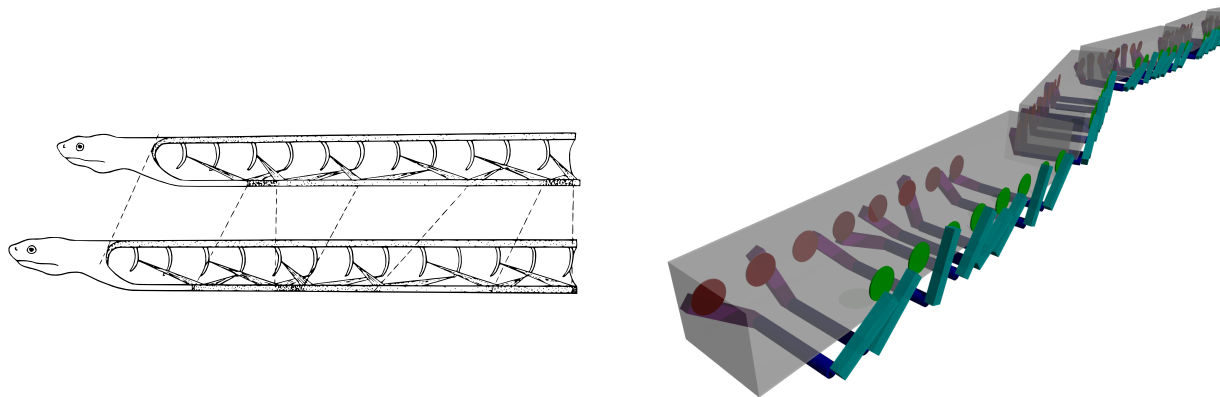


Contribution à l'étude, à la simulation et à la commande d'un robot de type serpent



Renaud AUBIN

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles

aubin@lismv.uvsq.fr

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Plan

Introduction
Positionnement
Mécanisme locomoteur
Module (8 mécanismes)
Proposition d'une nouvelle structure
Commande
Conclusions et perspectives

Introduction

Positionnement

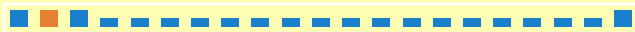
Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Introduction

Contexte général
TDA VIPeRe
Sujet initial

Introduction

Contexte général

TDA VIPeRe

Sujet initial

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Contexte général

Introduction

Contexte général

TDA VIPeRe

Sujet initial

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

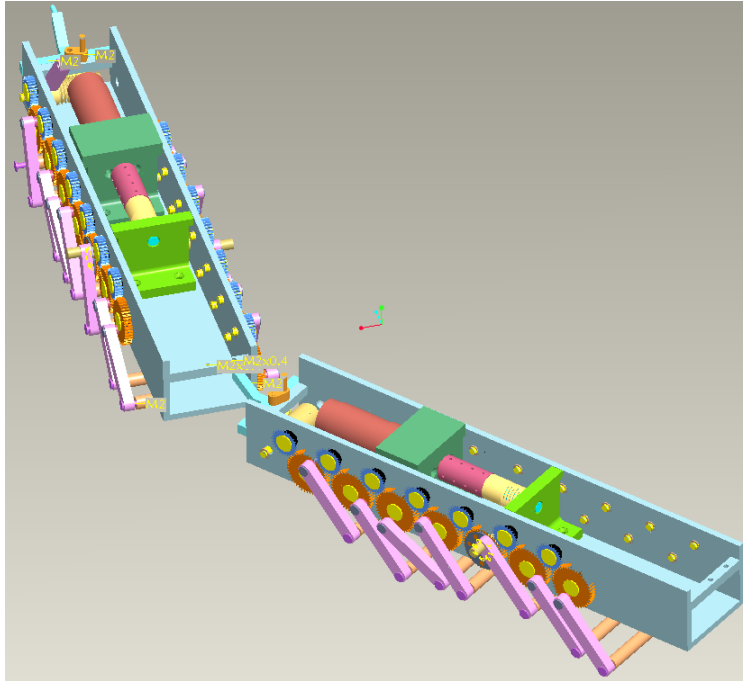
Commande

Conclusions et ...



TDA VIPeRe

Véhicule Intelligent de Pénétration par Reptation



Introduction

Contexte général

TDA VIPeRe

Sujet initial

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Sujet initial

Introduction

Contexte général

TDA VIPeRe

Sujet initial

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Positionnement

Exemple de robot basé sur l'ondulation latérale
Exemple de robot basé sur l'utilisation de chenilles
Autres robots de type serpent
Applications
Approche

Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

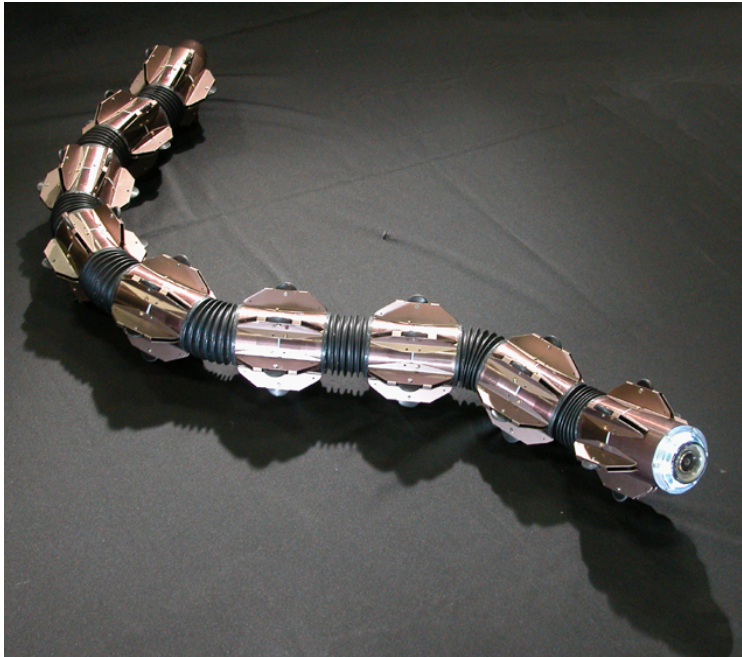
Commande

Conclusions et ...



Exemple de robot basé sur l'ondulation latérale

Prototype ACM-R5 de Shigeo HIROSE (auteur de l'ouvrage de référence *Biologically Inspired Robots - Snake-Like Locomotors and Manipulators*).



Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

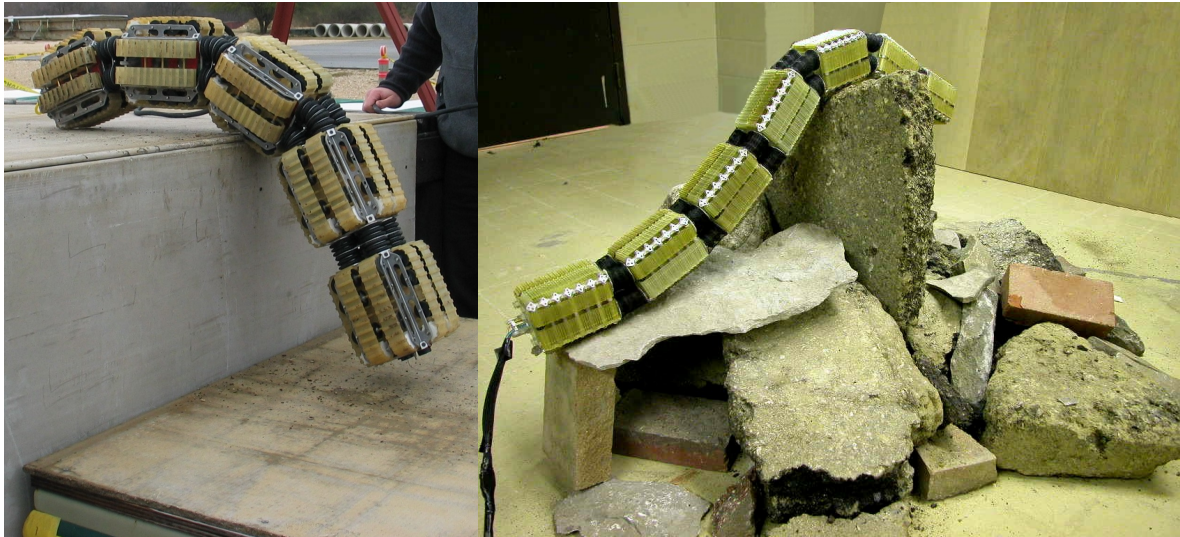
Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Exemple de robot basé sur l'utilisation de chenilles

OmniTread-8 de BORENSTEIN, GRANOSIK *et.al.*



(dépendance énergétique à l'ombilic)

Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

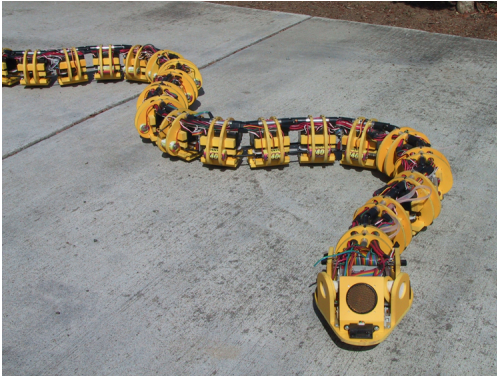
Proposition ...

Commande

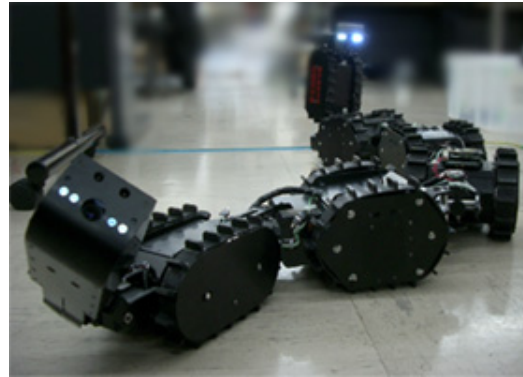
Conclusions et ...

Autres robots de type serpent

La famille des SX de Gavin MILLER:



Le robot KOHGA de MATSUNO, KAMEGAWA et ITO:



Constats:

- de nombreux robots sont basés sur le mode par ondulation latérale,
- l'utilisation de chenille en tant qu'interprétation macroscopique du mode de progression rectilinéaire est de plus en plus répandue.

Le robot proposé par nos travaux repose sur une interprétation originale du mode de progression rectilinéaire des serpents terrestres.

Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Applications



Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

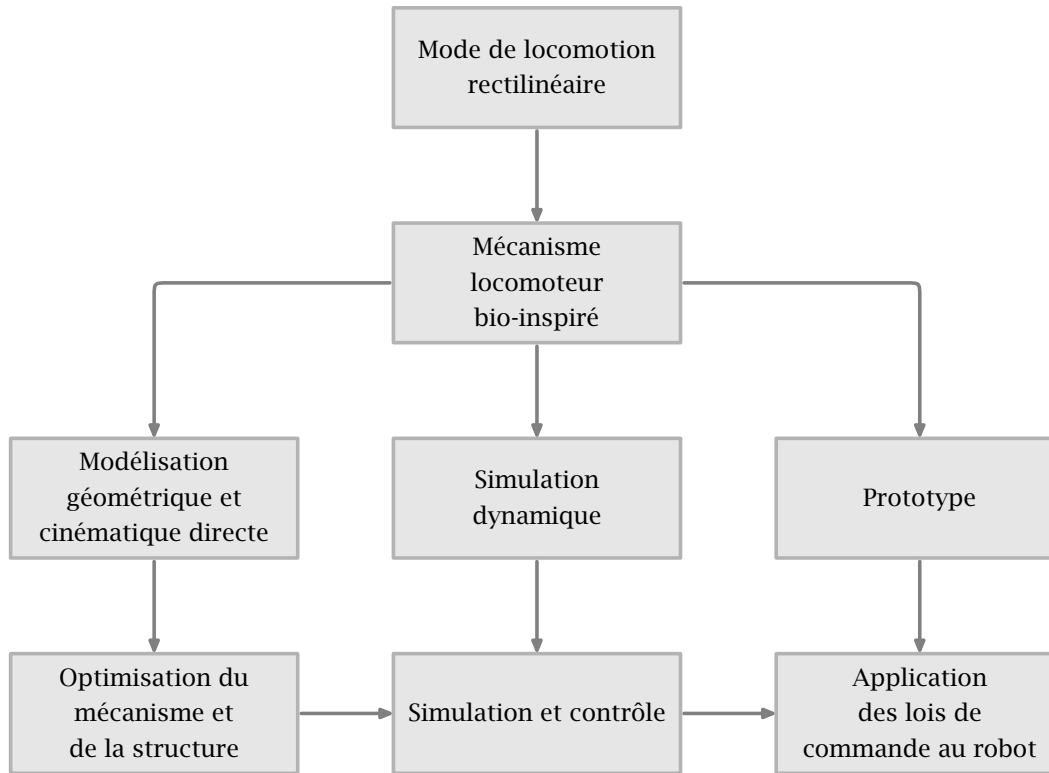
Commande

Conclusions et ...

Des évènements tels que la *RoboCup Rescue* ou l'*European Land-Robot Trial* témoignent de besoins opérationnels d'exploration et d'action en milieux difficiles (urbains ou naturels).

De par leur caractéristiques intrinsèques (forme longiligne et propulsion par repulsion), les robots de type serpent constitue une réponse à ces besoins où discrétion et capacité de franchissement sont des atouts majeurs.

Approche



Suivant

Introduction

Positionnement

Exemple de robot ...

Exemple de robot ...

Autres robots de ...

Applications

Approche

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Mécanisme locomoteur

Principe biologique sous-jacent
Interprétation & exploitation
Trajectoires

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Principe biologique ...

Interprétation & ...

Trajectoires

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Principe biologique sous-jacent

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Principe biologique ...

Interprétation & ...

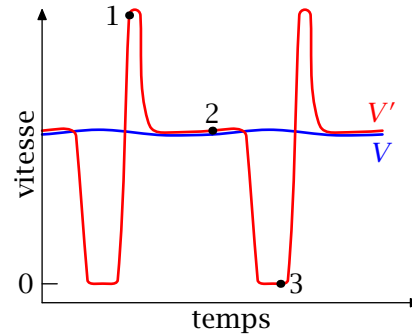
Trajectoires

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



V vitesse de la colonne vertébrale du serpent relativement au sol

V' vitesse de l'écaille étudiée relativement au sol

phase 1 phase 2 phase 3

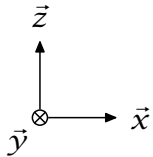
Interprétation & exploitation

Méthodes : MGD & MCD d'un pentagone articulé

But : comparaison pour validation et optimisation



$$\varphi = \frac{5\pi}{8}$$



$$q_1 = \omega t \text{ et } q_2 = q_1 + \varphi$$

$$\overline{AB} \cdot \vec{x} = 40 \text{ mm}$$

$$\|\overline{AP}\| = \|\overline{BQ}\| = 6 \text{ mm}$$

$$\|\overline{PM}\| = \|\overline{QM}\| = 30 \text{ mm}$$

Animation

On obtient une équation paramétrique exprimée dans le repère local du corps

principal du module: $\overline{AM} = (f(q_1, \varphi), g(q_1, \varphi))$.

[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Principe biologique ...](#)

[Interprétation & ...](#)

[Trajectoires](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

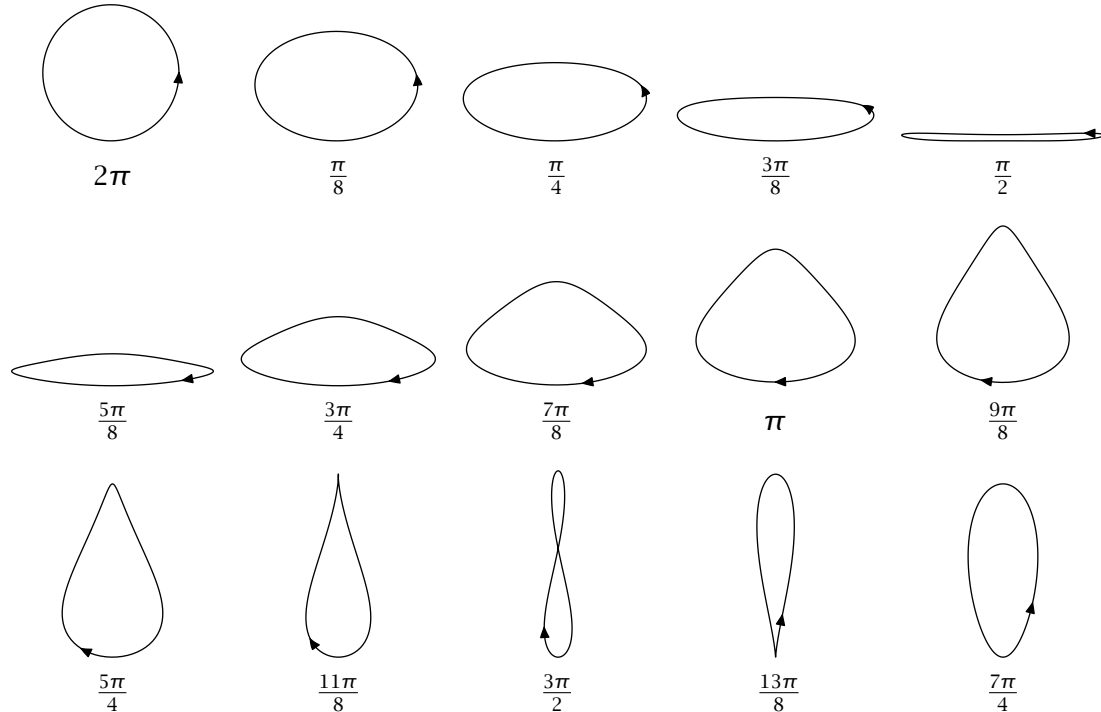
[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)



Trajectoires

On obtient, pour différentes valeurs de φ :



Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Principe biologique ...

Interprétation & ...

Trajectoires

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Module (8 mécanismes)

Description
Principe de locomotion
Simulation
Résultats (mécanisme)
Résultats (module)
Inconvénients du module à 8 mécanismes
Articulation inter-modulaire

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Description

Principe de locomotion

Simulation

Résultats (mécanisme)

Résultats (module)

Inconvénients du ...

Articulation ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Description

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Description

Principe de locomotion

Simulation

Résultats (mécanisme)

Résultats (module)

Inconvénients du ...

Articulation ...

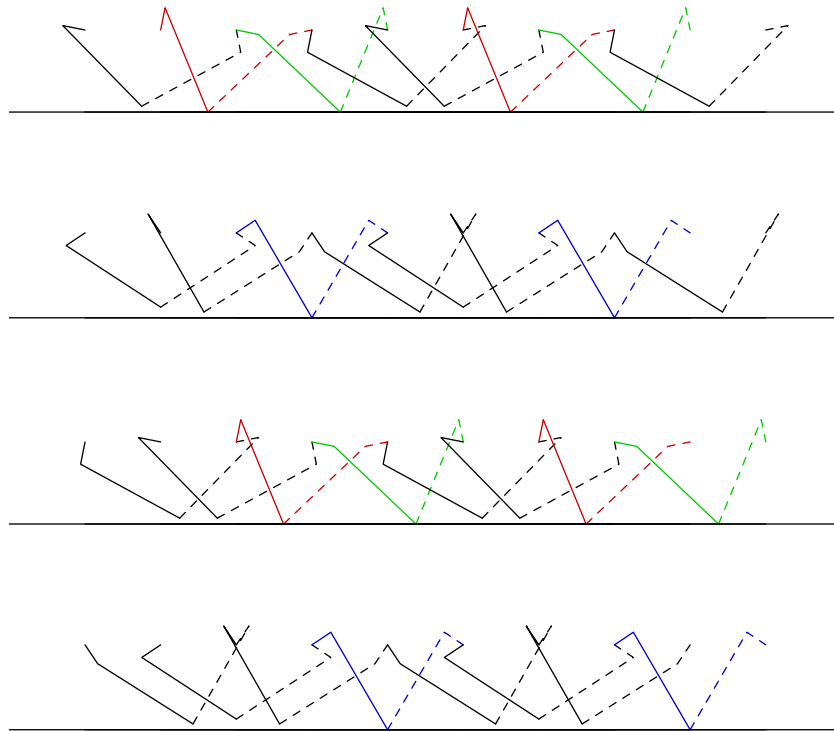
Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Principe de locomotion



atterrissage



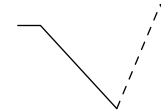
phase
d'appui



décollage



phase
aérienne



Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Description

Principe de locomotion

Simulation

Résultats (mécanisme)

Résultats (module)

Inconvénients du ...

Articulation ...

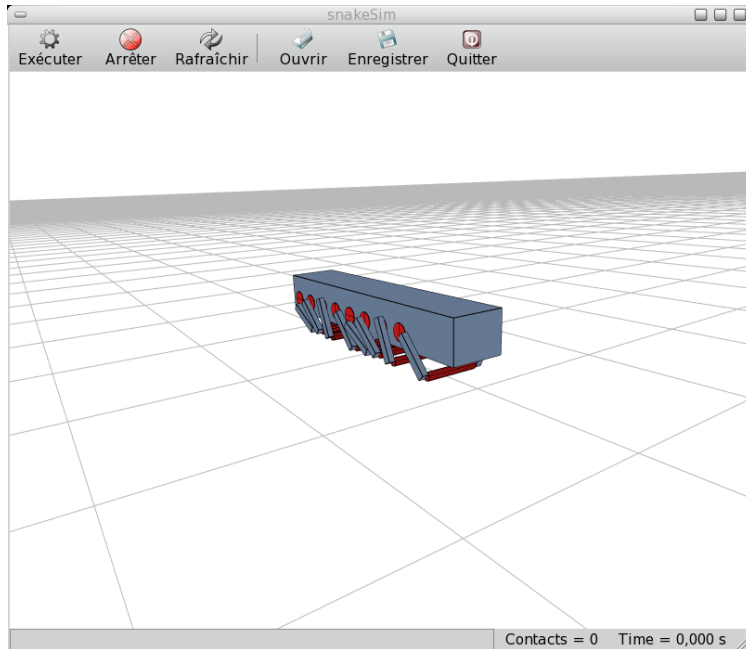
Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Simulation

Simulation en direct d'un module à 8 mécanismes:



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Description](#)

[Principe de locomotion](#)

[Simulation](#)

[Résultats \(mécanisme\)](#)

[Résultats \(module\)](#)

[Inconvénients du ...](#)

[Articulation ...](#)

[Proposition ...](#)

[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Résultats (mécanisme)

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Description

Principe de locomotion

Simulation

Résultats (mécanisme)

Résultats (module)

Inconvénients du ...

Articulation ...

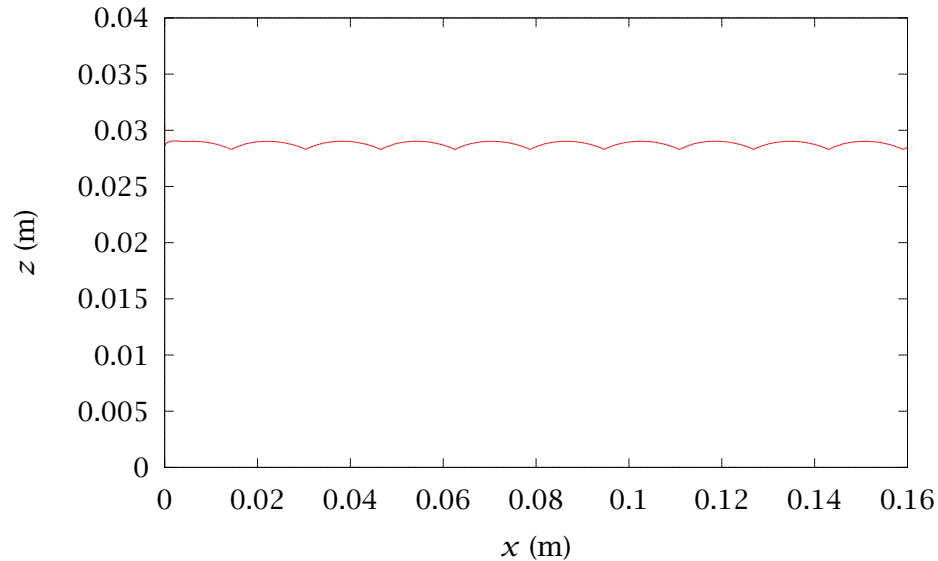
Proposition ...

Commande

Conclusions et ...



Résultats (module)



Trajectoire dans le plan (\vec{x}, \vec{z}) du
centre géométrique du corps principal

[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Description](#)

[Principe de locomotion](#)

[Simulation](#)

[Résultats \(mécanisme\)](#)

[Résultats \(module\)](#)

[Inconvénients du ...](#)

[Articulation ...](#)

[Proposition ...](#)

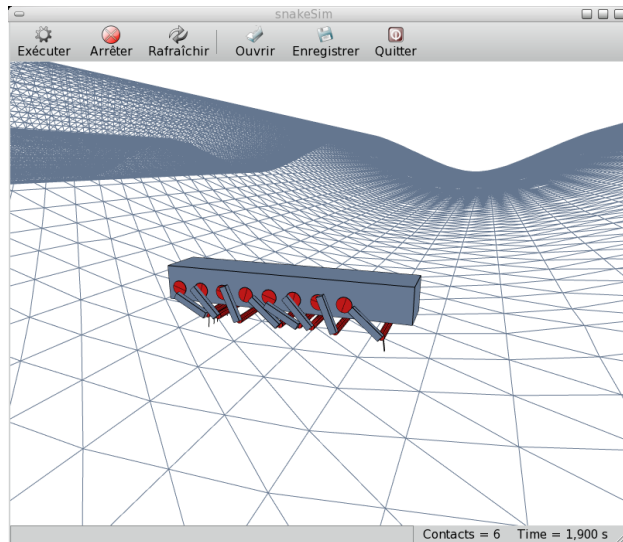
[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Inconvénients du module à 8 mécanismes

Les inconvénients majeurs sont:

- le rayon de courbure maximal admissible est relativement important,
- le fonctionnement en couple des mécanismes et la longueur du module peut conduire à des situations de blocage lors de l'utilisation sur sol 3D:



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Description](#)

[Principe de locomotion](#)

[Simulation](#)

[Résultats \(mécanisme\)](#)

[Résultats \(module\)](#)

[Inconvénients du ...](#)

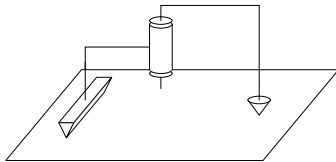
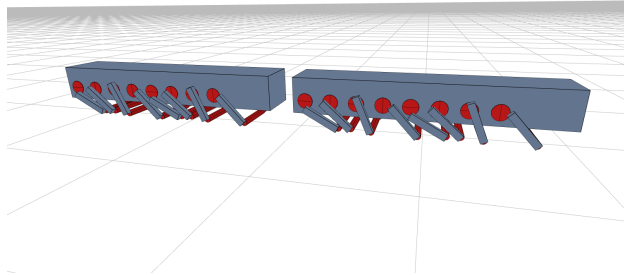
[Articulation ...](#)

[Proposition ...](#)

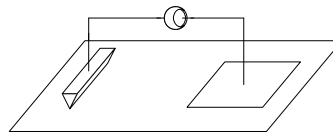
[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Articulation inter-modulaire



liaison pivot



liaison rotule

⇒ Nécessité de proposer une nouvelle structure.

[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Description](#)

[Principe de locomotion](#)

[Simulation](#)

[Résultats \(mécanisme\)](#)

[Résultats \(module\)](#)

[Inconvénients du ...](#)

[Articulation ...](#)

[Proposition ...](#)

[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Proposition d'une nouvelle structure

Description (1)
Description (2)
Articulation inter-modulaire
Avantages

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Description (1)

Description (2)

Articulation ...

Avantages

Commande

Conclusions et ...



Description (1)

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Description (1)

Description (2)

Articulation ...

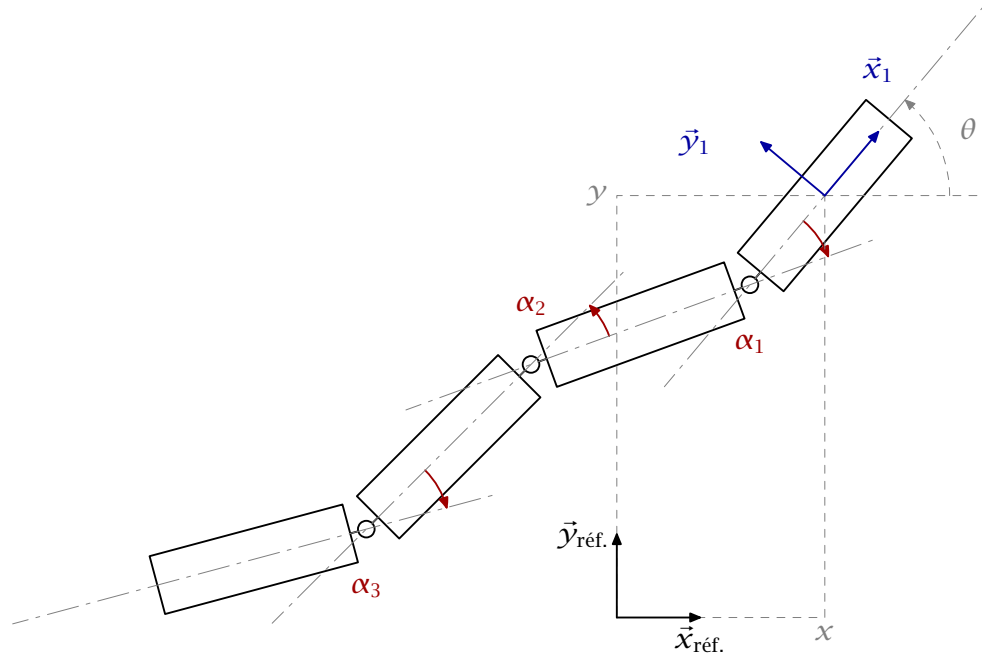
Avantages

Commande

Conclusions et ...



Description (2)



Vue de dessus de la structure

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Description (1)

Description (2)

Articulation ...

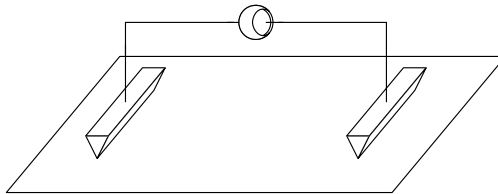
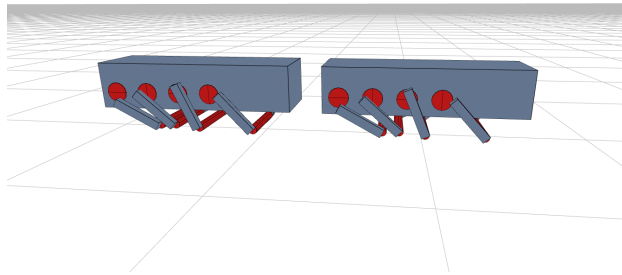
Avantages

Commande

Conclusions et ...

Articulation inter-modulaire

L'articulation inter-modulaire proposée est une liaison de type rotule motorisée en lacet et libre en roulis et tangage.



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

[Description \(1\)](#)

[Description \(2\)](#)

[Articulation ...](#)

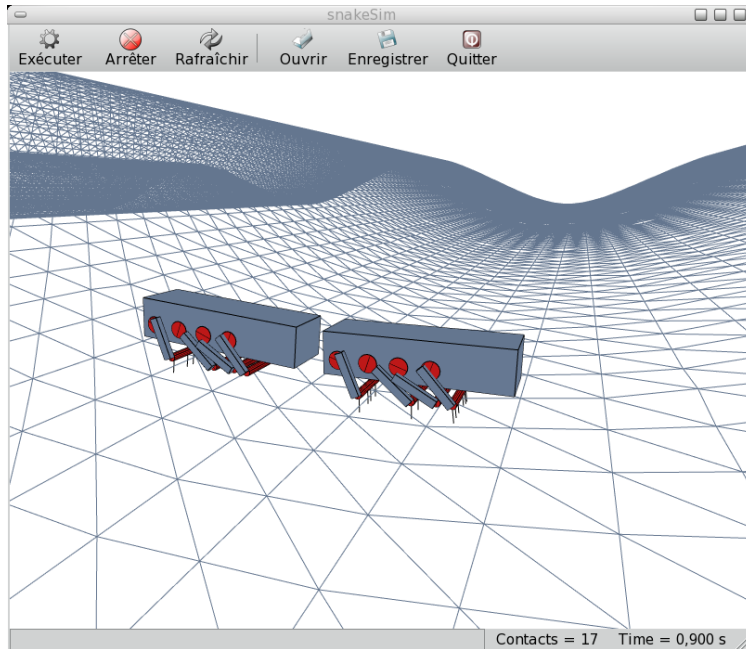
[Avantages](#)

[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Avantages

Résolution de la situation de blocage:



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

[Description \(1\)](#)

[Description \(2\)](#)

[Articulation ...](#)

[Avantages](#)

[Commande](#)

[Conclusions et ...](#)

Commande

Préliminaires
Proposition de commande cinématique
Simulation (1)
Simulation (2)
Analyse des résultats

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Préliminaires

Proposition de ...

Simulation (1)

Simulation (2)

Analyse des résultats

Conclusions et ...



Préliminaires

Difficultés:

- connaissance de l'état dynamique du robot,
- intermittence de l'actionnement.

⇒ Il est difficile d'utiliser une modélisation dynamique pour la commande. Par conséquent, on s'oriente vers l'approche cinématique.

La commande proposée s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle les vitesses d'entraînement des mécanismes sont toutes identiques.

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Préliminaires

Proposition de ...

Simulation (1)

Simulation (2)

Analyse des résultats

Conclusions et ...



Proposition de commande cinématique

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Préliminaires

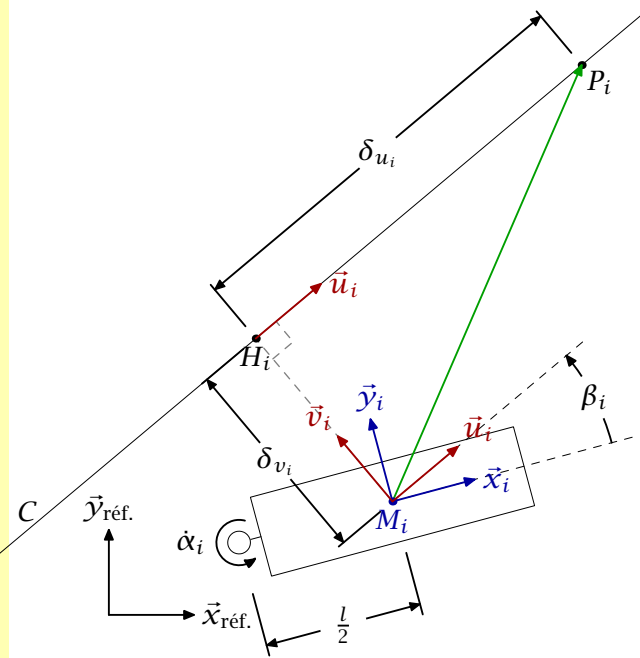
Proposition de ...

Simulation (1)

Simulation (2)

Analyse des résultats

Conclusions et ...



Principe local pour l'élaboration de la commande: l'inertie des modules $i+1$ à N est importante.

Hypothèse: $H_i P_i$ est un segment de droite.

Loi de commande:

$$\dot{\alpha}_i = k_1 \frac{2\delta_{v_i}}{l\Delta T \cos(\beta_i)} + k_2 \frac{2V_i \tan(\beta_i)}{l}$$

α_i angle relatif entre le module i et le module $i+1$

V_i $\vec{V}_{\text{module}}^{\text{sol}} \cdot \vec{x}_i$

l longueur d'un module

ΔT pas de temps

δ_{v_i} erreur en distance

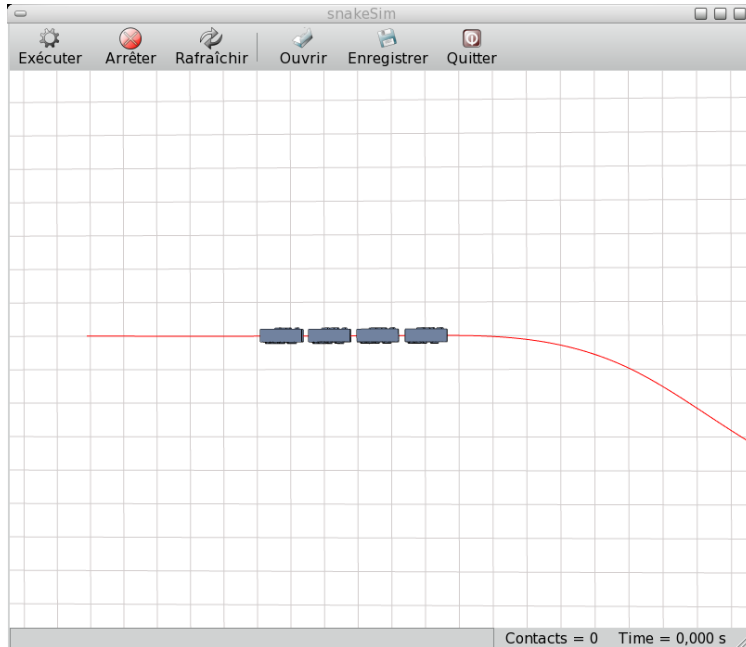
β_i erreur en orientation

k_1, k_2 gains



Simulation (1)

Simulation (restitution):



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

[Commande](#)

[Preliminaires](#)

[Proposition de ...](#)

[Simulation \(1\)](#)

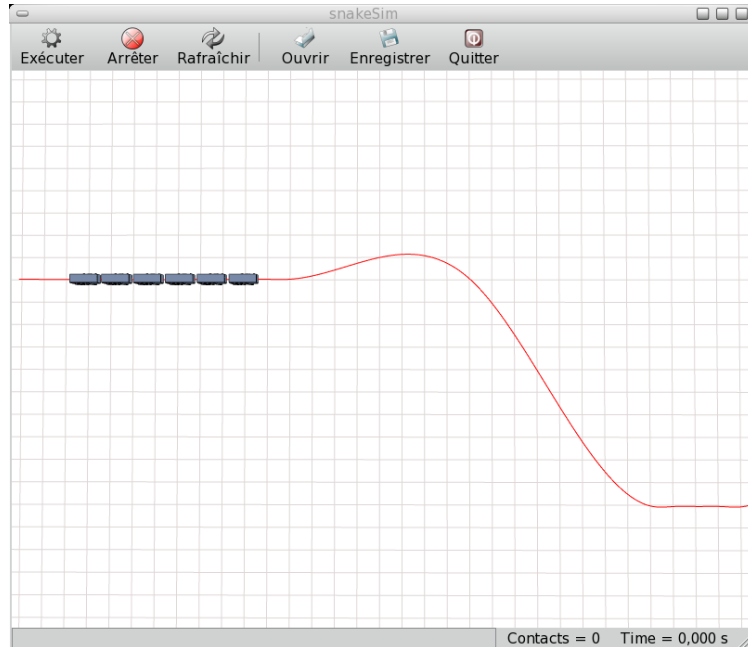
[Simulation \(2\)](#)

[Analyse des résultats](#)

[Conclusions et ...](#)

Simulation (2)

Simulation (restitution):



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

[Commande](#)

[Preliminaires](#)

[Proposition de ...](#)

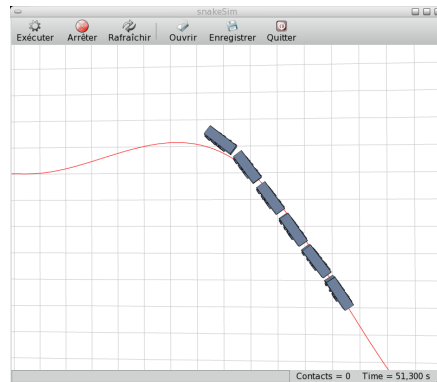
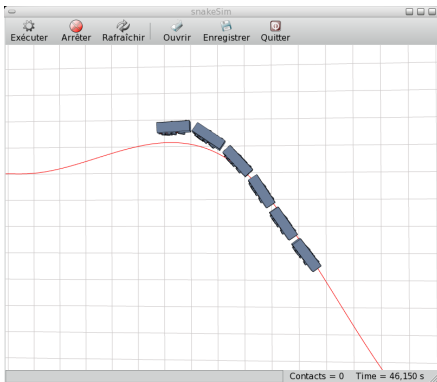
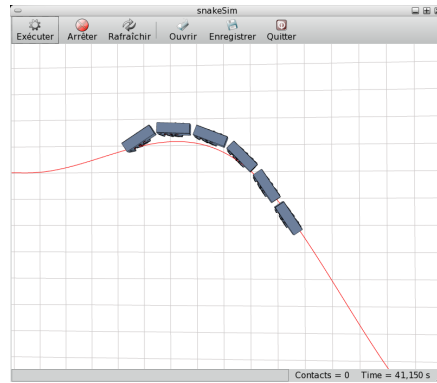
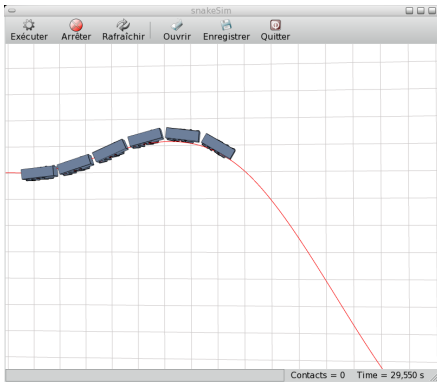
[Simulation \(1\)](#)

[Simulation \(2\)](#)

[Analyse des résultats](#)

[Conclusions et ...](#)

Analyse des résultats



[Introduction](#)

[Positionnement](#)

[Mécanisme ...](#)

[Module \(8 ...](#)

[Proposition ...](#)

[Commande](#)

[Préliminaires](#)

[Proposition de ...](#)

[Simulation \(1\)](#)

[Simulation \(2\)](#)

[Analyse des résultats](#)

[Conclusions et ...](#)



Conclusions et perspectives

Environnement de simulation
Robot de type serpent

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Environnement de ...

Robot de type serpent



Environnement de simulation

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

Commande

Conclusions et ...

Environnement de ...

Robot de type serpent



Robot de type serpent

Introduction

Positionnement

Mécanisme ...

Module (8 ...

Proposition ...

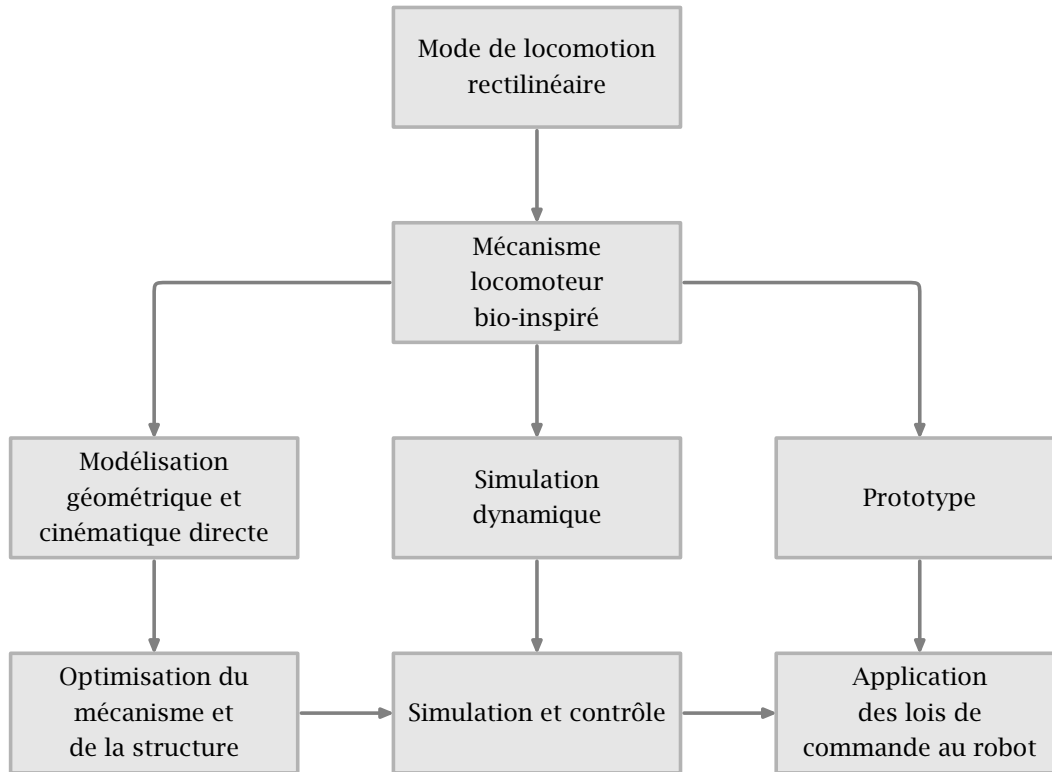
Commande

Conclusions et ...

Environnement de ...

Robot de type serpent





Suivant