

AUT202 - Automatique : dynamique et contrôle des systèmes

Domaine du contrôle : exemples et notions fondamentales

Nicolas Petit

Centre Automatique et Systèmes
MINES ParisTech, PSL University
nicolas.petit@mines-paristech.fr

Vendredi 29 janvier 2021

Nombreux domaines

- **aérospatial** (guidage-pilotage d'avions/fusées/missiles, positionnement de satellites, ...)
- **machines-outils** (commande numérique pour l'usinage)
- **électrotechnique** (moteurs, générateurs, ...)
- **génie des procédés** (chimie, raffinage, pharmacie, dépollution, ...)
- **industrie automobile** (commande moteur, suspension active, ABS, confort habitacle, ...)
- ...

Nombreux domaines

- **aérospatial** (guidage-pilotage d'avions/fusées/missiles, positionnement de satellites, ...)
- **machines-outils** (commande numérique pour l'usinage)
- **électrotechnique** (moteurs, générateurs, ...)
- **génie des procédés** (chimie, raffinage, pharmacie, dépollution, ...)
- **industrie automobile** (commande moteur, suspension active, ABS, confort habitacle, ...)
- ...

Nombreux domaines

- **aérospatial** (guidage-pilotage d'avions/fusées/missiles, positionnement de satellites, ...)
- **machines-outils** (commande numérique pour l'usinage)
- **électrotechnique** (moteurs, générateurs, ...)
- **génie des procédés** (chimie, raffinage, pharmacie, dépollution, ...)
- **industrie automobile** (commande moteur, suspension active, ABS, confort habitacle, ...)
- ...

Nombreux domaines

- **aérospatial** (guidage-pilotage d'avions/fusées/missiles, positionnement de satellites, ...)
- **machines-outils** (commande numérique pour l'usinage)
- **électrotechnique** (moteurs, générateurs, ...)
- **génie des procédés** (chimie, raffinage, pharmacie, dépollution, ...)
- **industrie automobile** (commande moteur, suspension active, ABS, confort habitacle, ...)
- ...

Nombreux domaines

- **aérospatial** (guidage-pilotage d'avions/fusées/missiles, positionnement de satellites, ...)
- **machines-outils** (commande numérique pour l'usinage)
- **électrotechnique** (moteurs, générateurs, ...)
- **génie des procédés** (chimie, raffinage, pharmacie, dépollution, ...)
- **industrie automobile** (commande moteur, suspension active, ABS, confort habitacle, ...)
- ...

Industrie (historique)



Science Museum, London

Raffinage/ génie des procédés



carburants TOTAL, raffinerie de Feyzin, production 24h/24 en présence d'incertitudes

Le robot équilibriste $2k\pi$

- Manipulateur : 3 angles motorisés
- Pendule : 2 angles **non** motorisés
⇒ 10 états, 3 commandes
- Les 5 angles sont mesurés



Contrôle direct



Contrôle par orbite



Contrôle inspiré

autre exemple, contrôle off, rejet perturbation

Engin autonome : fusée



Ariane 5



SpaceX 2013



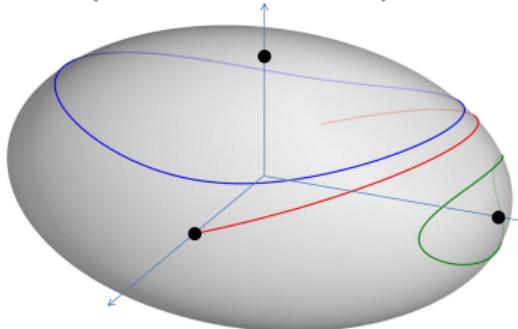
CRS6



Proton 2013

Equations d'Euler, rotation libre, un exemple de système instable

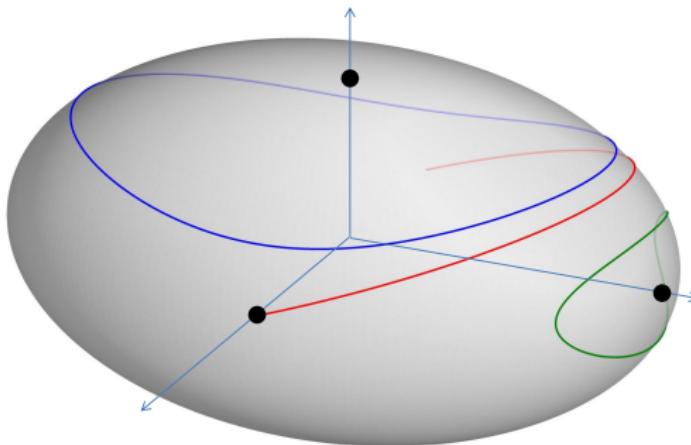
Vit. de rotation (effet Djanibekov)

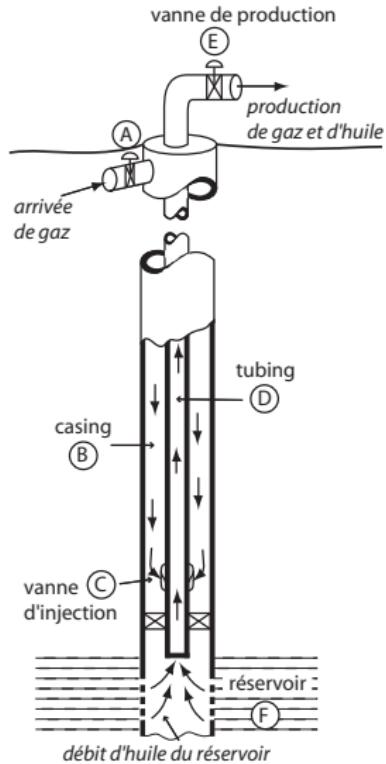


Explorer 1 (1958)

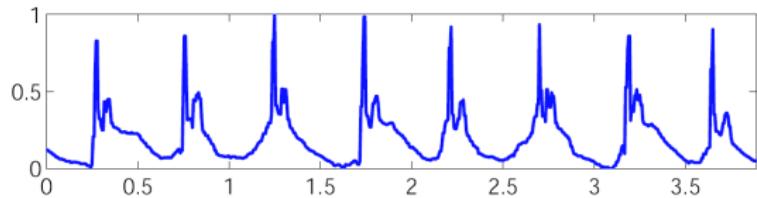
W. H. Pickering
J. Van Allen
and W. von Braun

Équations d'Euler, rotation libre





Oscillations (cycle limite) en tête de production, TOTAL



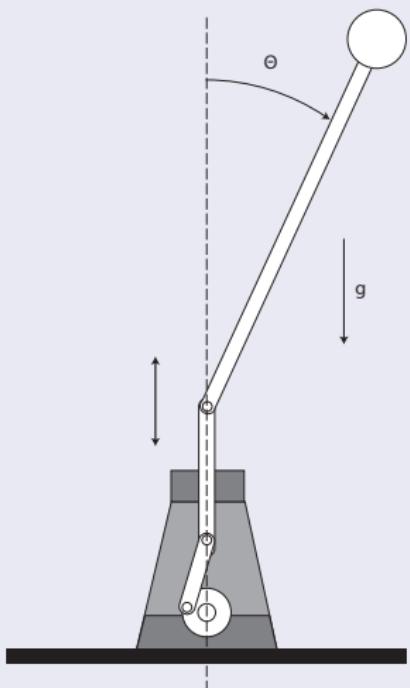
Boucle slugging, source IFPEN



Le pendule de Kapitza



P. L. Kapitza, "Dynamic stability of a pendulum when its point of suspension vibrates", Soviet Phys. JETP 21, 588–592 (1951);



Équations du mouvement

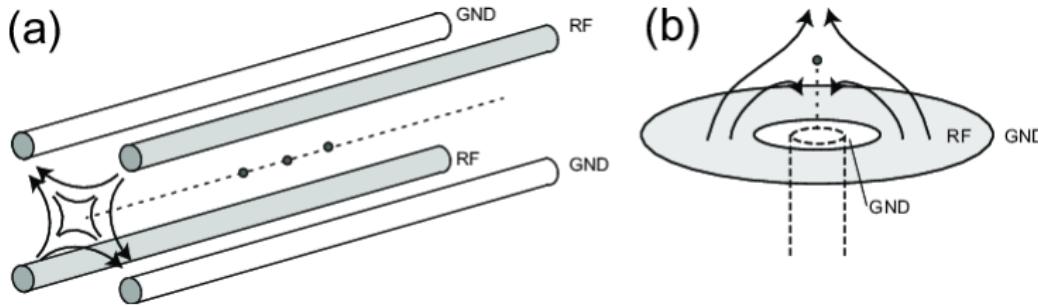
$$\frac{d^2}{dt^2}\theta = [g + d\omega^2 \cos(\omega t)] \sin \theta$$

($m = 1$, $\ell = 1$), équations obtenues par méthode Lagrangienne.

Le couple apparent découle du déplacement vertical (d'amplitude d) du point d'accroche.

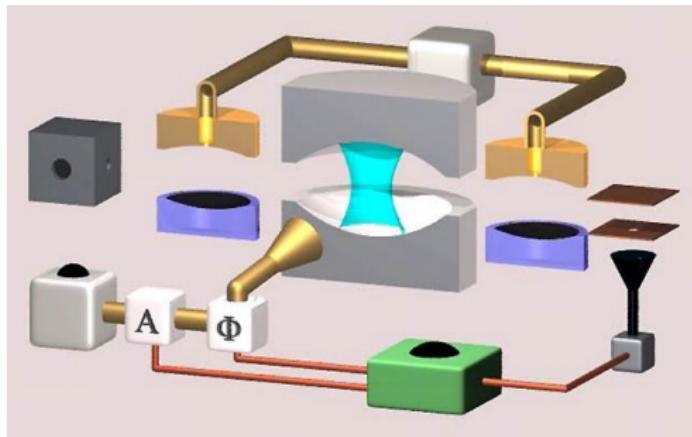
Le pendule est instable ($\omega = 0$) en boucle ouverte au voisinage de $\theta = 0$.

Extension : Paul's trap



Pièges à ions de Paul (champ électrique quadripolaire haute fréquence MHz) : stocker des particules chargées pendant une longue durée

Contrôle quantique



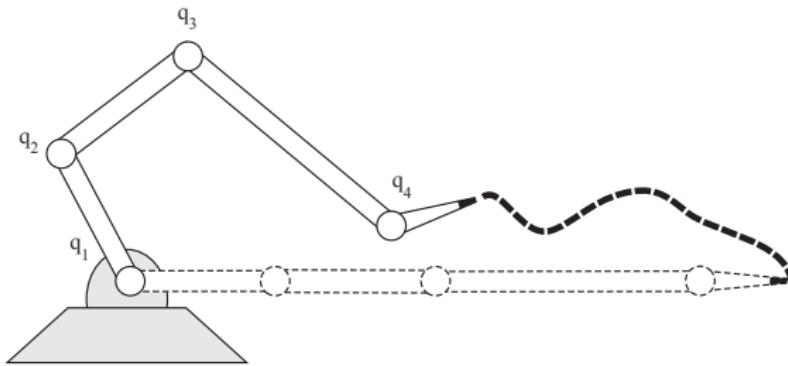
2011 première expérience mondiale de feedback à l'échelle quantique :

Positionnement Offshore



Source : Comex, autre exemple (Statoil)

Robotique et mécatronique

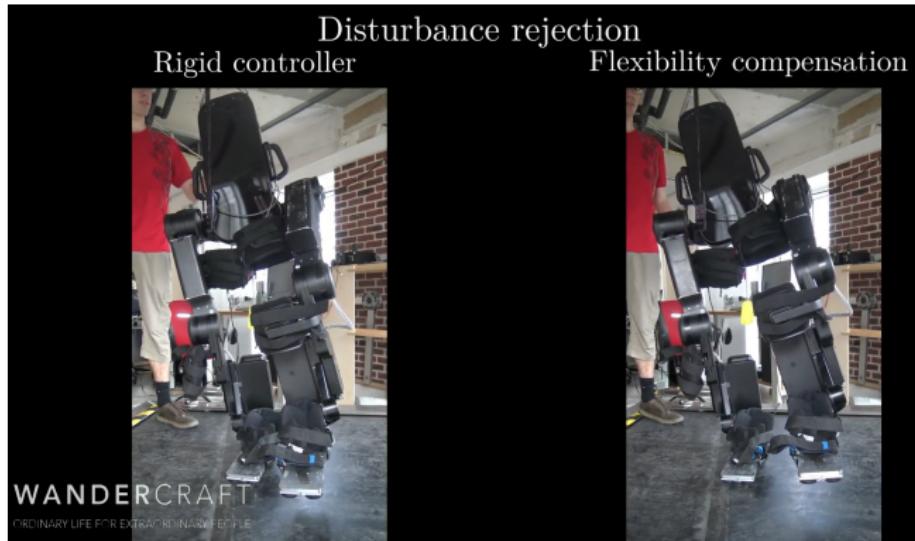


Machine à commande numérique **autre exemple (prothèse)**

Startup, innovation



Wandercraft, K-Ryole



voir CYBATHLON 2020

K-Ryole



Résumé : notions fondamentales

- Stabilité
- Stabilisation
- Commandabilité
- Observation