

---

# Contrôle et Commande de grille active - Pilotage synchronisé de 20 moteurs

Santiago Andrés Pantano Calderón

Sous la supervision de

Romain Mathis  
Frédéric Bergame

# Table de matières

1. Généralités du projet
2. Présentation du système
  - i. Composants mécaniques et électroniques
  - ii. Drivers
  - iii. Moteurs
3. Commande des moteurs
  - i. Couches du programme
  - ii. Commande en vitesse des moteurs
  - iii. Synchronisation des moteurs
4. Diagramme LabView (couche FPGA)
5. Face-avant LabView (couche UI)
6. Travail à venir et Vidéo test

# Généralités du projet

- La plus grande partie des tunnels de vent fonctionnent avec des écoulements laminaires, donc des niveaux de turbulence  $T_u < 1\%$
- Travaux de recherche étudient les impacts du écoulement turbulent sur des applications industrielles et environnementales
- Création de turbulence dans un tunnel de vent à partir d'une grille active
- La turbulence doit avoir quelques propriétés réglables :
  - Nombre de Reynolds
  - Taille des tourbillons

# Composante mécanique

- 10 tiges horizontaux et 10 verticaux
- 20 moteurs
- 11 palettes fixées sur chaque tige
- La grille a des dimensions de  $500 \times 500 \text{ mm}$
- Chaque palette a des dimensions de  $50\sqrt{2} \times 50\sqrt{2} \text{ mm}$

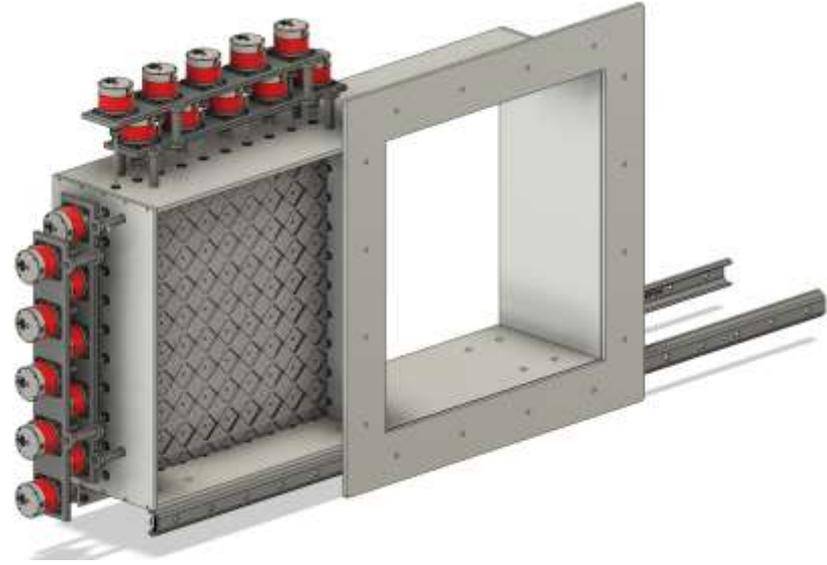


Figure 1. Final assembly. IMFT

# Composante électronique

- *NI Compact RIO 9039*
  - Carte FPGA *Kintex-7 325T*
  - Processeur 1,91 MHz quadruple cœur
- Modules E/S
  - *NI 9403*
  - *NI 9263*
  - *NI 9264*
  - *NI 9205*
- Alimentation *Traco Power TSP 360-124, 24V/10A*
- Codeurs optiques incrémentaux *HEDS 5540*
- Drivers

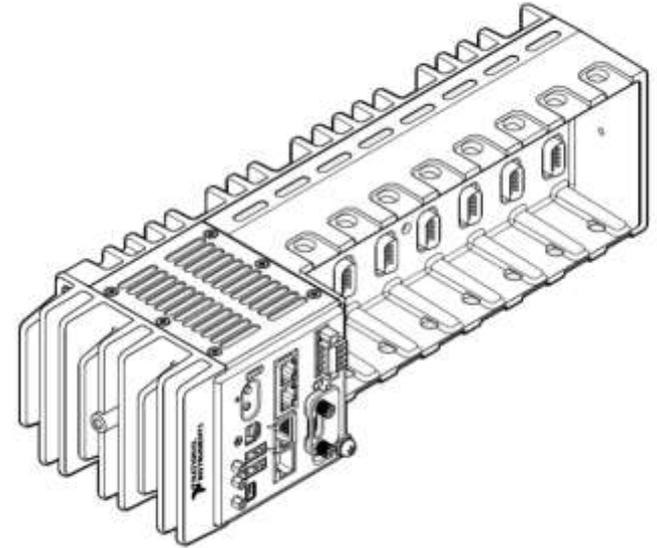


Figure 2. NI cRIO 9039. National Instruments

# Moteurs

## *Sonceboz Hybrid Stepper Motors 6600-20*

### Caractéristiques mécaniques

- Moteurs pas à pas de 200 pas par révolution
- Précision de  $1,8^\circ$
- Torque statique de 925 mN·m

### Caractéristiques électriques

- Tension d'alimentation de  $+24 V_{DC}$
- Courant nominal de 3,8 A

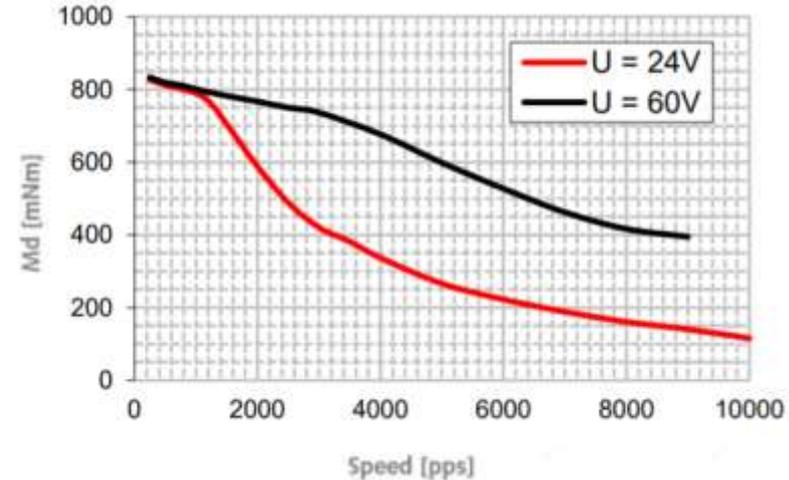


Figure 3. Courbe Vitesse - Torque. Sonceboz

# Drivers

- Un driver fait la connexion entre le système de contrôle et le système à contrôler
- Il est requis dû aux besoins de puissance
- Les drivers permettent de mettre en place une communication fiable entre la *NI cRIO* et les moteurs à commander
- Il est nécessaire un driver par moteur
- Dans ce système, les moteurs sont alimentés avec une tension de 24V et un courant de 380 mA
- Le driver choisi est le *Axiesdrive S-10*
- Ils sont configurés en mode **Speed GO/DIR**

# Drivers

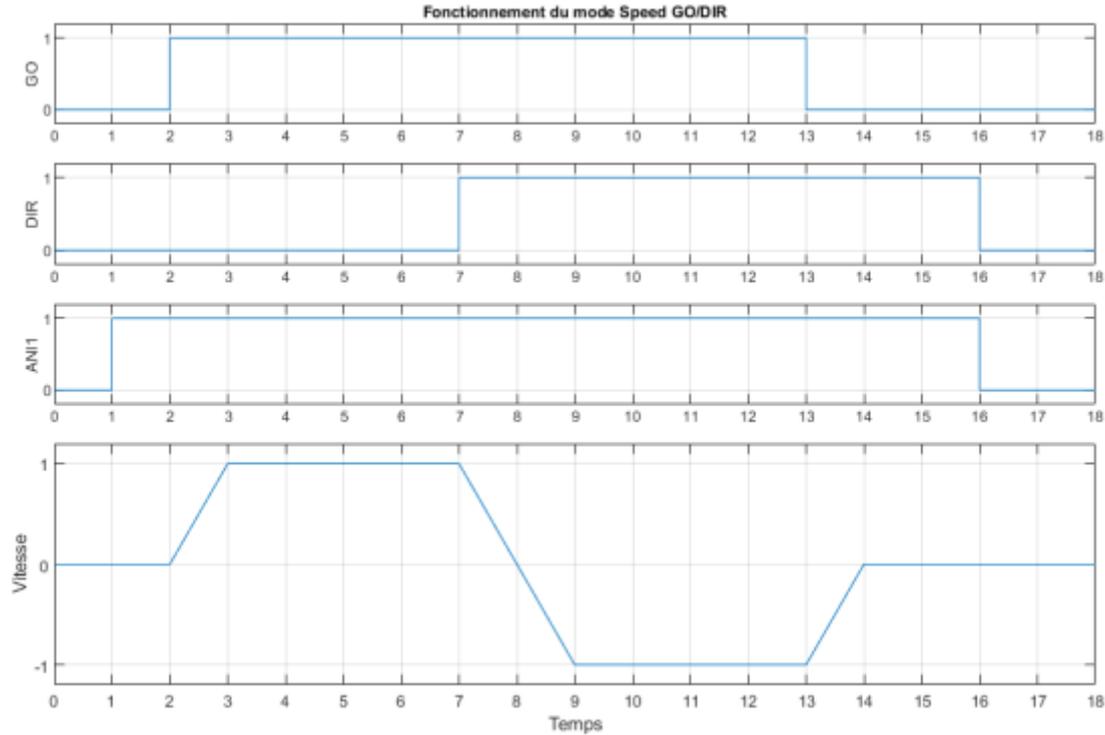


Figure 4.  
Fonctionnement  
du mode Speed  
GO/DIR

# Couches du programme

- **Couche Interface Utilisateur**
  - Tourne sur l'ordinateur de l'utilisateur
  - Permet à l'utilisateur de configurer tous les paramètres réglables aux lesquels il a accès
  - Interface user-friendly
- **Couche Temps réel**
  - Exécuté sur le processeur de la NI cRIO (utilise 91% de la charge CPU)
  - Réalise l'ordonnancement des tâches en fonction de la priorité et de la date d'arrivée des messages
  - Permet la communication entre l'utilisateur et la FPGA
- **Couche FPGA**
  - Exécuté sur la FPGA *Kintex-7 325T* de la NI cRIO
  - Exécute toutes les fonctions de contrôle et commande des moteurs

# Commande en vitesse

- Le driver fait lui-même la régulation en courant et en vitesse
- Il existe une relation quasi-proportionnelle entre la tension envoyée vers le driver et la vitesse du moteur
- Pour trouver l'équation qui définit cette relation on envoie différentes tensions vers le driver et on mesure la vitesse des moteurs à l'aide des codeurs incrémentales

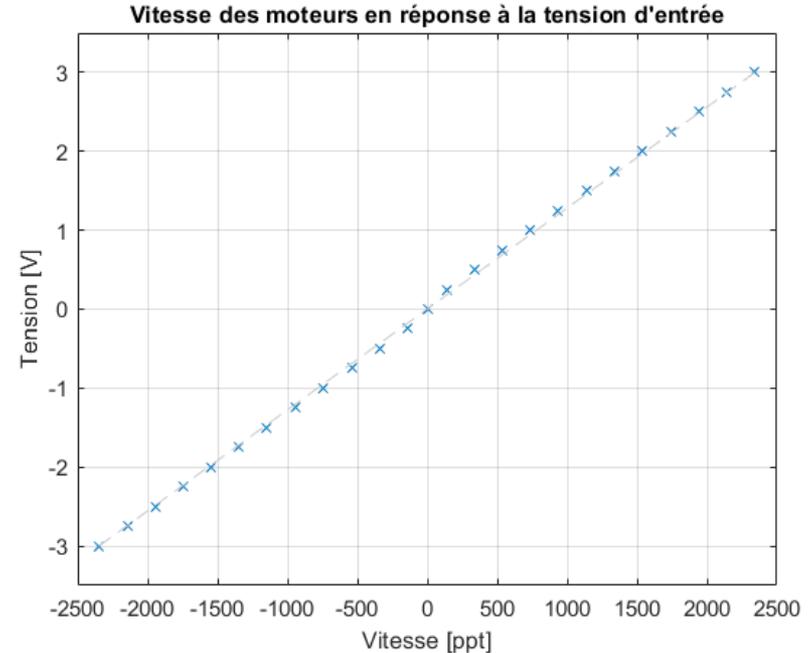
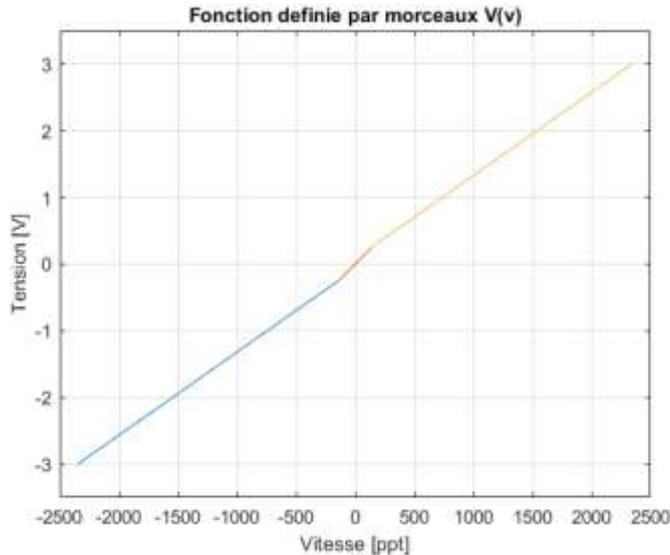


Figure 5. Tension requise pour différentes vitesses du moteur

# Commande en vitesse

- On fait l'interpolation des points trouvés pour calculer l'équation qui définit la relation tension-vitesse



$$V(v) = \begin{cases} 0,00125 \cdot v - 0,07291 & \text{si } v < -150 \\ 0,00177 \cdot v & \text{si } -150 \leq v \leq 150 \\ 0,00125 \cdot v + 0,07961 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Vérification avec trois moteurs

$$e_{max} = e_3 \Big|_{V_r = -0,25} = 3,37\%$$

- Unités ppt (pulses par tick) : Nombre de pulses du codeur par période d'horloge de contrôle

Figure 6. Tension en fonction de la vitesse du moteur

# Synchronisation des moteurs

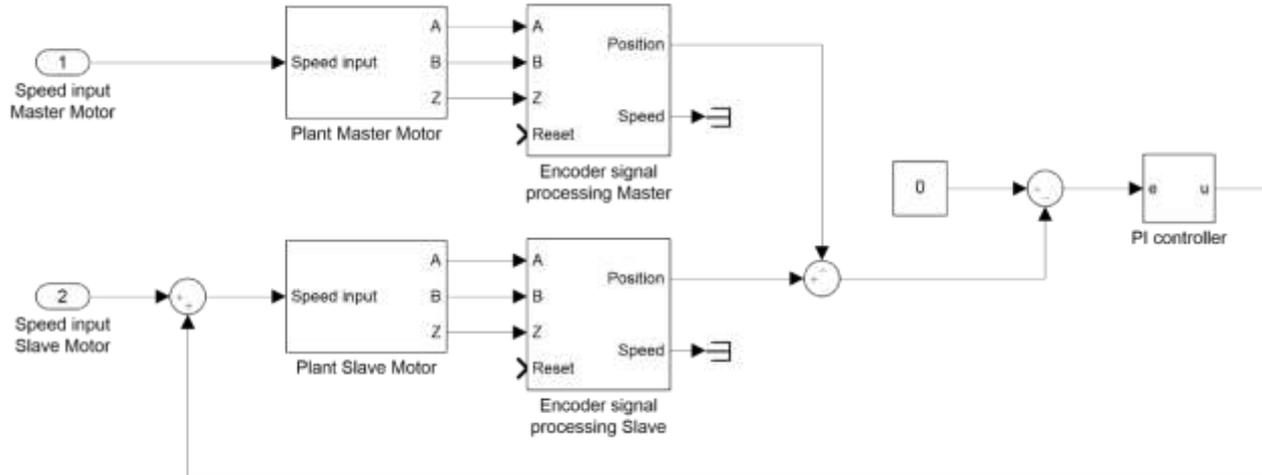


Figure 7. Schéma blocs du système de synchronisation de deux moteurs

- Concept de moteur maître et moteur esclave
- La consigne du système est la différence de position désirée
- Le système possède deux perturbations externes

# Synchronisation des moteurs

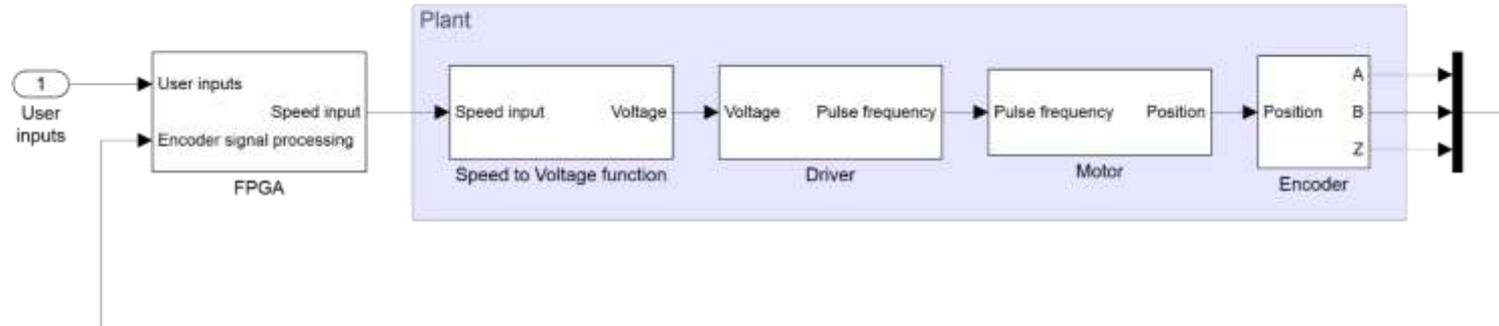


Figure 8. Description détaillée du procédé

- Concept de moteur maître et moteur esclave
- La consigne du système est la différence de position désirée
- Le système possède deux perturbations externes

# Synchronisation des moteurs

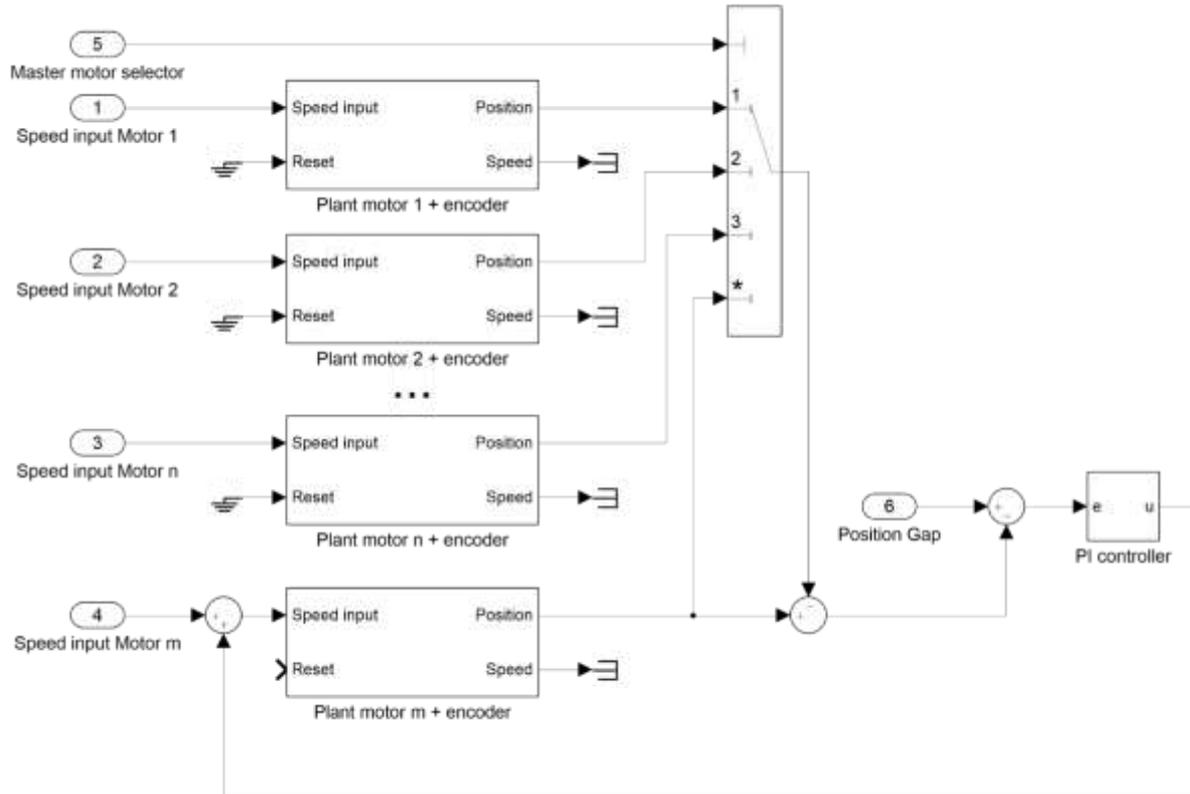
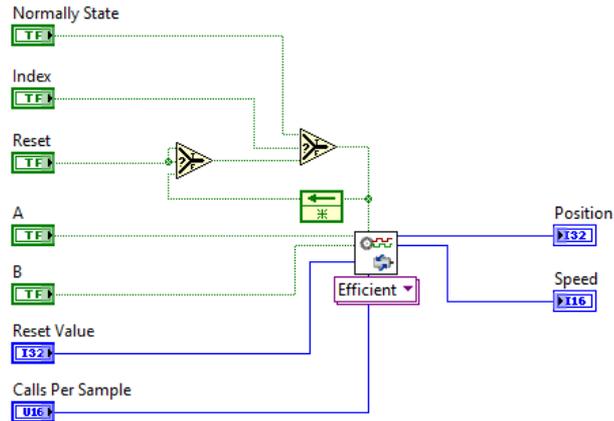


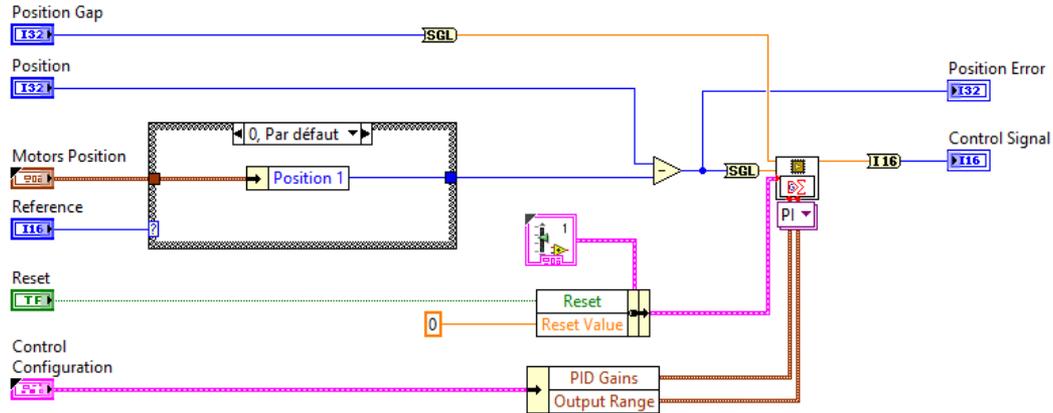
Figure 9. Schéma blocs du système de commande en vitesse et position d'un moteur individuel

# Diagramme Labview



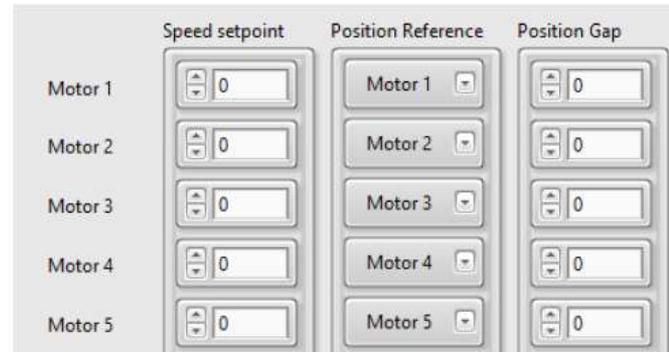
Fonction d'estimation de vitesse et position pour un moteur individuel

# Diagramme Labview



Fonction de synchronisation pour un moteur individuel

# Face-avant Labview



Section de l'interface pour définir la consigne de vitesse, le moteur maître et la consigne d'écart de position

# Face-avant Labview



Section de l'interface qui affiche les valeurs de tension, vitesse et position absolue et relative des moteurs

# Travail à venir

- Compiler le programme pour entrer dans le mode exécutable
- Faire des tests du système avec tous les moteurs installés sur la grille, avec les inerties et couples intrinsèques de la construction mécanique
- Par essais et corrections successives, trouver différents modes de synchronisation des moteurs pour obtenir les turbulences désirées
- Une fois qu'on a trouvé les synchronisations les plus favorables, mettre en place une boucle de contrôle pour faire des petites corrections sur la vitesse des moteurs

# Vidéo test



---

# Merci de votre écoute

Questions