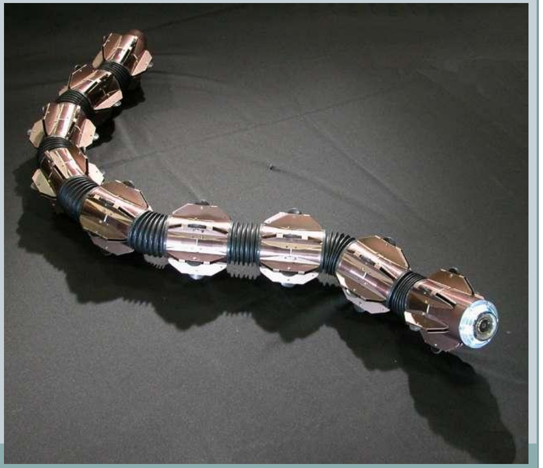
Modélisation de différents modes de locomotion du serpent

TIPE MÉCANIQUE ET INFORMATIQUE PRATIQUE

OPTION SI

N°:17732



Plan

- Intérêt du développement d'un robot serpent et différents modes de locomotion.

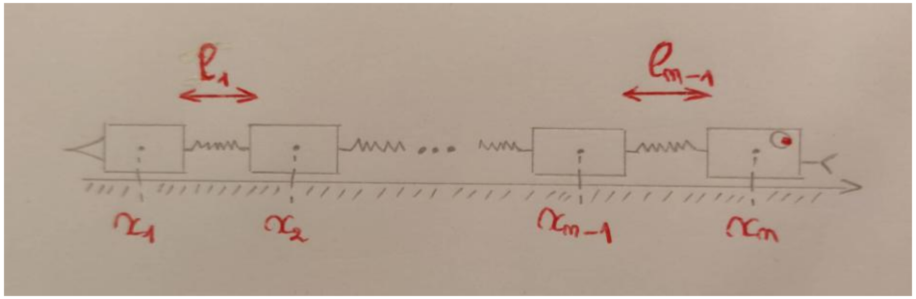
- La locomotion rectiligne du serpent:
  - Modélisation unidimensionnelle.
  - Modélisation bidimensionnelle.

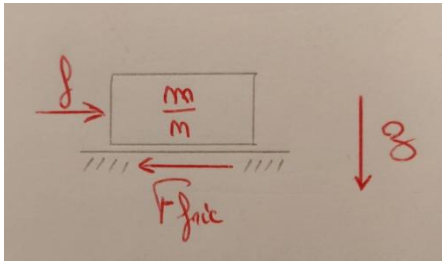
Modes de locomotion et intérêts d' un tel robot

- Intérêt pratique:
  - Degrés de liberté et maniabilité
  - Grande économie en termes d'énergie
- Modes de locomotion:
  - Locomotion rectiligne
  - Locomotion en concertina
  - Ondulation latérale

Modélisation de la locomotion rectiligne

- Hypothèses d'un tel modèle:
  - Justification d'un mouvement holonome.
  - Supposition d' un mouvement unidimensionnel.
  - Discrétisation du corps du serpent.





- Modélisation du mouvement:
  - Utilisation d'un plan incliné:
    - L'angle d'inclinaison est noté θ
  - Définition du référentiel relatif:

$$x' = x - Vt$$

    - Qui est parfaitement valide vu que la vitesse du serpent se stabilise en V très rapidement.
    - Force de friction liée au nœud i:

$$F_i = -\mu_i F_N sgn(\dot{x}_i)$$

- Equation adimensionnée qui caractérise le déplacement du centre d'inertie:

$$F_r\ddot{x} = \frac{cos(\theta)}{n}[-\mu_f \sum_{i=1}^{n} H(\dot{x}_i) + \mu_b \sum_{i=1}^{n} H(-\dot{x}_i)] - sin(\theta)$$

avec:

- H:fonction de Heaviside: H(x)=0.5*(1+sgn(x)).
- μ_b : coefficient de frottement arrière.
- μ_f : coefficient de frottement frontal.
- Fr: nombre de Froude
- θ : angle d'inclinaison du plan
- F_N: force normale a plan
- τ :temps caractéristique des oscillations
- g : constante gravitationnelle

$$F_r = \frac{inertie}{gravite} = \frac{L}{\tau^2 g}$$

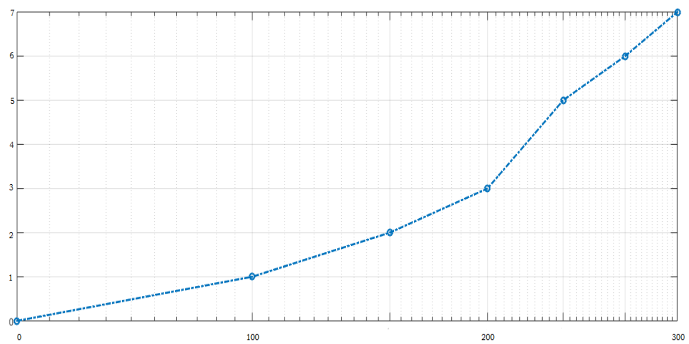
- τ :temps caractéristique des oscillations
- g : constante gravitationnelle

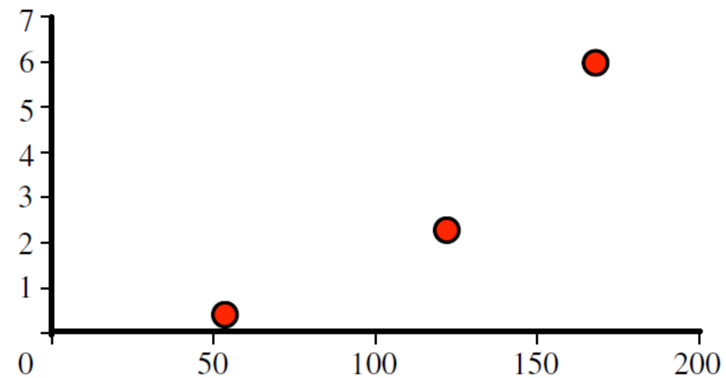
- Choix des coefficients de frottement:

species	N	L (cm)	m (kg)	μ_f	μ_b	n
Boa constrictor	3	53.3 ± 1.5	0.06 ± 0.01	0.3 ± 0.06	0.42 ± 0.05	23 ± 2
Dumeril's boa	2	175.5 ± 10.6	5.7 ± 1.1	0.017 ± 0.002	0.06 ± 0.01	25 ± 1
Gaboon viper	1	120	2.26	0.12	0.32	20

- Résolution de l'équation en utilisant la méthode de Dormand-Prince:

Résultats expérimentaux et comparaison





V=f(L)

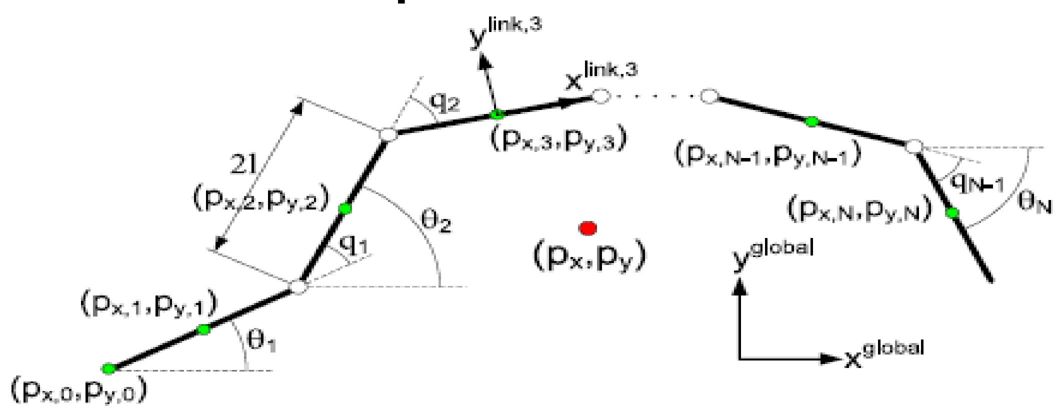
En bleu: les résultats théoriques

En rouge: les résultats expérimentaux

- Lacunes du modèle unidimensionnel:
  - Lors du déplacement du serpent, la hausse par rapport au niveau du plan incliné est toujours présente, ainsi on se doit de considérer le déplacement par rapport à l’autre axe.
  - Des résultats expérimentaux estiment cet écart par rapport à l’écran d’environ 1mm.
  - D’où la nécessité de considérer le second axe

Modélisation bidimensionnelle

- Supposition d'un mouvement bidimensionnel:
- Discrétisation du corps du serpent:
  - θ_i : angle que fait le nœud i avec l'axe
  - $q_i = \theta_{i+1} - \theta i$:différence angulaire
  - $(P_{x,i}, P_{y,i})$ coordonnées du point i



- On trouve graphiquement que

$$\theta_i = \sum_{n=i}^{N-1} q_n + \theta_N$$

- Les coordonnées du joint i:

$$p_{x,i} = p_{x,0} + 2l \sum_{j=1}^{i-1} \cos\theta_j + l\cos\theta_i$$

$$p_{y,i} = p_{y,0} + 2l \sum_{j=1}^{i-1} \sin\theta_j + l\sin\theta_i$$

- Et par dérivation:

$$\dot{p}_{x,i} = \dot{p}_{x,0} - 2l \sum_{j=1}^{i-1} \sin\theta_j\dot{\theta}_j - l\sin\theta_i\dot{\theta}_i$$

$$\dot{p}_{y,i} = \dot{p}_{y,0} + 2l \sum_{j=1}^{i-1} \cos\theta_j\dot{\theta}_j + l\cos\theta_i\dot{\theta}_i$$

- En prenant le centre d'inertie comme moyenne:

$$(p_x, p_y) = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} p_{x,i}, \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} p_{y,i}\right)$$

- On procède au changement de référentiel pour simplifier:

$$p_{x,0} = p_x - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(2l\sum_{j=1}^{i-1}\cos\theta_j + l\cos\theta_i\right)$$

$$p_{y,0} = p_y - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(2l\sum_{j=1}^{i-1}\sin\theta_j + l\sin\theta_i\right)$$

- Approche lagrangienne:
  - Calcul de Ec et Ep:
    - Ec= $\frac{1}{2}m\sum_{i=1}^{N}\left(\dot{p}_{x,i}^{2}+\dot{p}_{y,i}^{2}\right)$
    - Ep= $\frac{1}{2}J\sum_{i=1}^{N}\dot{\theta}_i^2$

  Le lagrangien s'écrit:

$$\mathcal{L}\left(q_a,\dot{x}\right)=\mathcal{K}\left(q_a,\dot{x}\right)=\frac{1}{2}m\sum_{i=1}^{N}\left(\dot{p}_{x,i}^{2}+\dot{p}_{y,i}^{2}\right)+\frac{1}{2}J\sum_{i=1}^{N}\dot{\theta}_i^2$$

  D'où l'équation d'Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial\mathcal{L}\left(q_a,\dot{x}\right)}{\partial\dot{x}_i}\right]-\frac{\partial\mathcal{L}\left(q_a,\dot{x}\right)}{\partial x_i}=\left(B(x)\tau-\tau_f\right)_i$$

avec:

B(x)=(e1..en)

τ matrice des f.a

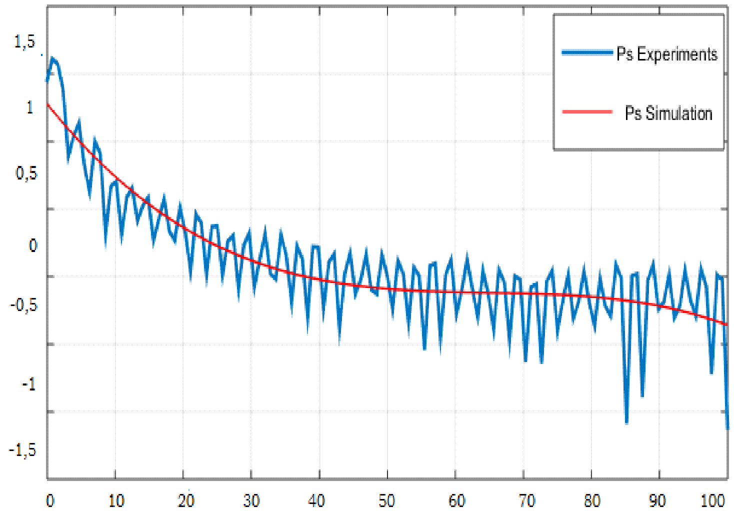
τ_f matrice des forces de frottement visqueux et de Coulomb .

- On réécrit l'équation sous la forme d' une équation du second ordre:

$$M\left(q_a\right)\ddot{x} + C\left(x, \dot{x}\right)\dot{x} = B(x)\tau - \tau_f$$

En notant $M\left(q_a\right)$ la matrice d'inertie et $C\left(x, \dot{x}\right)$ la matrice de la force d'inertie de coriolis

Résultats



$$P_y = f(t)$$

Conclusions

- Avantages des modèles:
  - Le premier modèle étant simple, il donne une très bonne précision et est très proche de la réalité.
  - Le second modèle, tout de suite plus compliqué donne une précision qui est bien pire mais qui reste dans les normes.
- Inconvénients des modèles:
  - Le premier modèle néglige le déplacement sur l'axe des y qui s'avère être rudimentaire à la description du mouvement
  - Le second compare les résultats avec ceux d'un robot serpent et non d'un serpent réel.