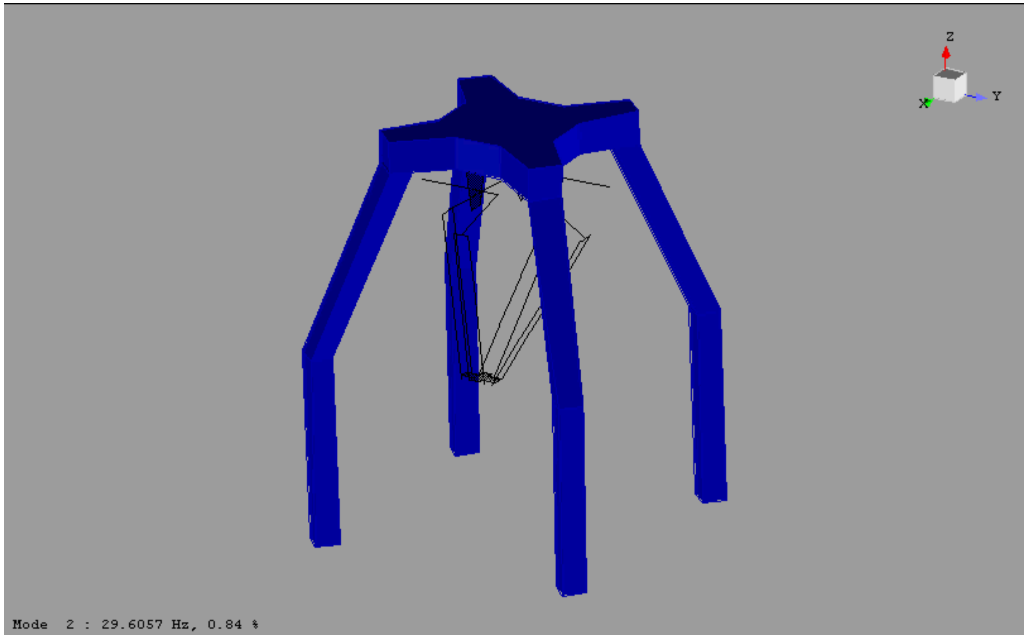
Impact Hammers

Unidir. Accelerometers



Surprise !

→ Premier mode du châssis : ~25 Hz
→ Premier mode des chaînes actives du robot : ~49 Hz

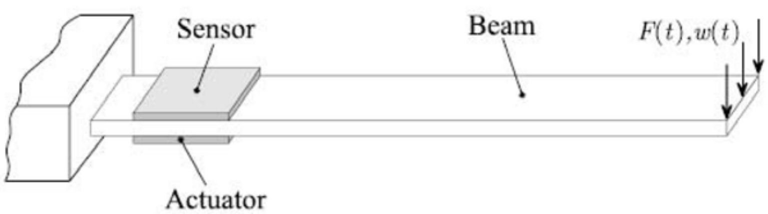


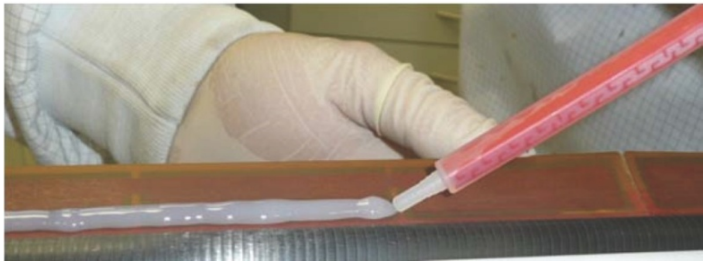
Le châssis vibre « avant » le robot lui-même !
Les vibrations du châssis sont transmises par le robot jusqu'à la nacelle

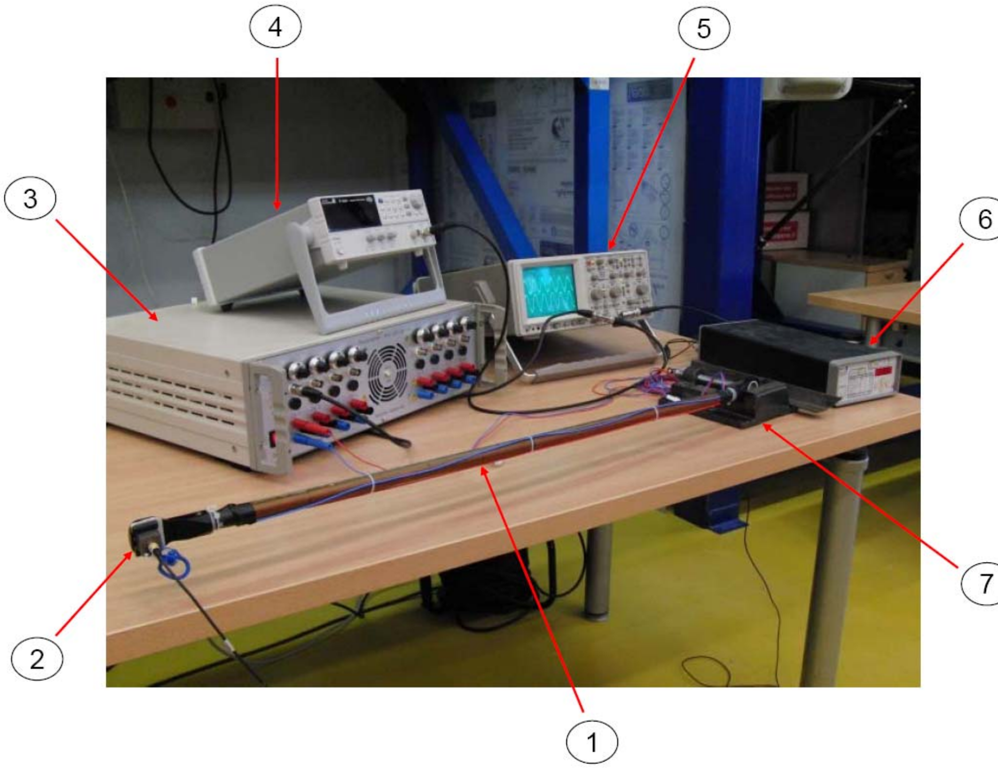
Vibrations : vers un amortissement actif

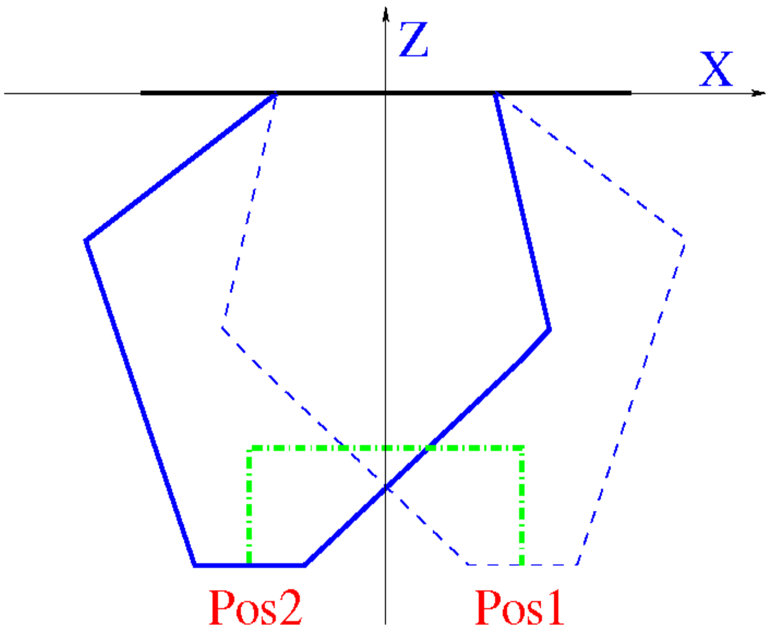
- Actionneurs piézos en feuilles, collés sur les tubes en carbonne d'origine

Basic principle of use of piezoelectric actuators [Vasques, 2006]







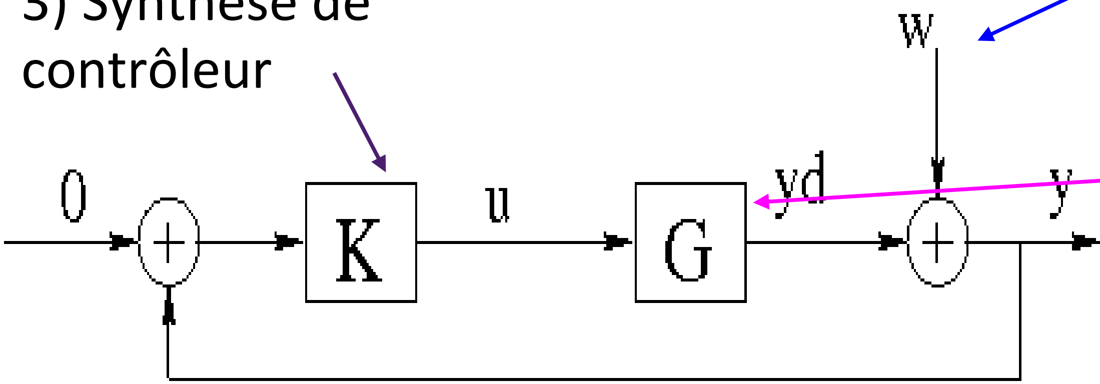


- Sans charge: 30G;
- Avec 4kg de charge: 10G;

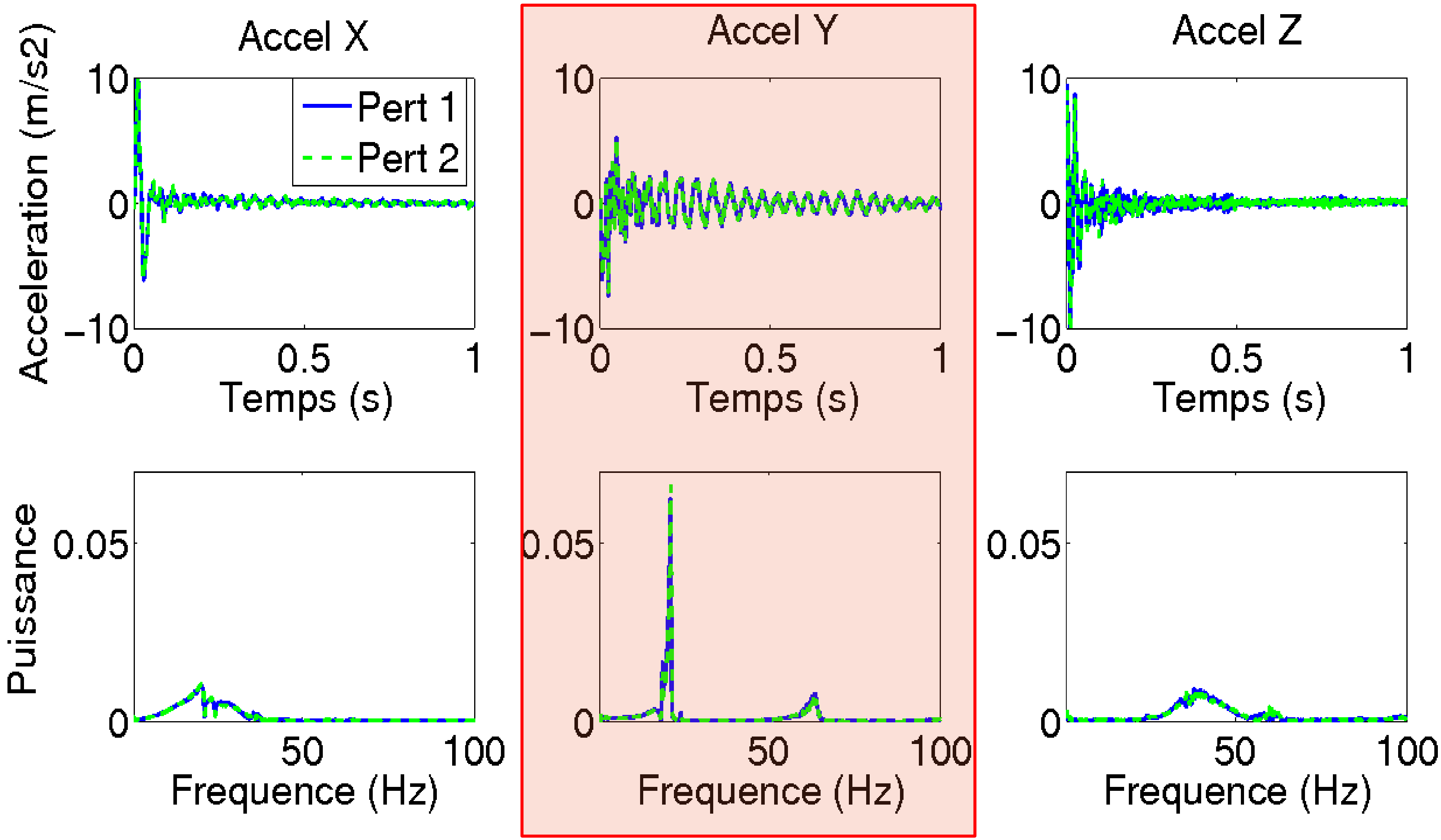
1) Évaluation des vibrations

3) Synthèse de contrôleur

2) Modélisation des actionneurs;



Evaluation des vibrations

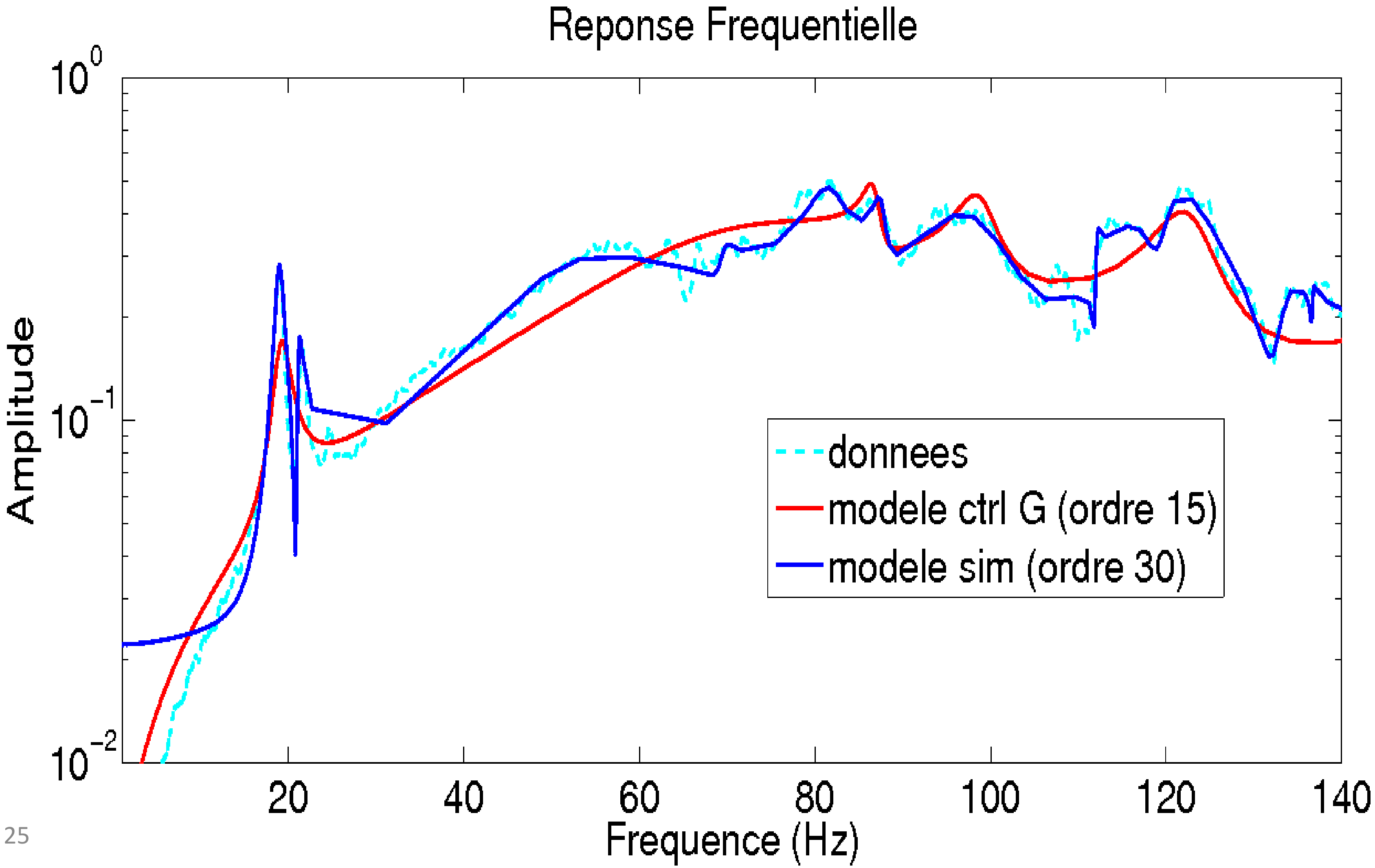


•**Bonne reproductibilité;**

•Fréquence principale en Y autour de 21 Hz;

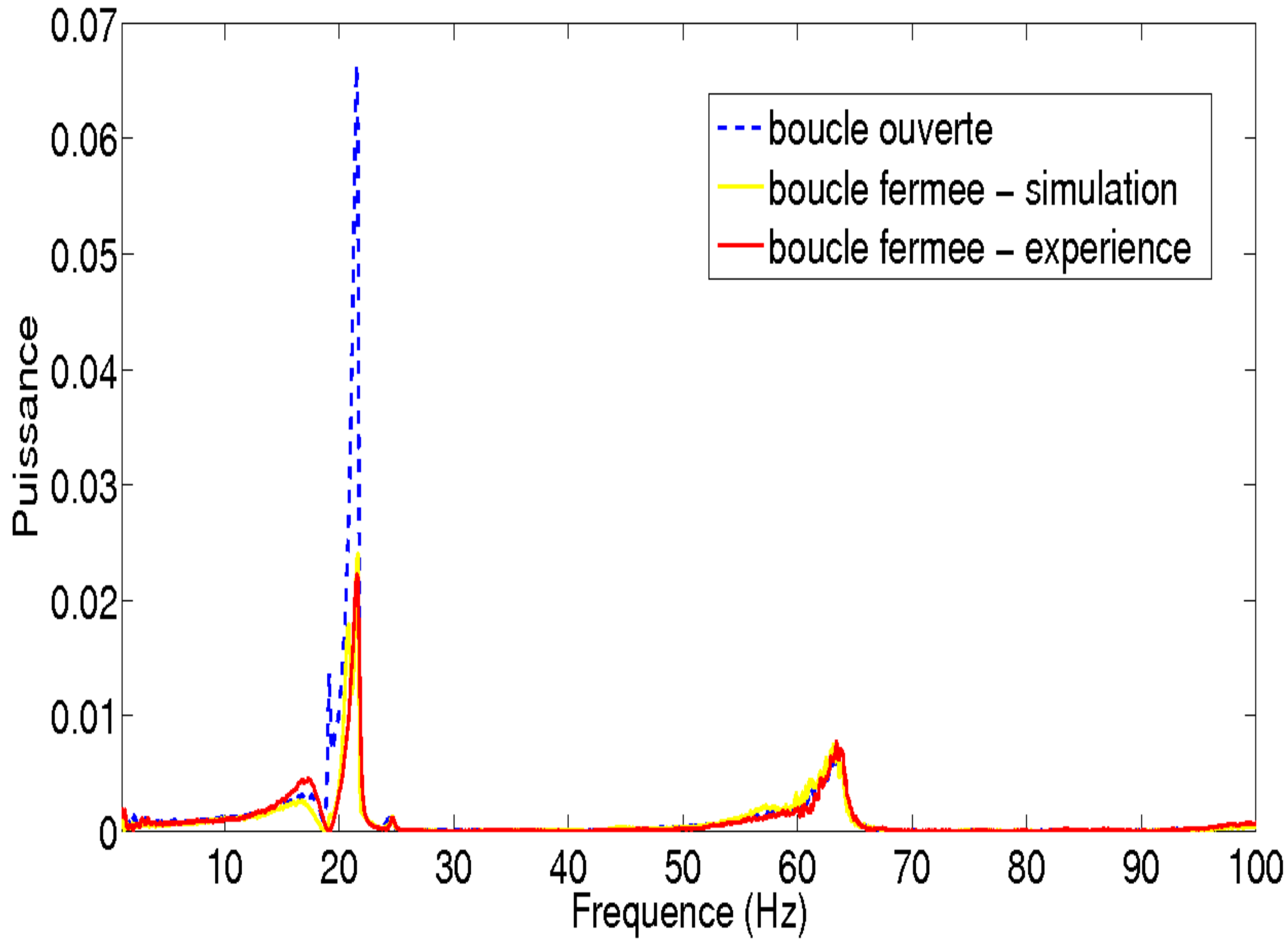
Modèle des actionneurs

- **Signal d'entrée: CHIRP de 0 à 140 Hz – 100s - 1kHz**
- Filtrage des données: Butterworth d'ordre 5 avec coupure à 140 Hz

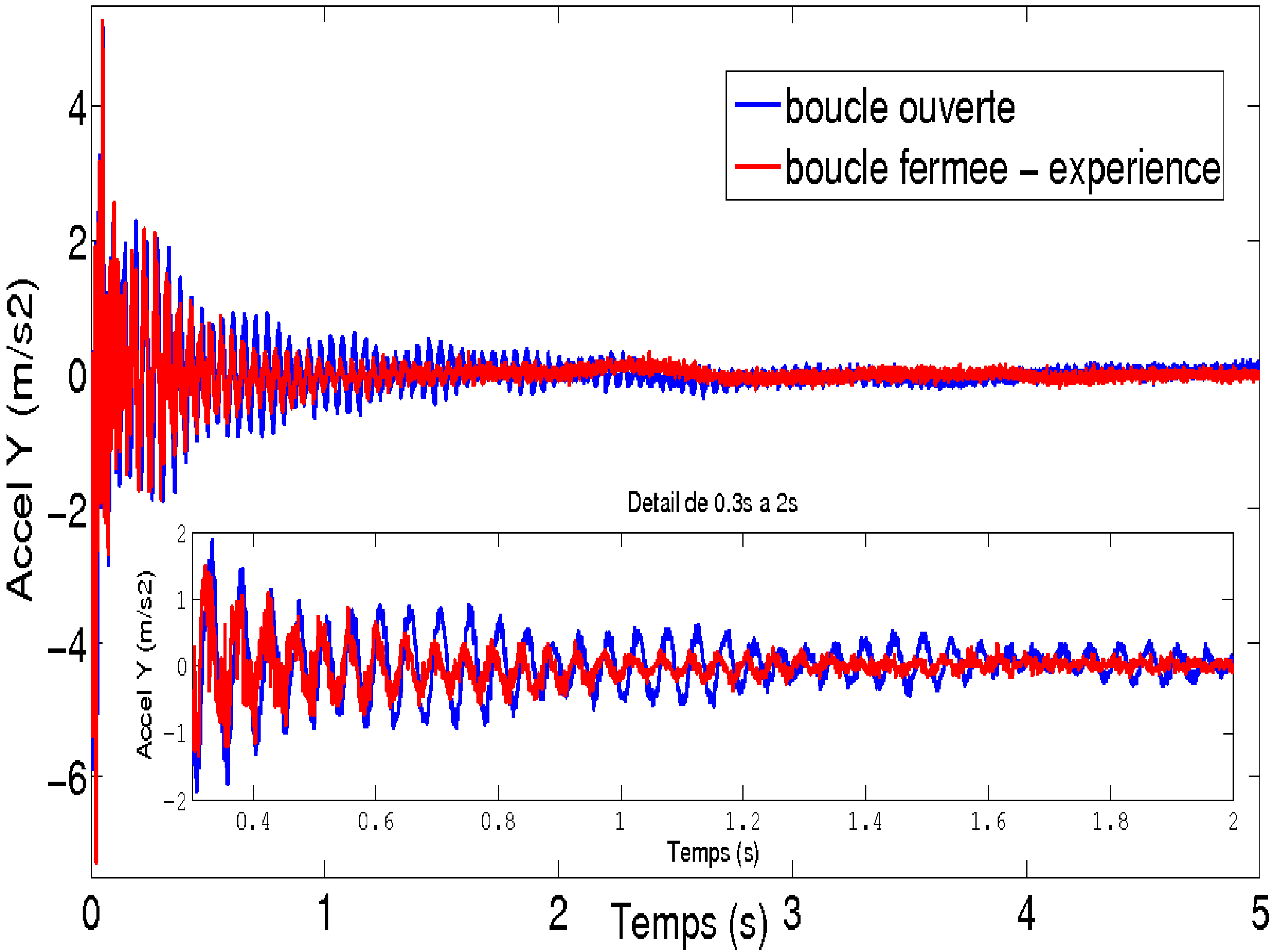


Expérimentation : spectre de puissance

Contrôleur H_infini d’ordre 20, ramené à l’ordre 5

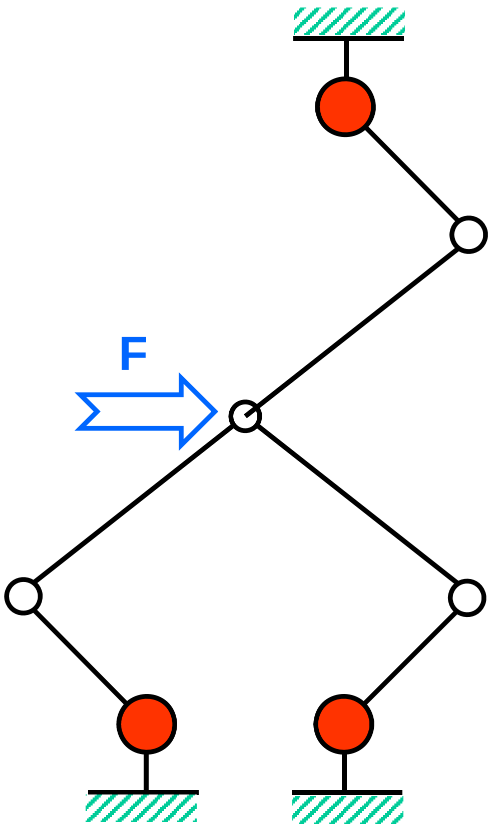


Expérimentation : réponse temporelle



Apport de la redondance d'actionnement

- … sur les performances en accélération (≠ redondance cinématique)

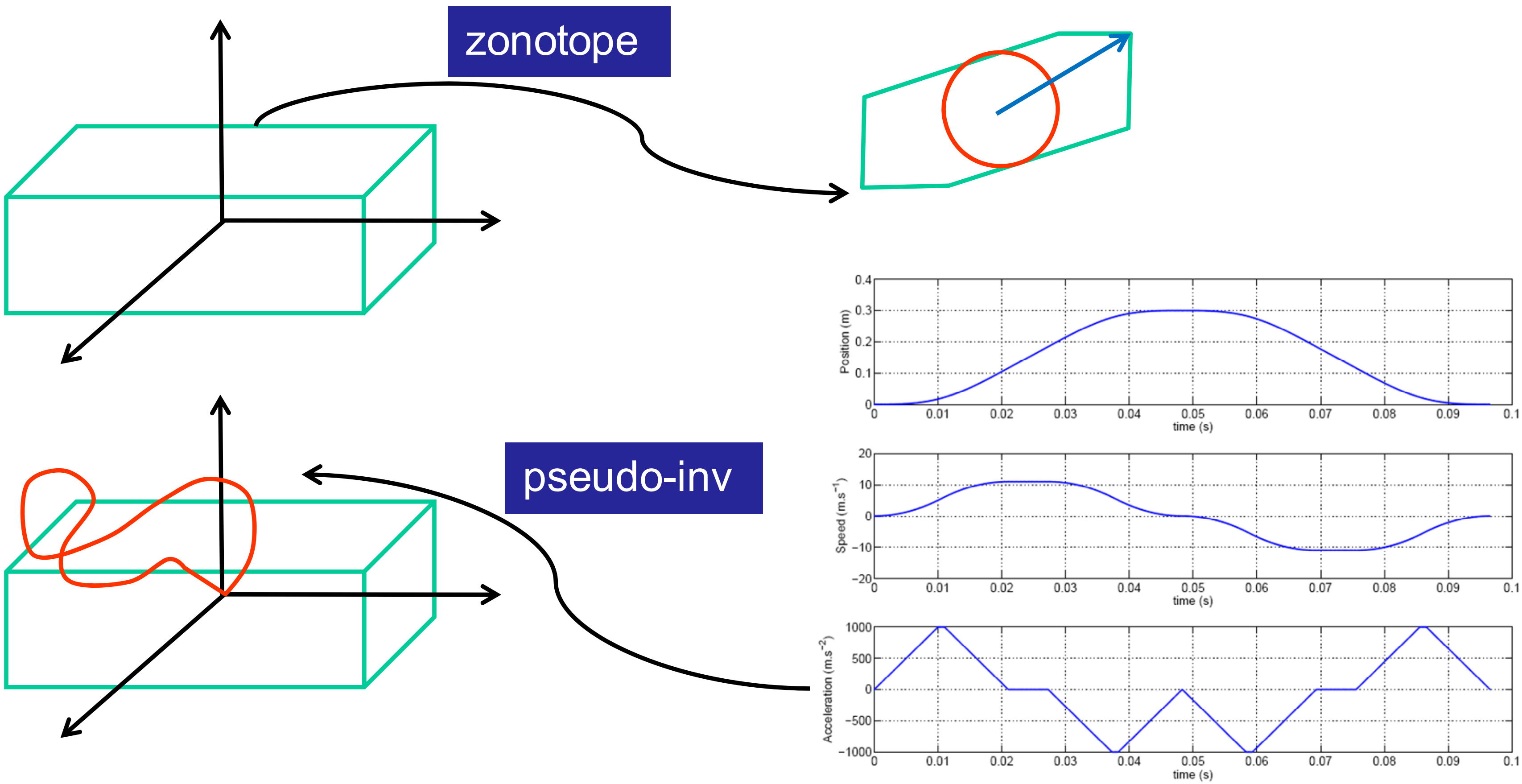


➔ redondance actionnement : pour un **F** donné, une infinité de couples moteurs

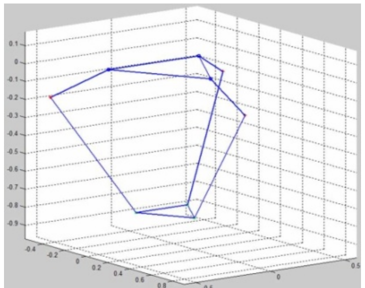
➔ moteur en plus → inertie plus forte ou …
➔ capacité de couple plus forte → plus grande accélération ?

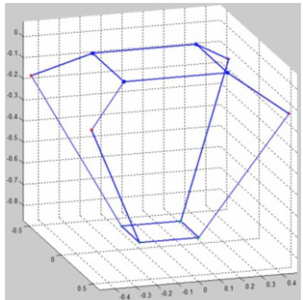
Outils de quantification des performances

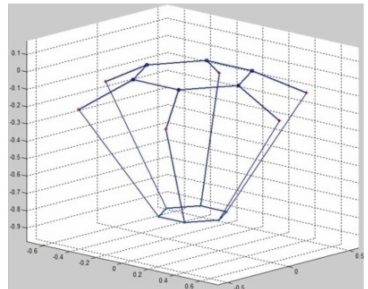
$$\ddot{x} = \left(M_{tot} + J_m^T I_{tot} J_m\right)^{-1} J_m^T \left(\Gamma - I_{tot} \dot{J}_m \dot{x}\right)$$



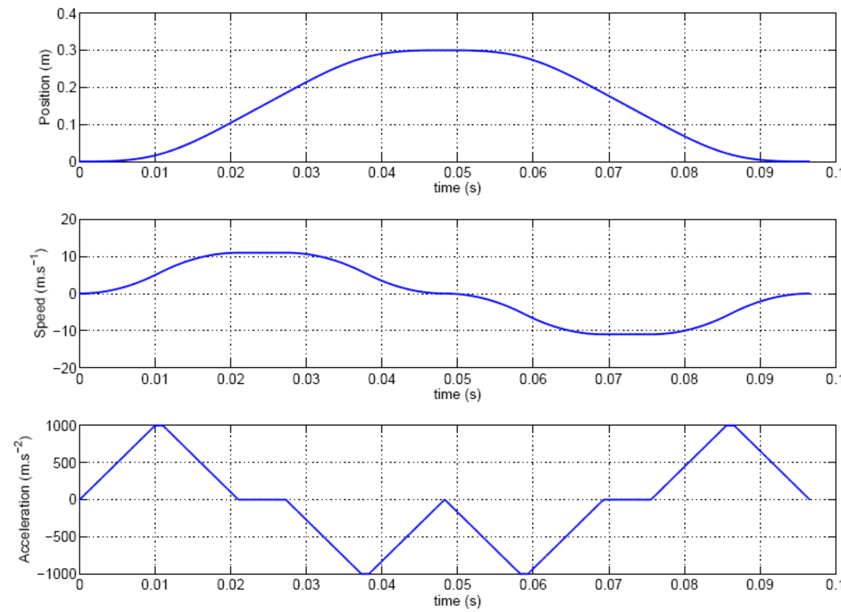
Etude de cas : 3 ddl





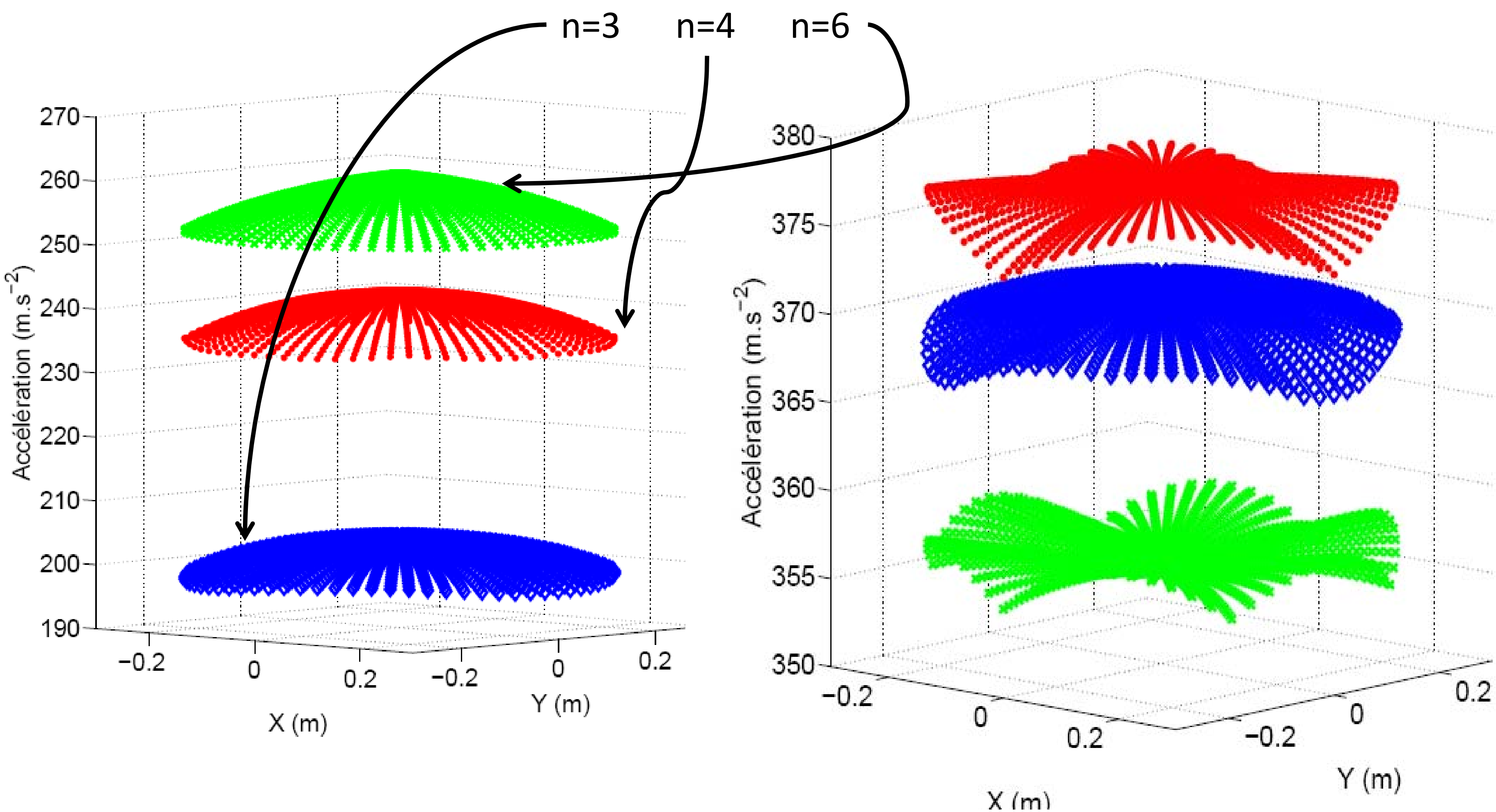


M_{tp} (kg)	0.6	0.6	0.6
I_{act} (kg.m^2)	0.004	0.003	0.002
I_{arm} (kg.m^2)	0.094	0.071	0.047
$M_{forearm}(kg)$	0.4	0.3	0.2
$\Gamma_{max}(N.m)$	119	89	59



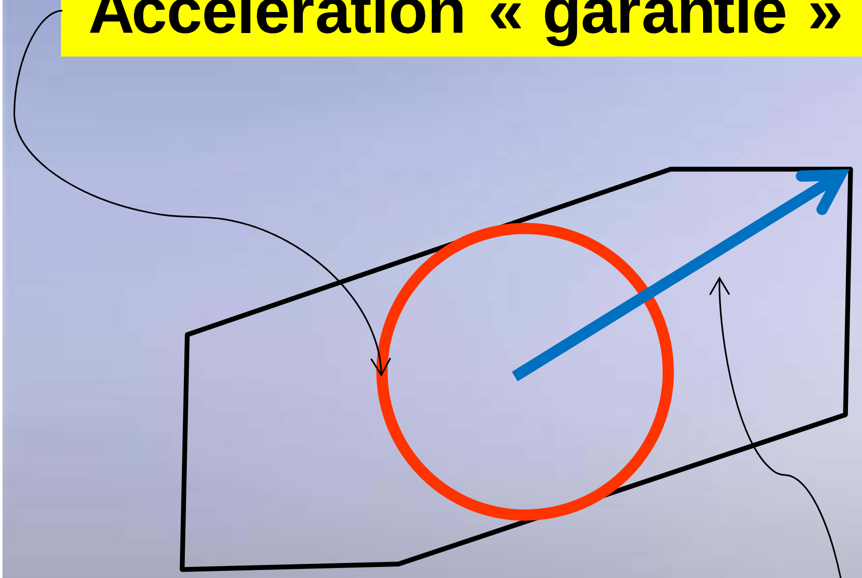
- Hyp. : pour une famille de moteur donnée, **Couple / Inertie = Cte**
- n moteurs (C_n et I_n) ➔ m moteurs ($C_m = n^* C_n / m$ et $I_m = n^* I_n / m$)

3 ddl et 3, 4 ou 6 moteurs ?

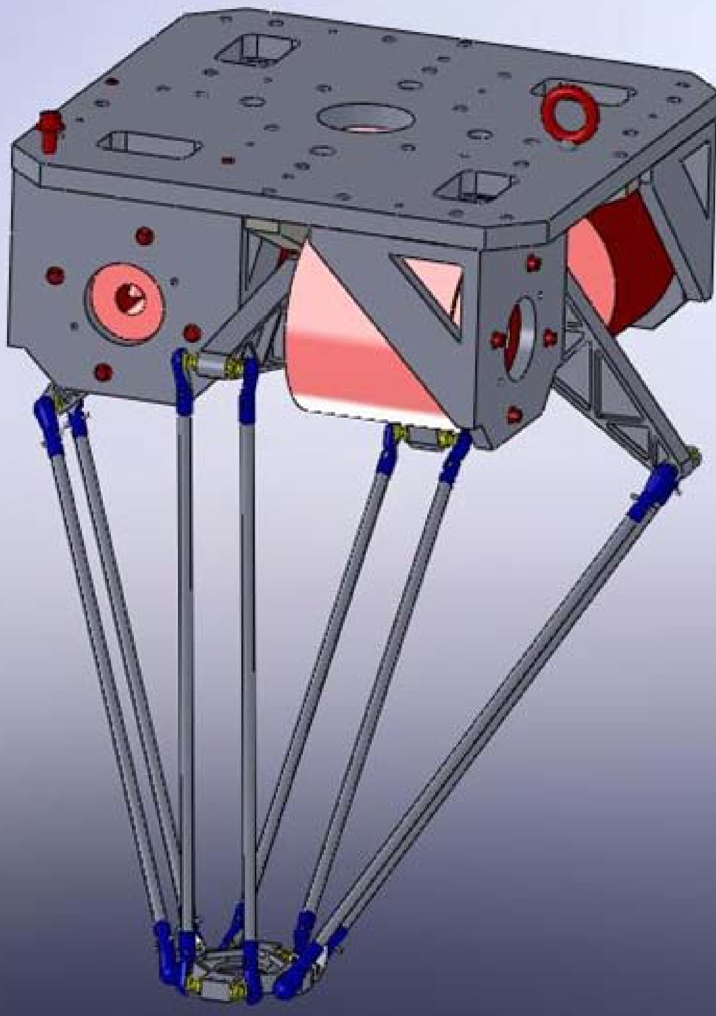


R4 : robot redondant optimisé

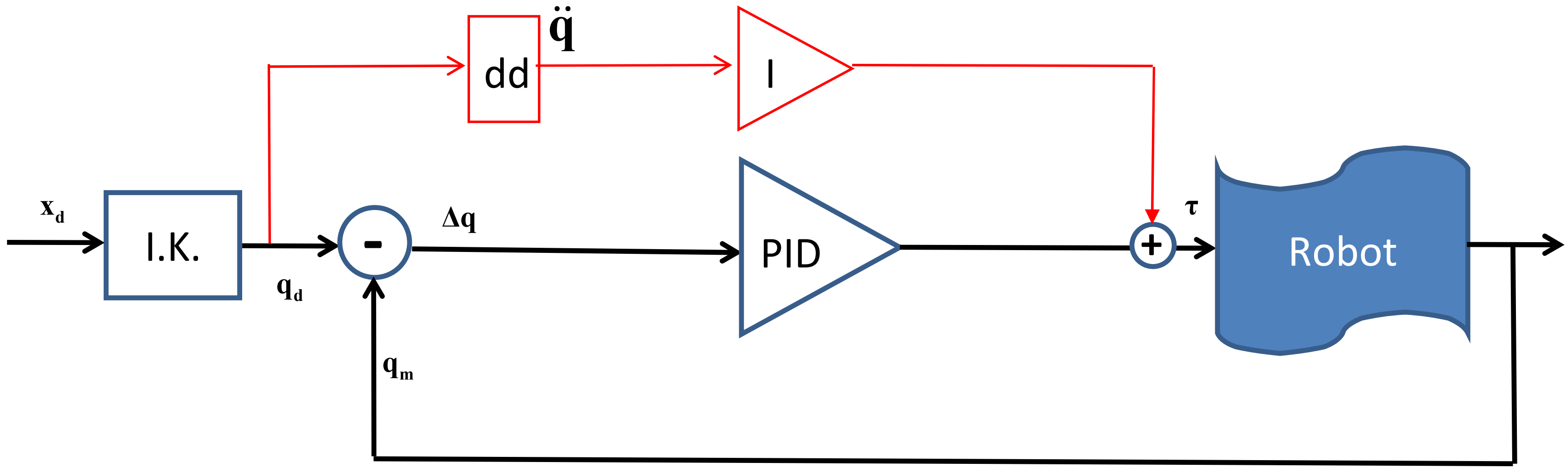
Accélération « garantie » : 100G

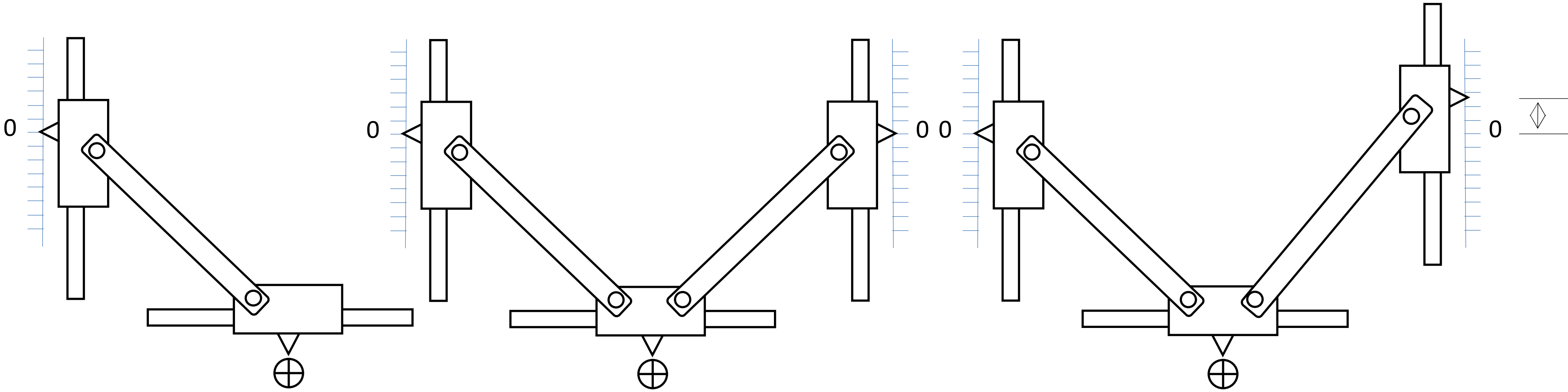


Accélération « crête » : 140G



Vers la commande « dual-space » : schéma usuel



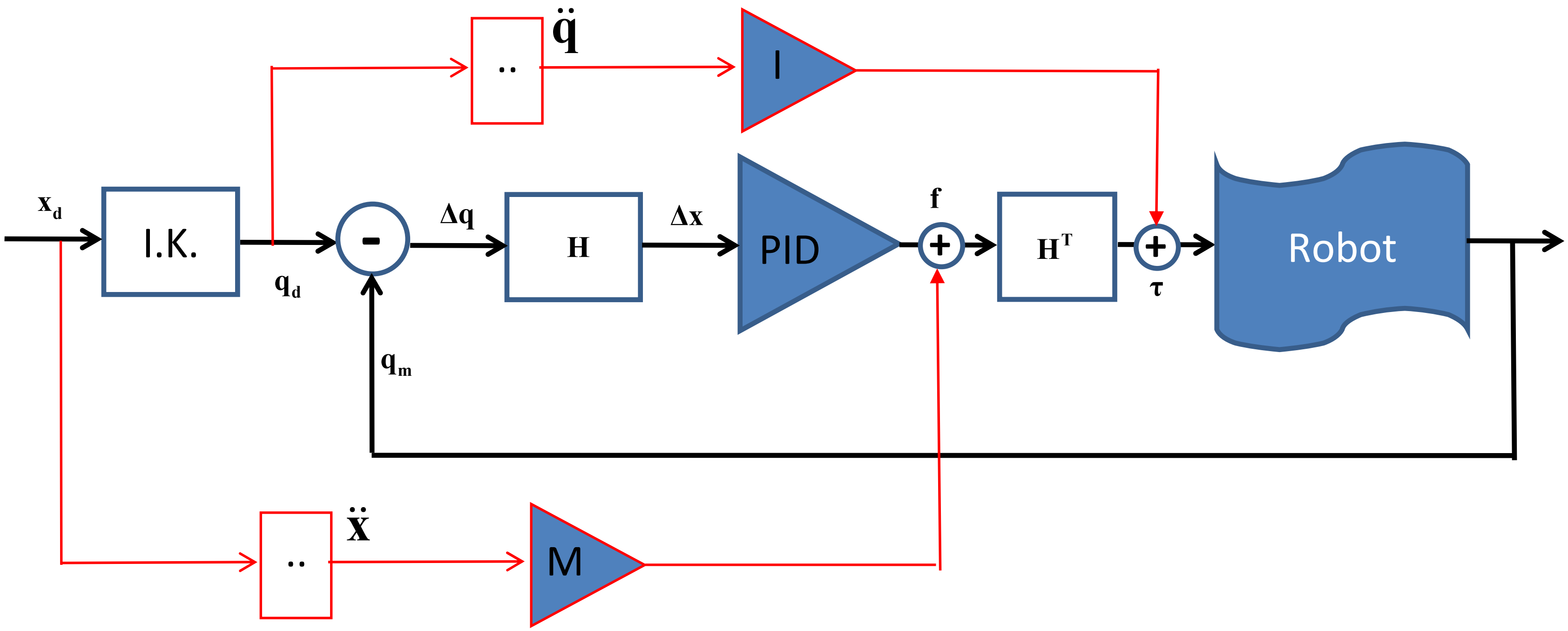


Commande « dual-space »

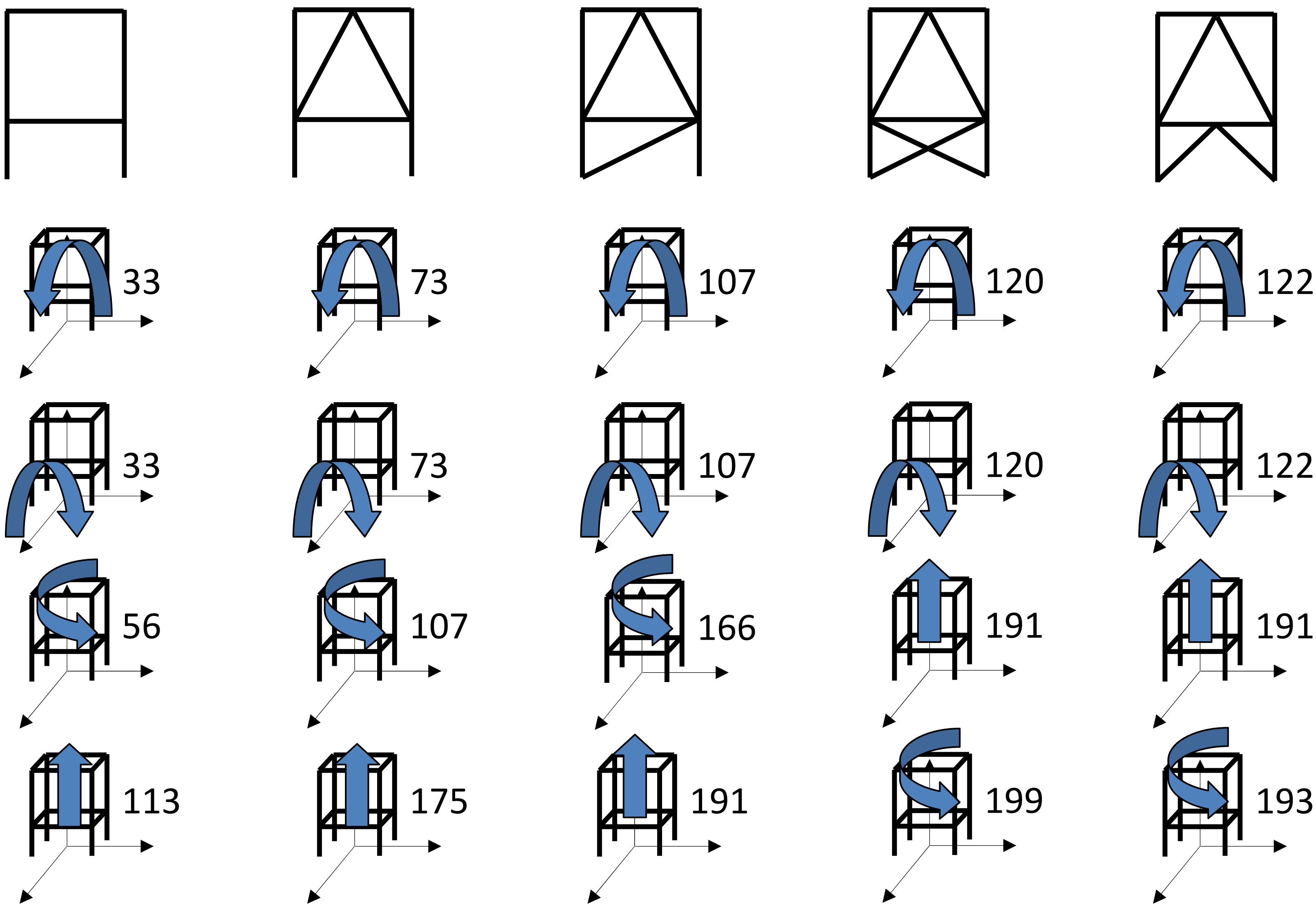
$$\dot{q} = J_m \dot{x} \quad \rightarrow \quad \dot{x} = J_m{}^{+} \dot{q} = H\dot{q} \quad \rightarrow \quad \tau = H^t f$$

$$J_m{}^t \tau = \left(M + J_m{}^t I J_m\right)\ddot{x} + J_m{}^t I \dot{J}_m \dot{x}$$

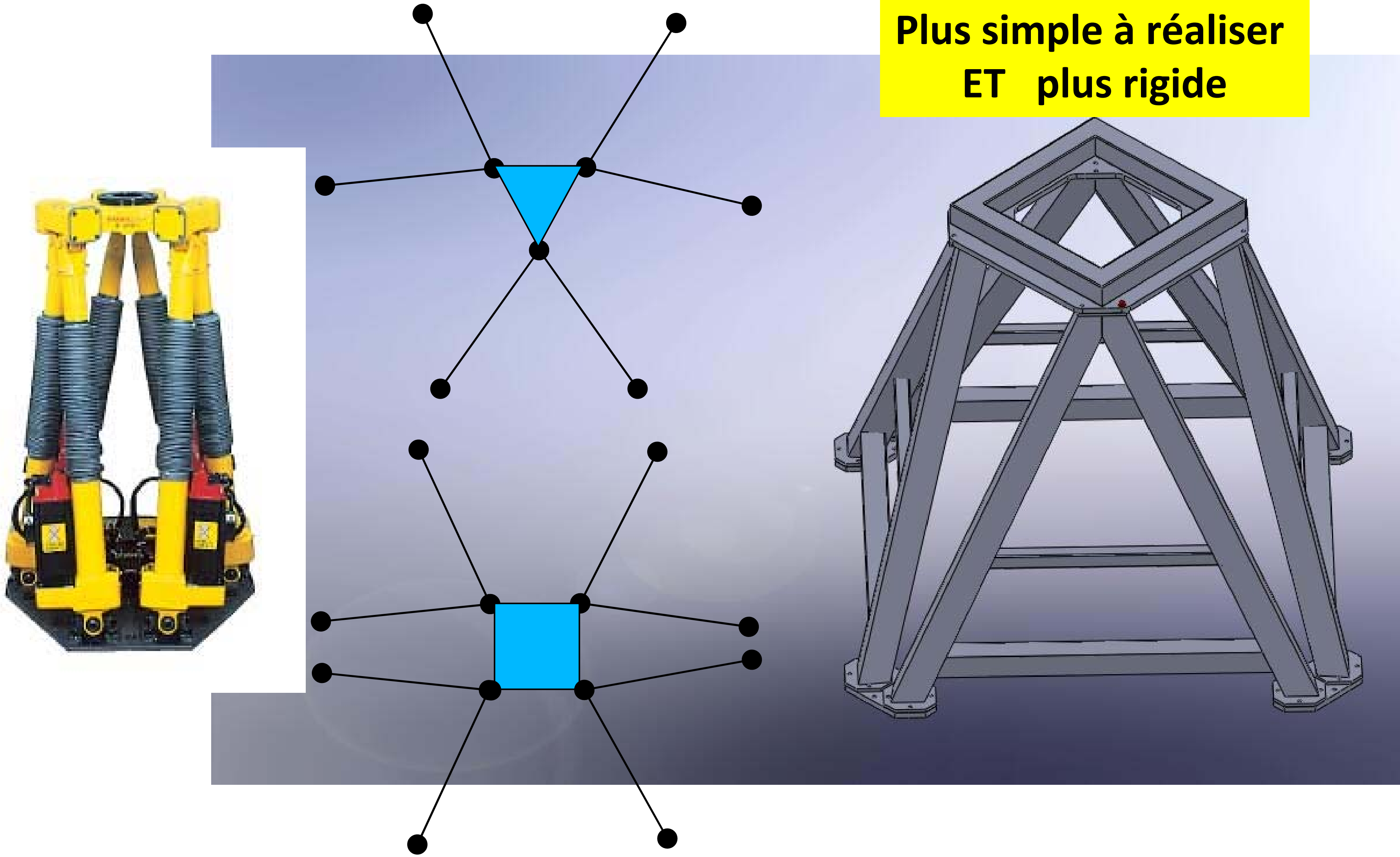
$$J_m{}^t \tau = M\ddot{x} + J_m{}^t I \ddot{q} \quad \rightarrow \quad \tau = H^t M \ddot{x} + I\ddot{q}$$



Vibrations : le problème vu autrement (1)



Châssis anti-vibratoire



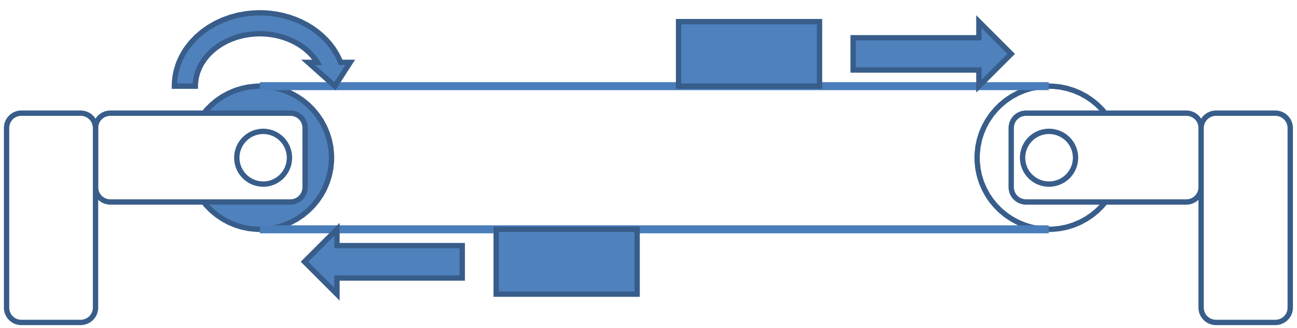
Plus simple à réaliser
ET plus rigide

Record absolu d'accélération

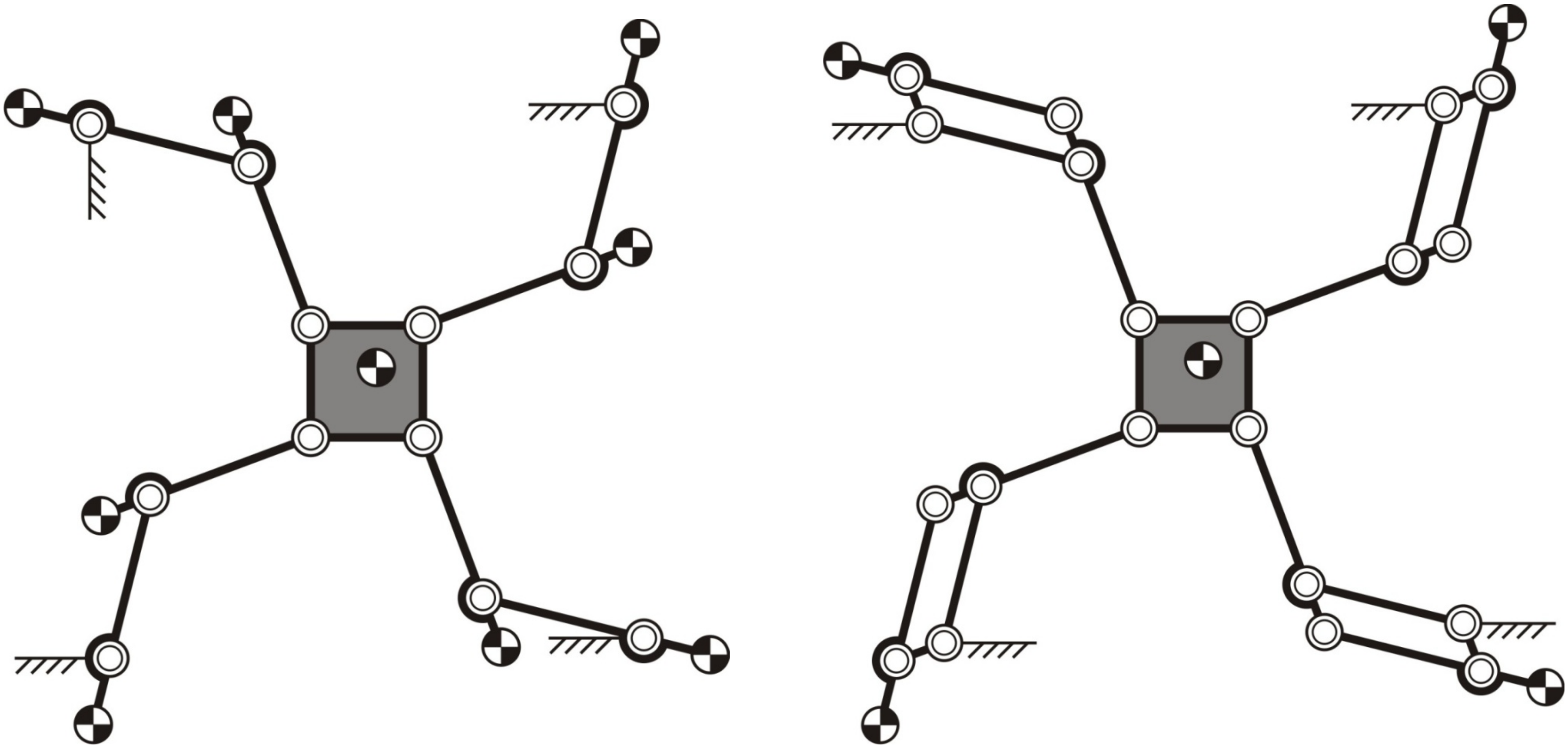
Vibrations : le problème vu autrement (2)

- Un mécanisme en mouvement avec accélération crée des forces sur le châssis
- Ces forces font vibrer le châssis … ce qui crée des forces sur le sol … et fait vibrer les autres machines

- … sauf si on annule ces « shaking forces »

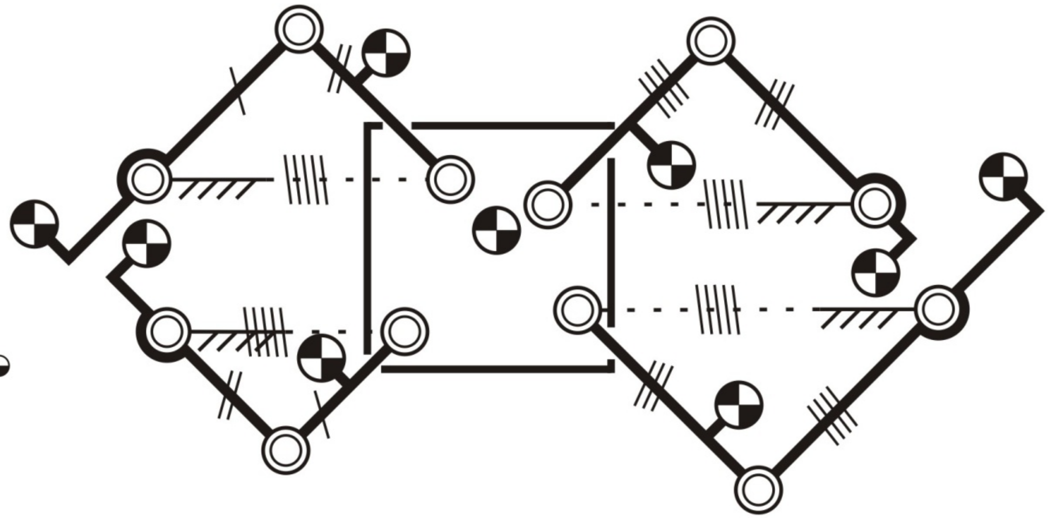


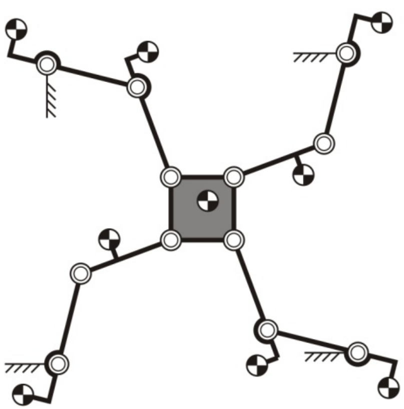
4-RRR general balancing



4-RRR manipulator with parallel relations

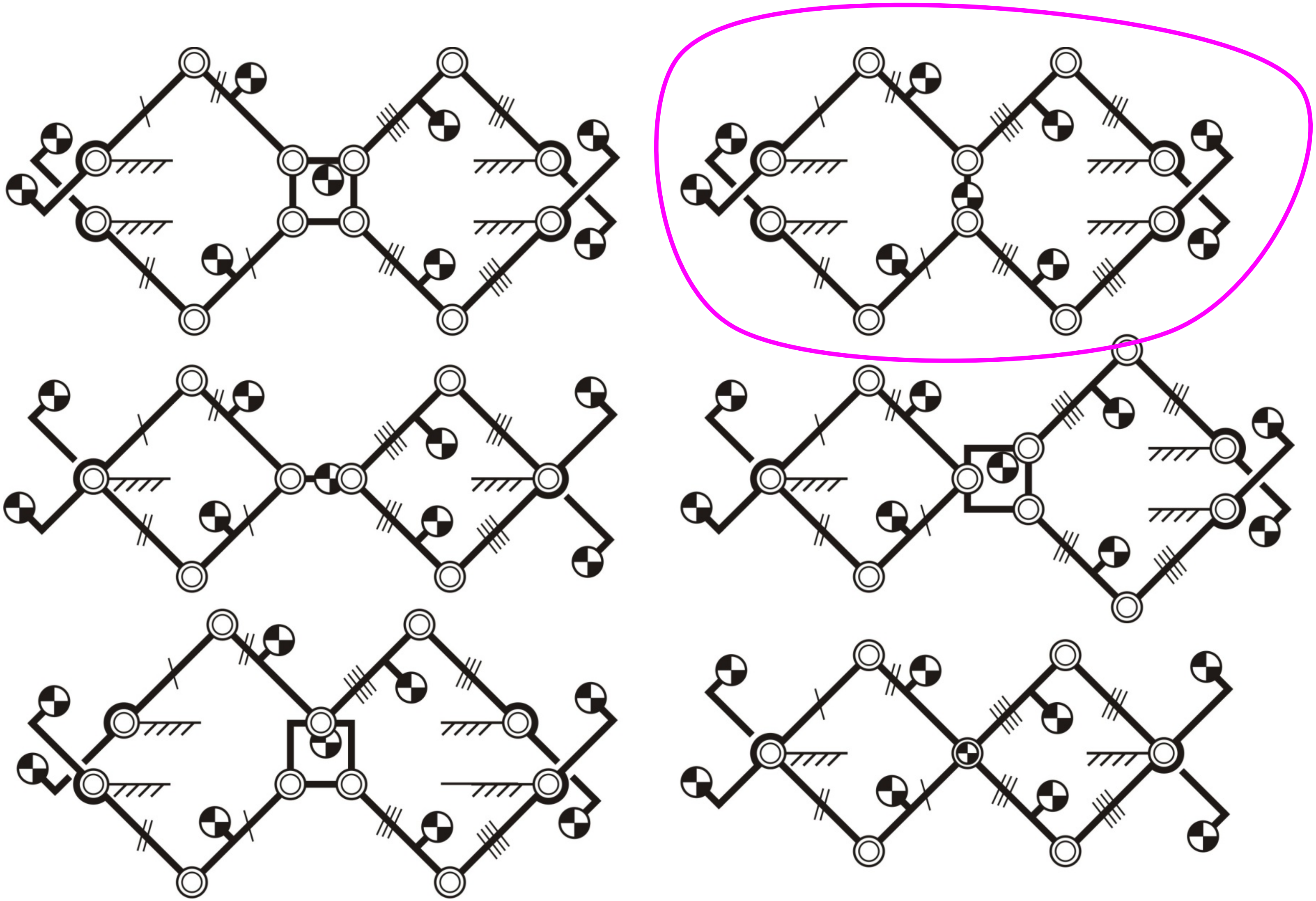
For a platform that does not rotate



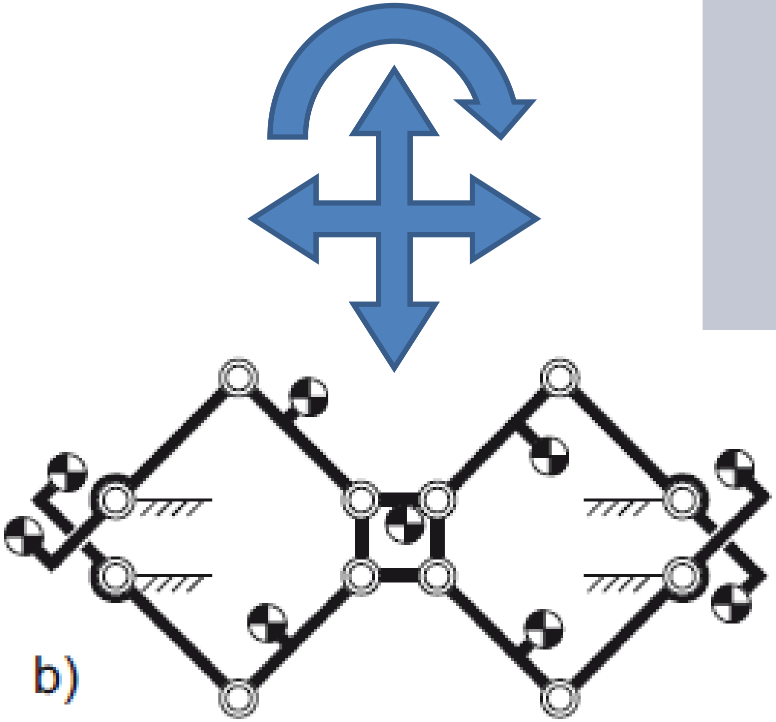


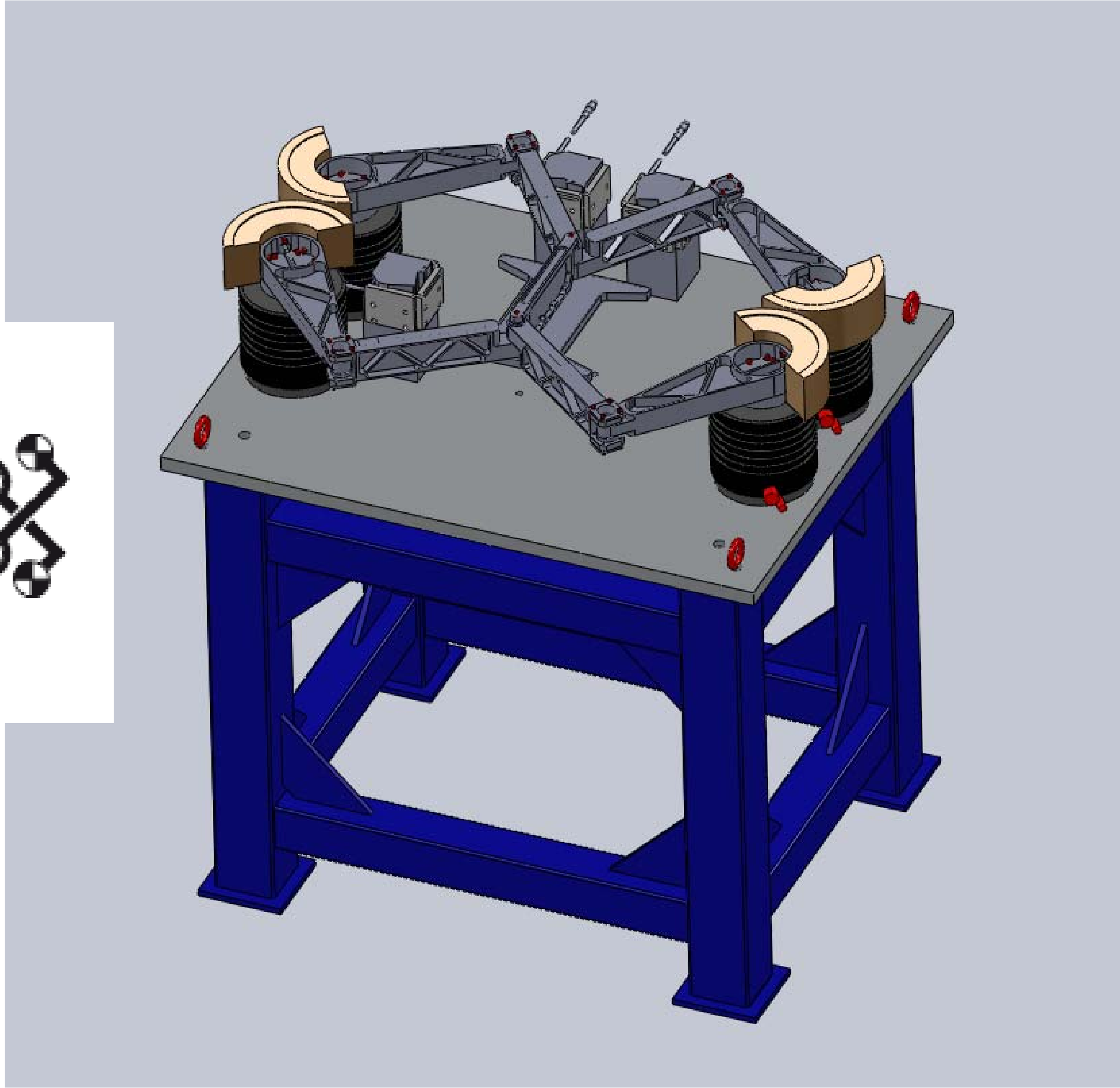
Result: just 8 balance conditions!!

Selection of architecture for prototype

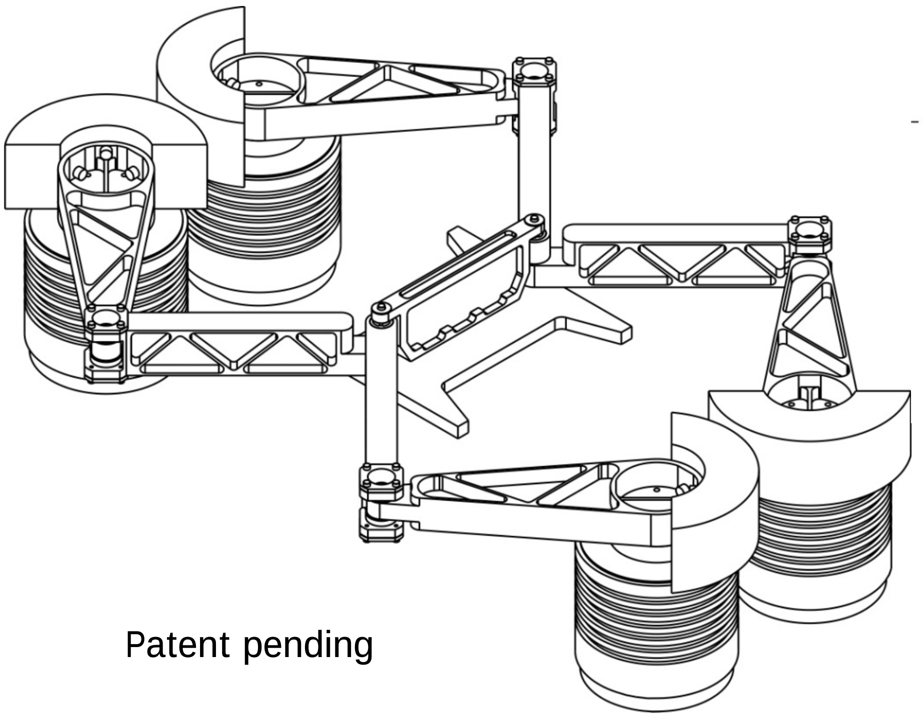


Robot parallèle à équilibrage dynamique

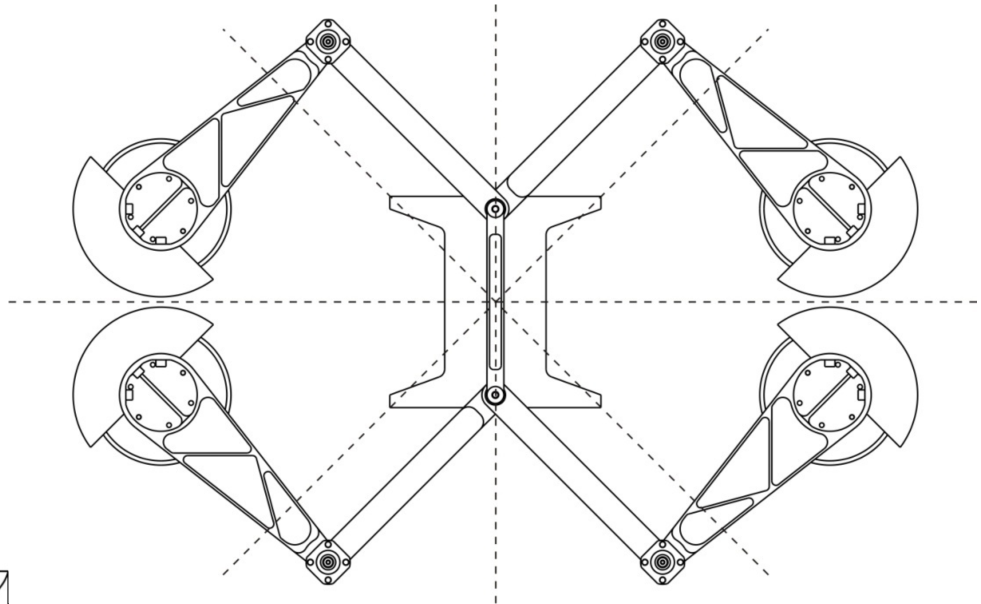




DualV CAD



Patent pending

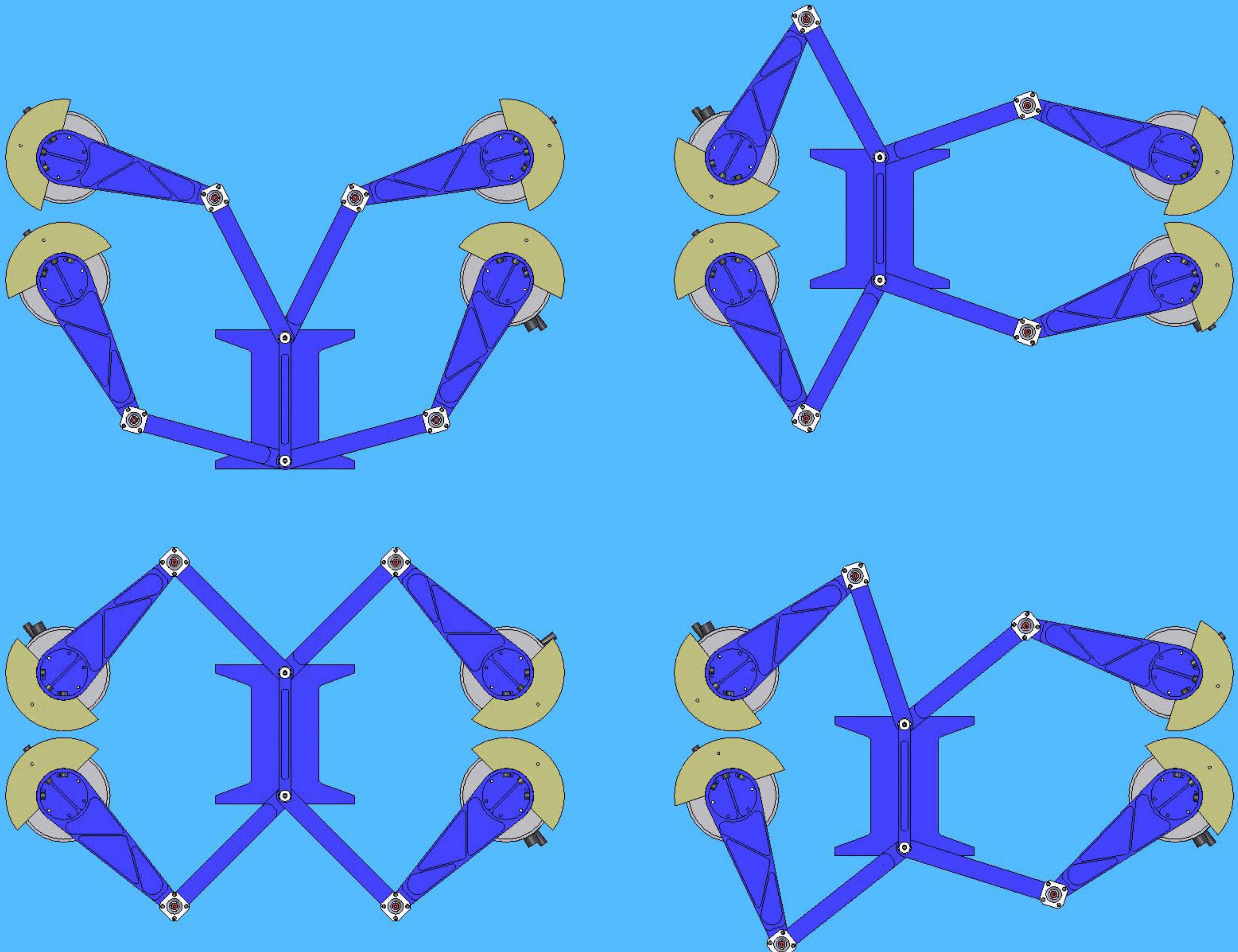


•Perfectly force-balanced for all motion

•Perfectly moment-balanced for motion along the symmetry axes

•Minimal shaking moments along diagonals

>> For a platform that does not rotate



DualV prototype

Thank you!