

Pilotes automatiques biomimétiques

Boucles de rétroaction directes sur le flux optique

F. RUFFIER, J. SERRES, N. FRANCESCHINI

franck.ruffier@univmed.fr

Institut des Sciences du Mouvement, Biorobotique,
CNRS / Univ. Aix-Marseille





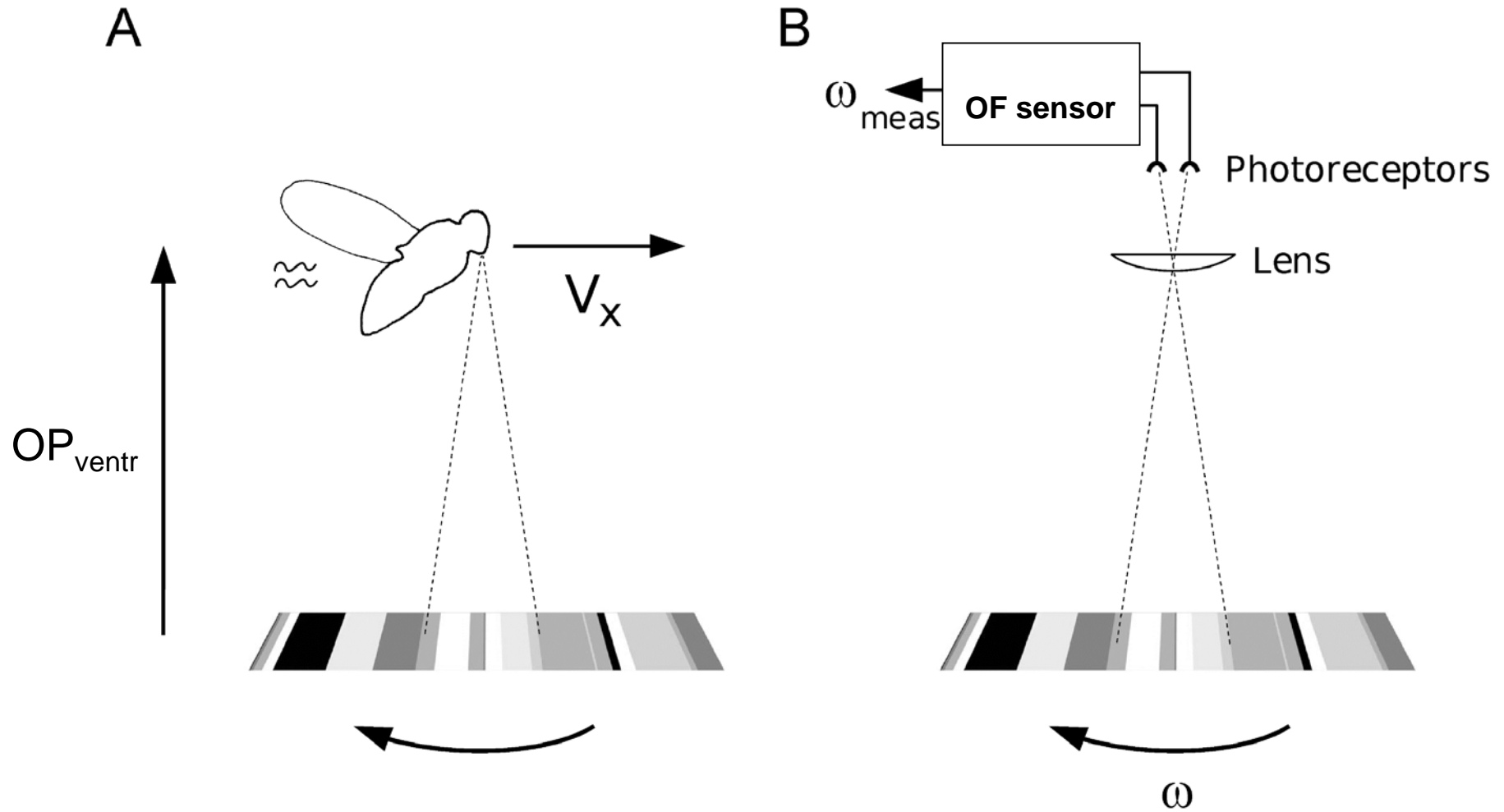
©Vrignaud DGA/CNRS

Le flux optique



Pilotage vertical

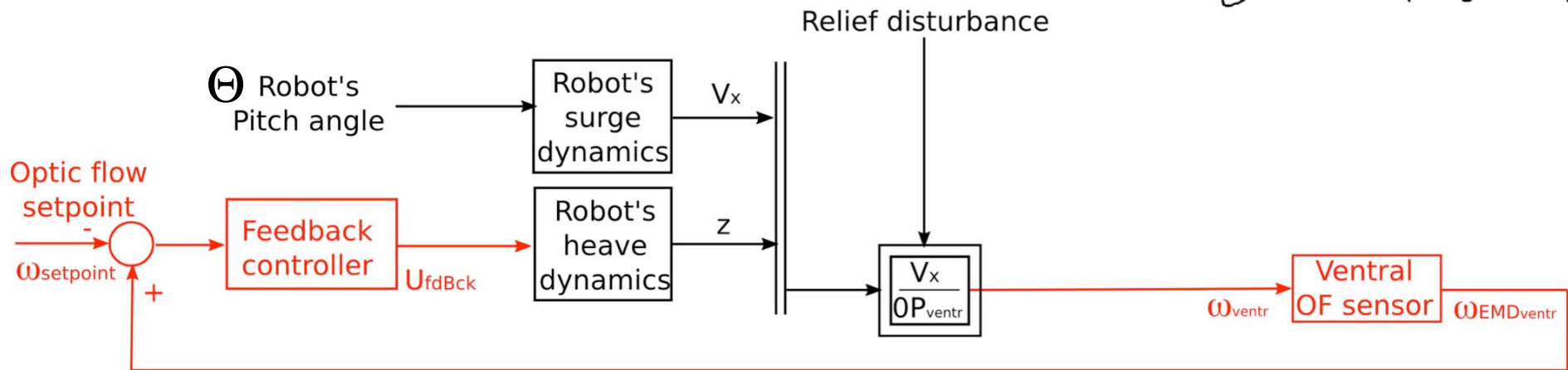
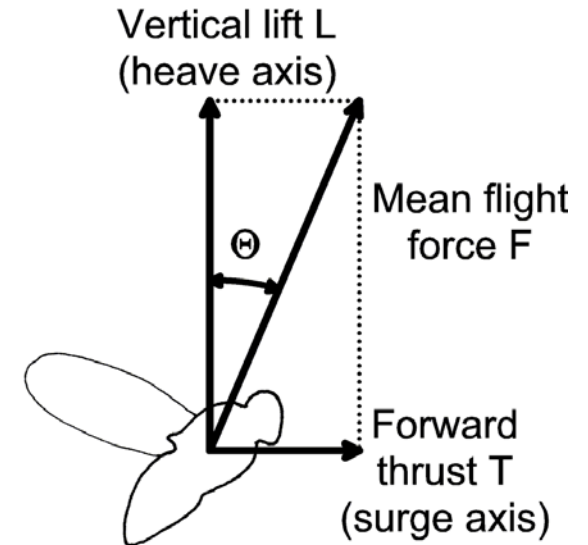
Le flux optique ventral



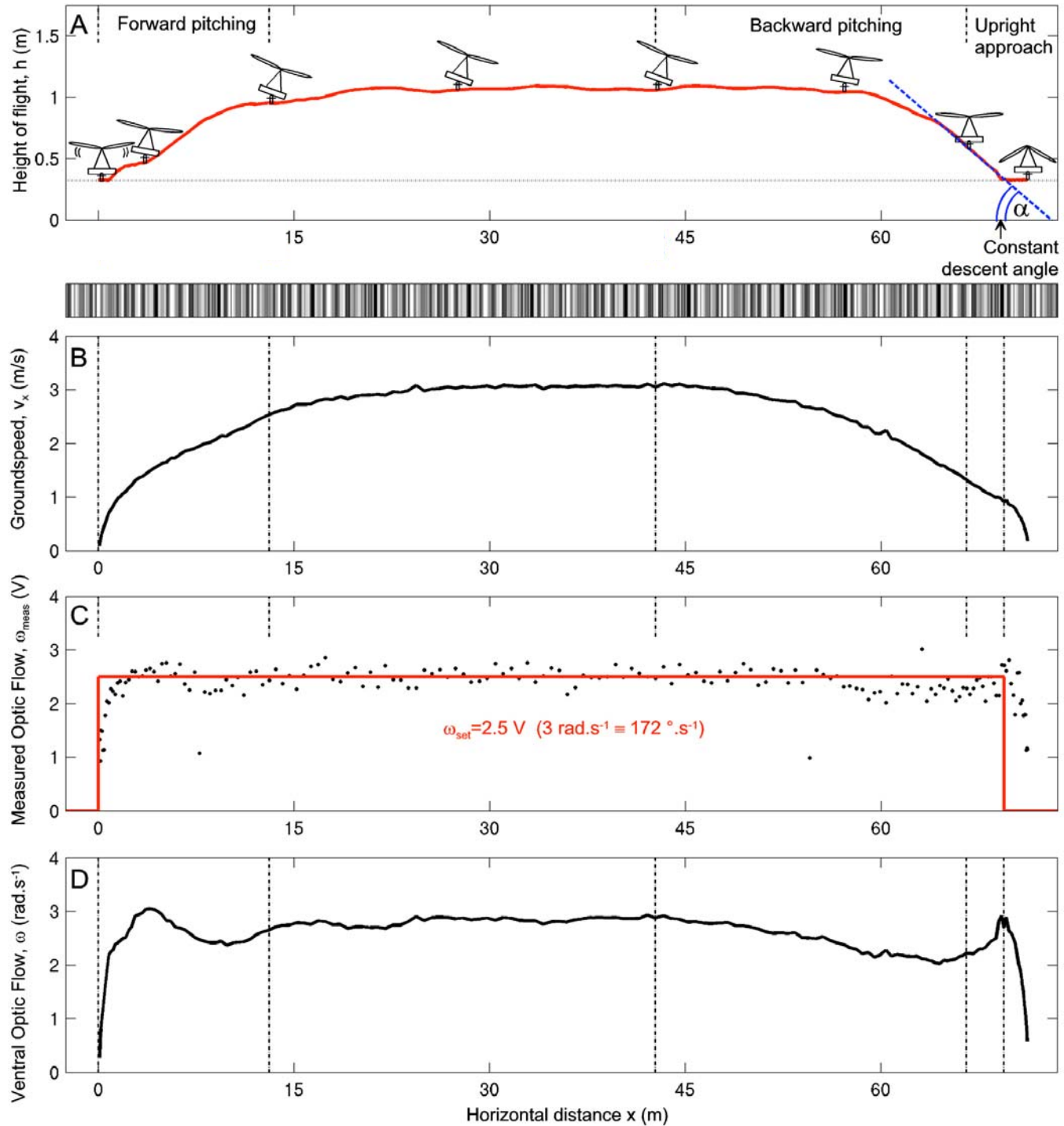
Boucle de rétroaction:

Régulateur du flux optique ventral qui agit sur la force de sustentation

- Pas d'asservissement de l'altitude absolue
- Pas d'asservissement de la vitesse



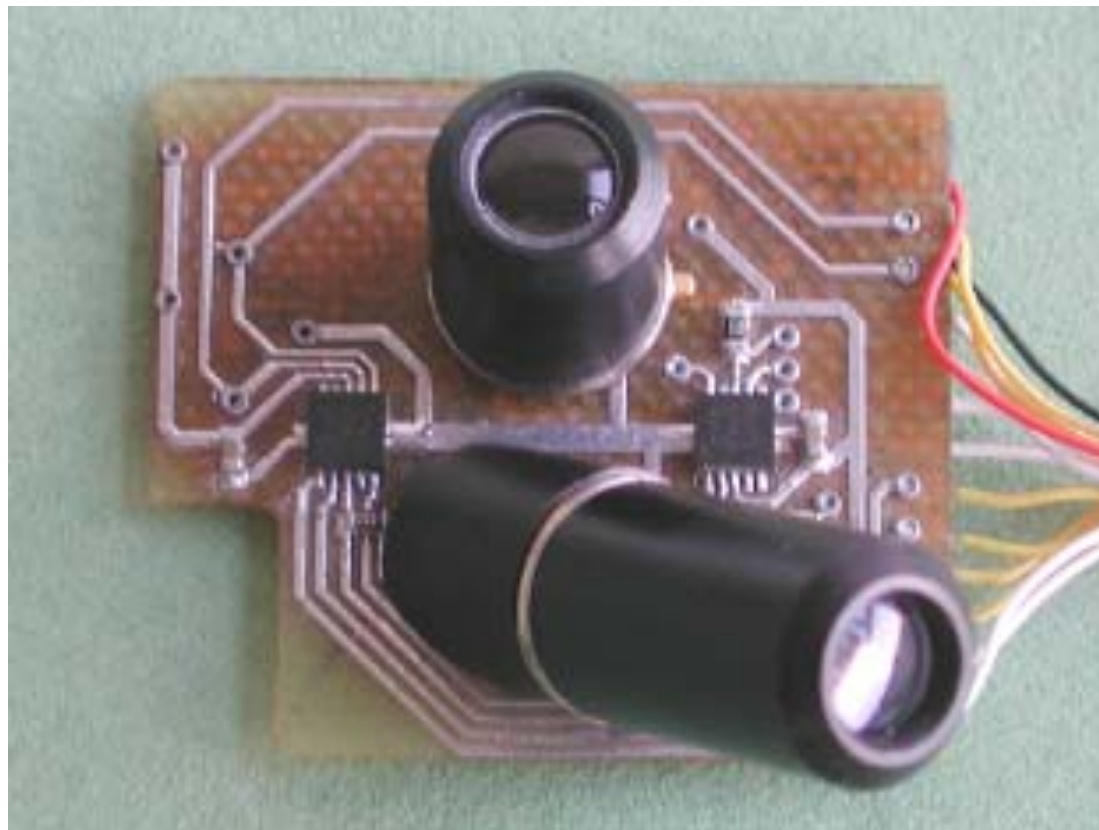




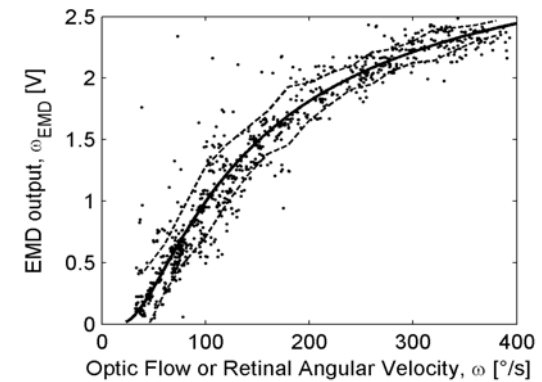
Franceschini,
Ruffier, Serres,
*Current
Biology* 2007

Ajout d'un capteur de flux optique frontal (REI Bionavigation avec la DGA)

-> Les insectes comportent un œil complètement panoramique



Velocity-tuned EMD sensor



Ruffier, Franceschini
Rob. & Autonomous Sys. J.
2005

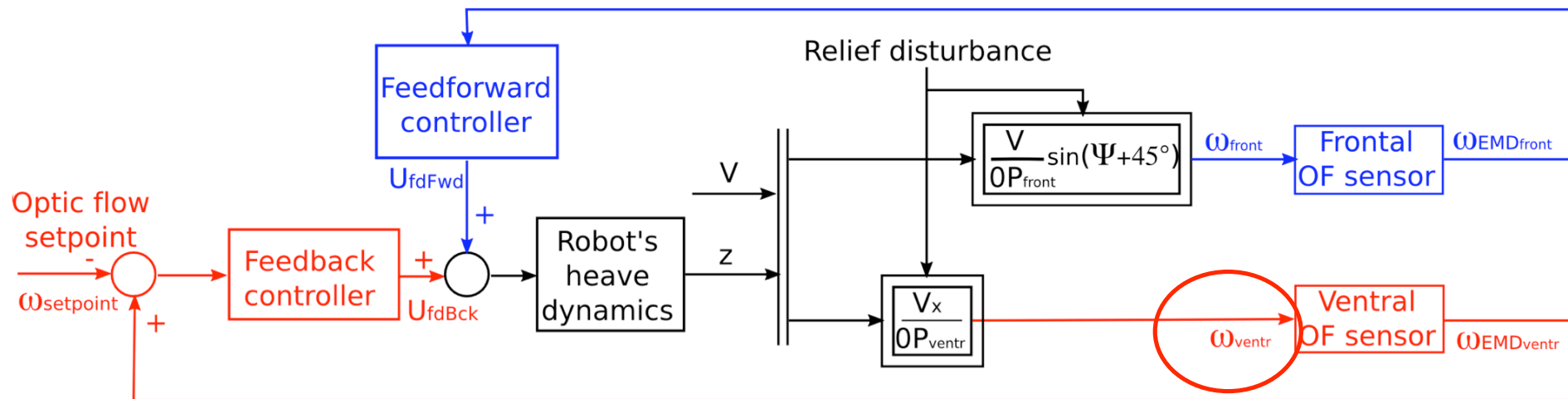
2 OF sensors based on Pin-Photodiodes and Microcontroller (27mm×30mm, 4.3g)

Ruffier & Franceschini, IEEE IROS 2008

Ajout d'une boucle d'anticipation

La boucle d'anticipation agit sur la force de sustentation :

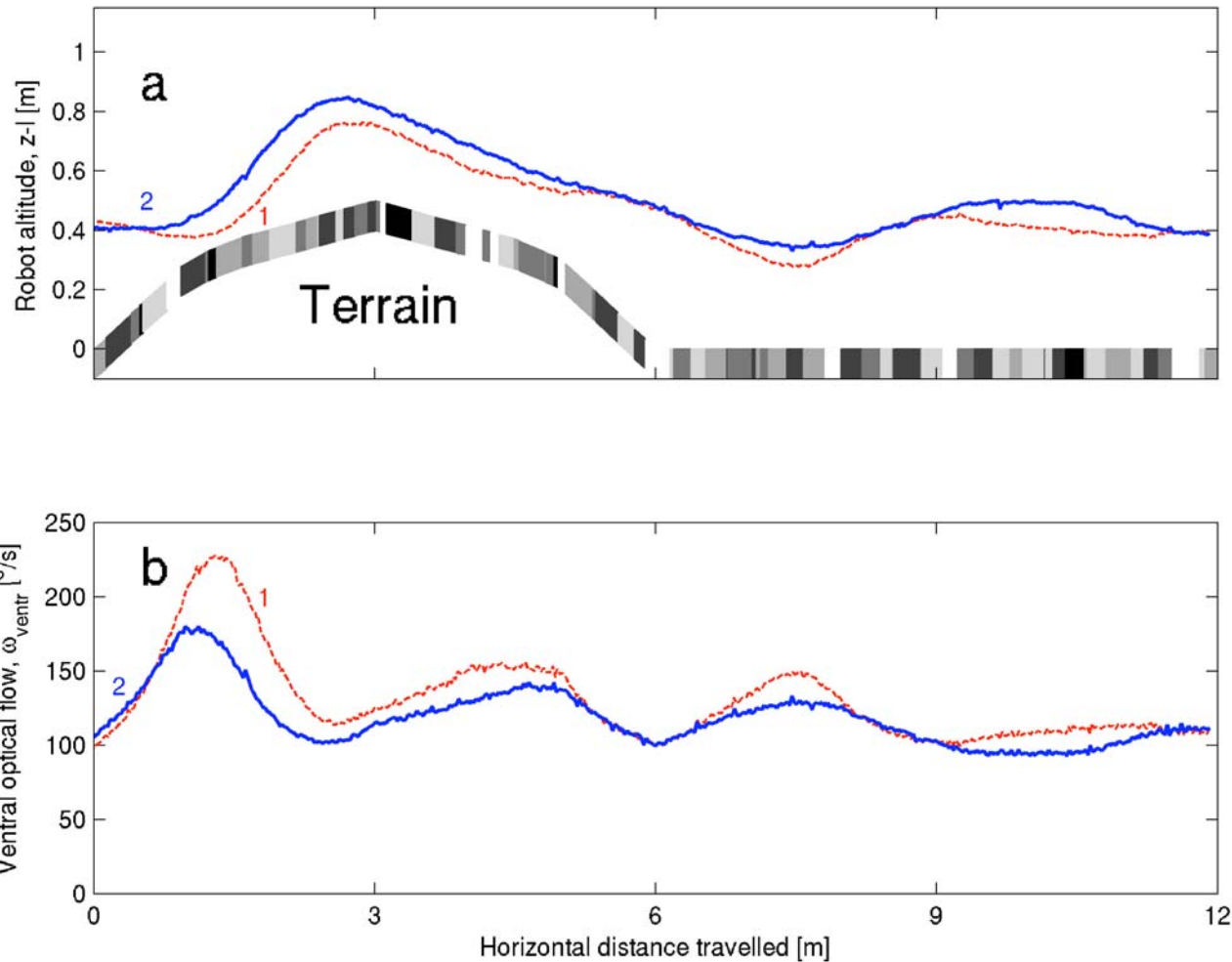
selon les variations du flux optique
donc selon les variations de terrain



Comparaison des trajectoires entre:

1: régulation du FO ventral

2: régulation du FO ventral + anticipation grâce au FO frontal



Pilotage horizontal

Manoeuvres en roulis contrôlant les glissades latérales de l'insecte



Guêpe= Hyménoptère

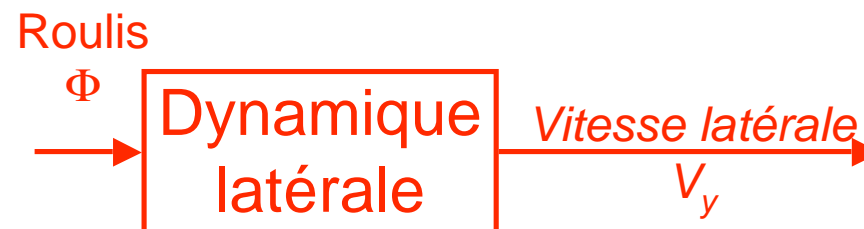
Zeil et al. Curr. Biol. (2008)

Les translations de l'insecte sont découplées

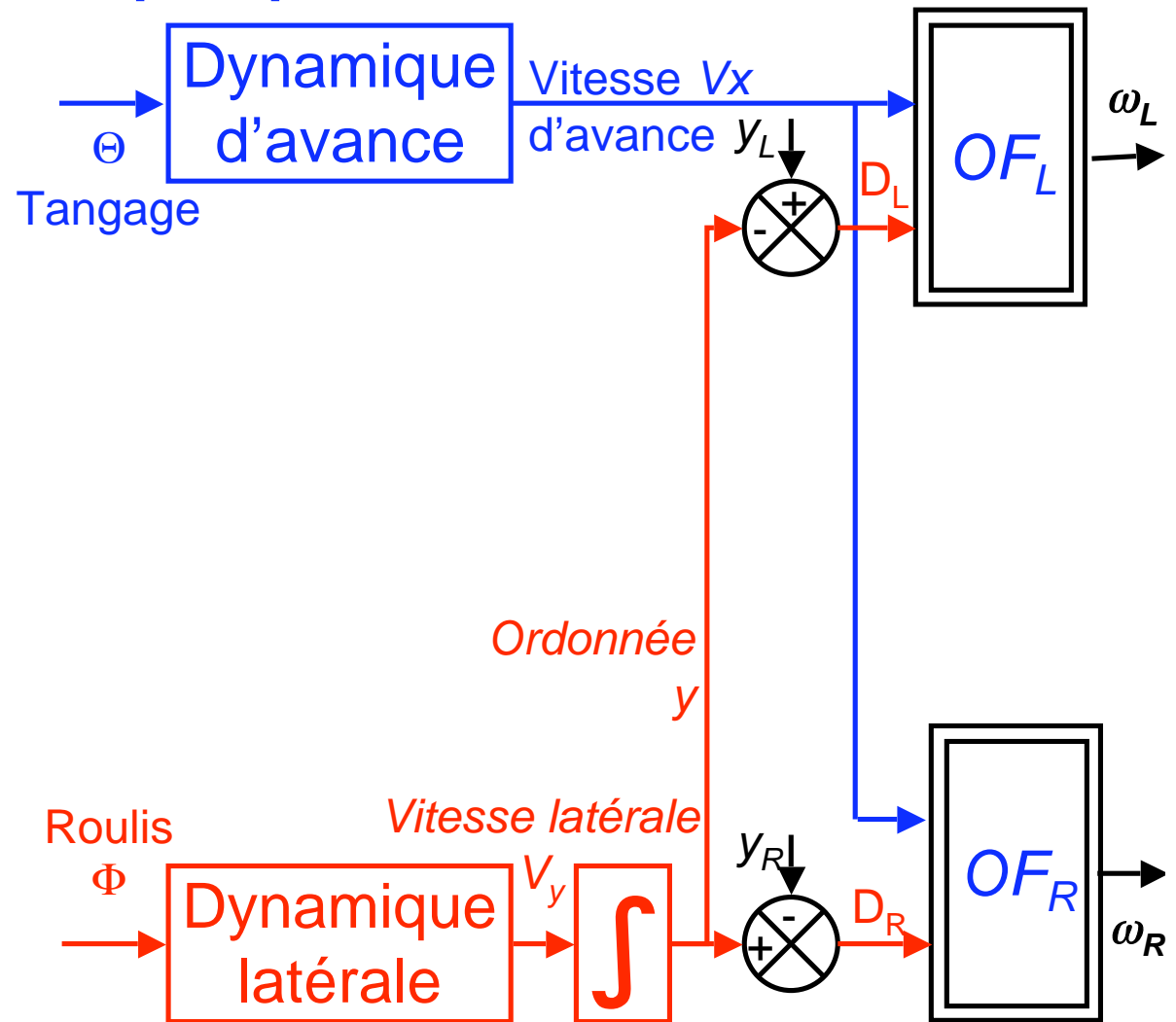


❖ L'angle de tanguage commande la poussée d'avance
Esch et al. (1975) ; Ellington (1984)

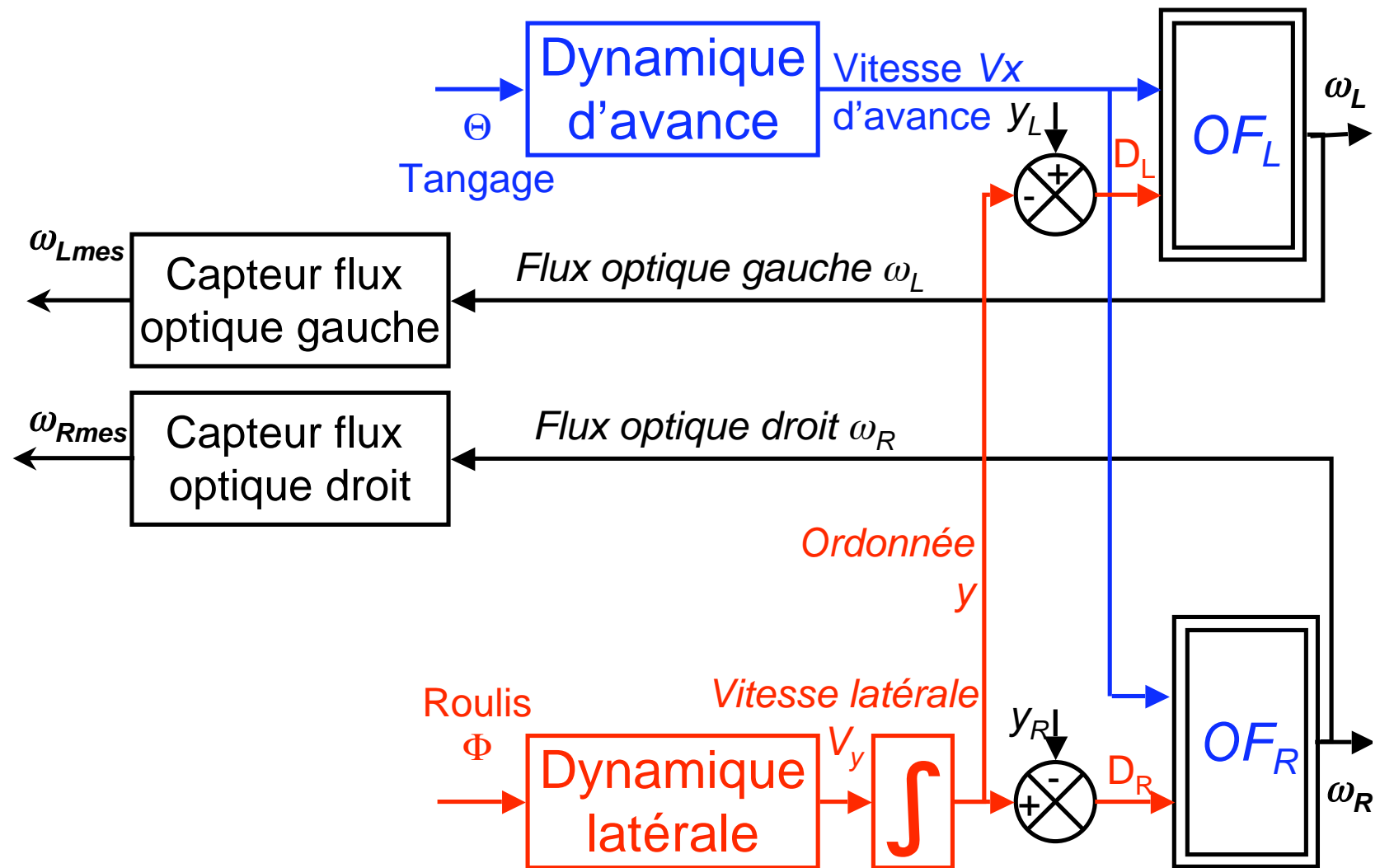
❖ L'angle de roulis commande la poussée latérale
Ellington (1984) ; Zeil et al. (2008)



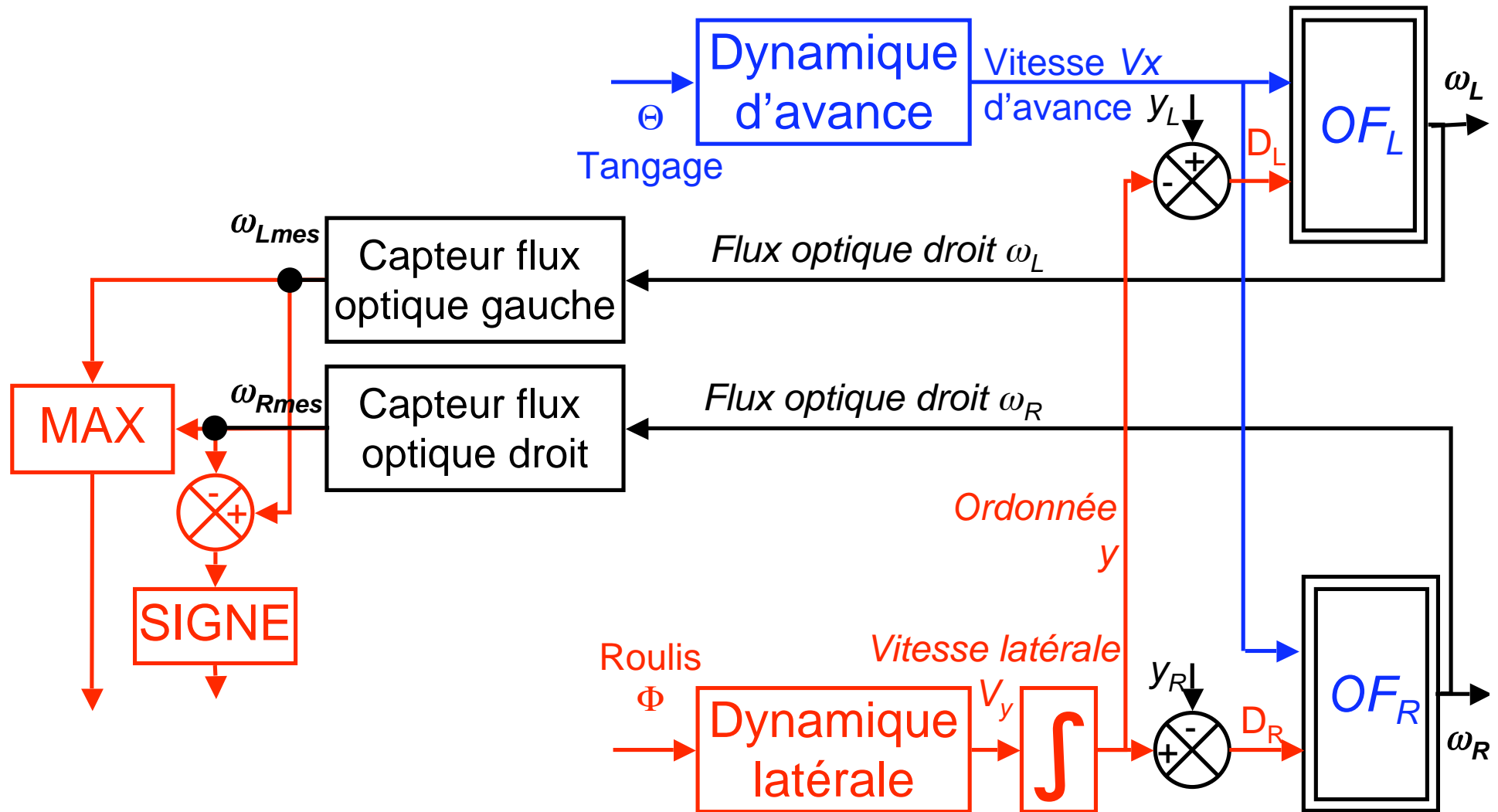
Les flux optiques latéraux générés par les mouvements propres de l'abeille



Les capteurs de flux optique de l'abeille

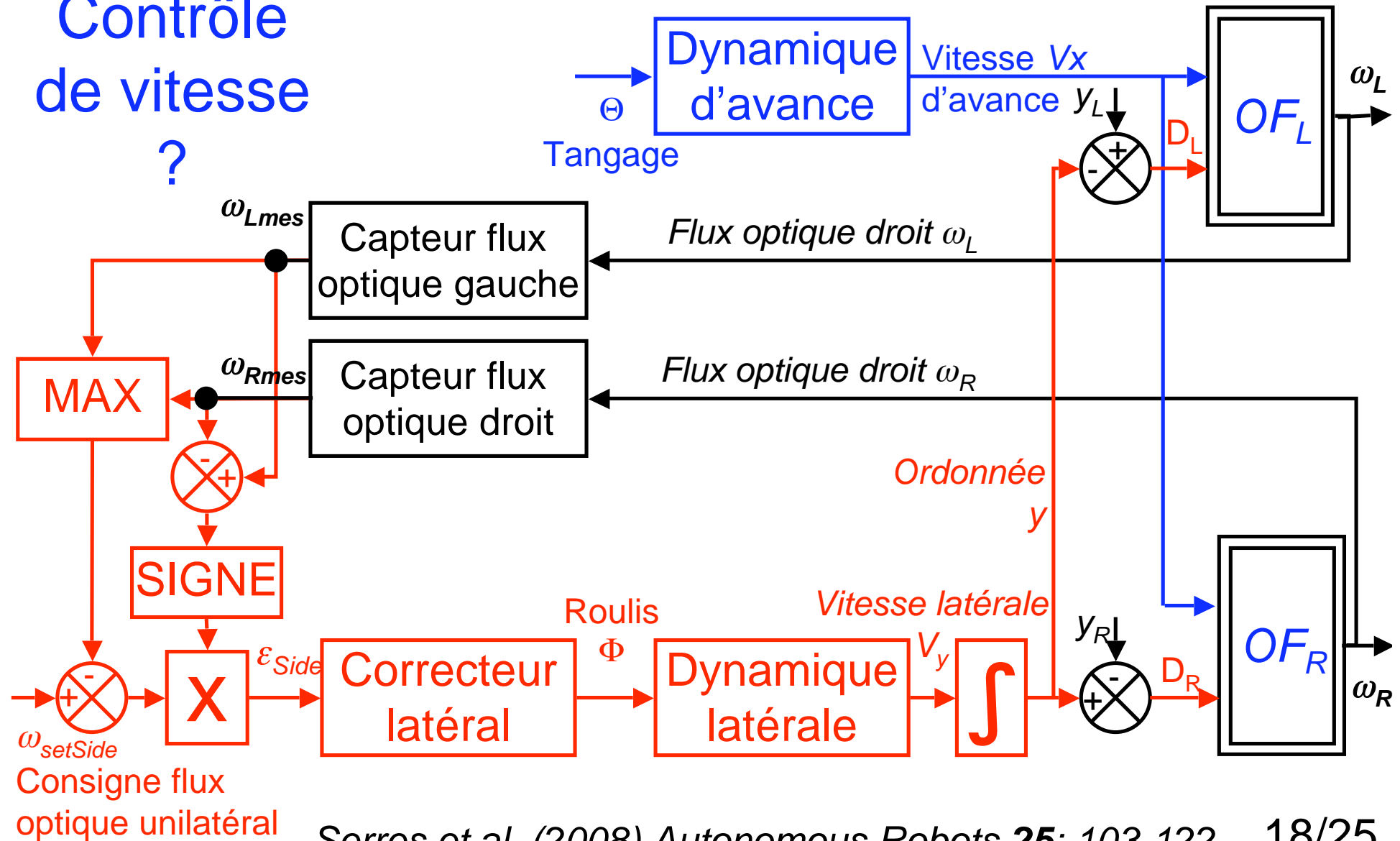


La sélection du mur à suivre

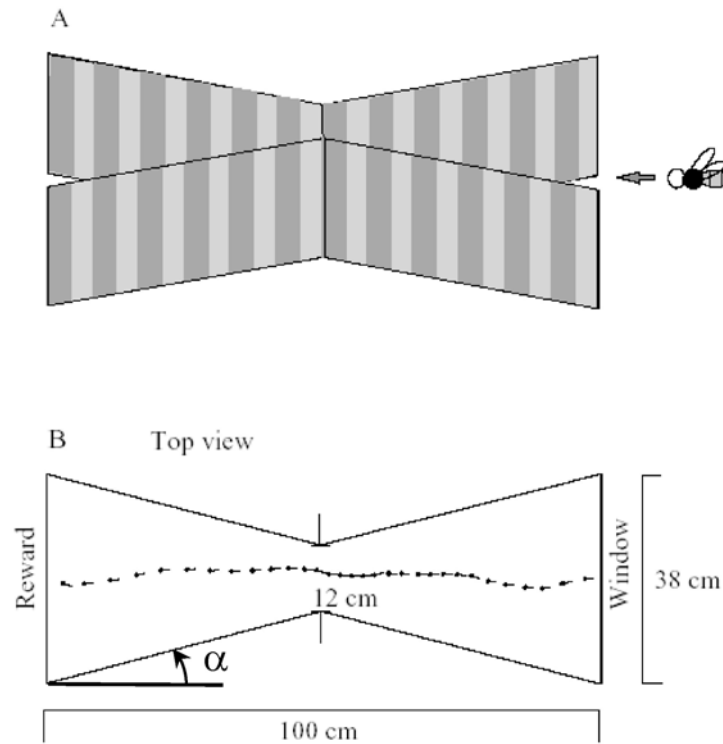


Le régulateur de flux optique latéral

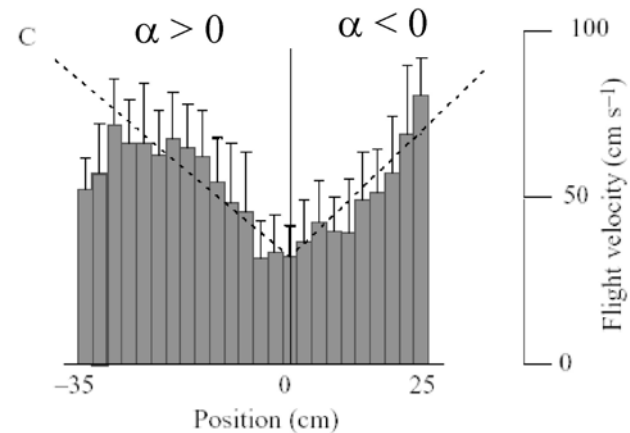
Contrôle de vitesse ?



Le contrôle de vitesse chez l'abeille

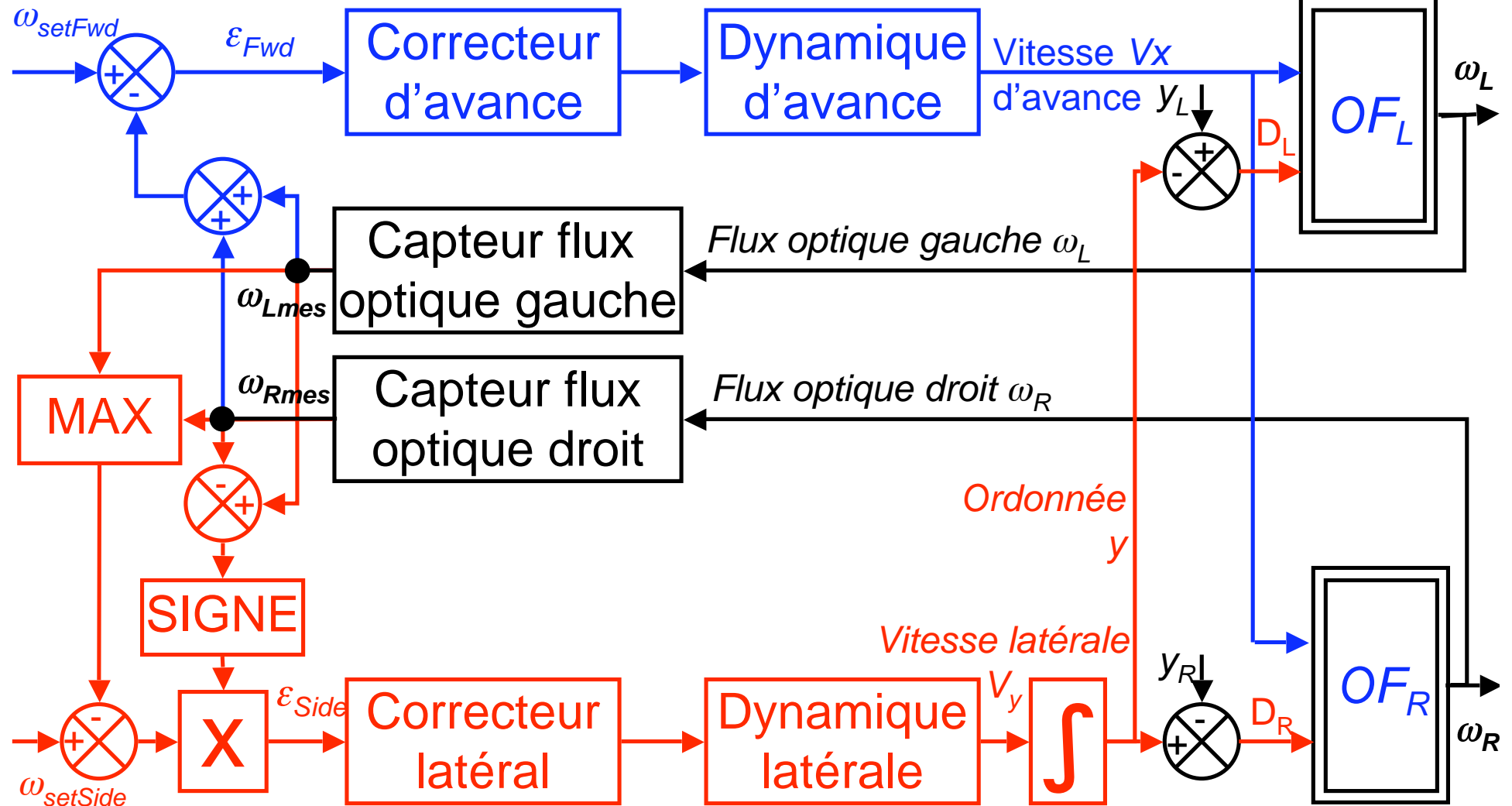


Srinivasan et al. (1996)



La boucle visuo-motrice LORA III

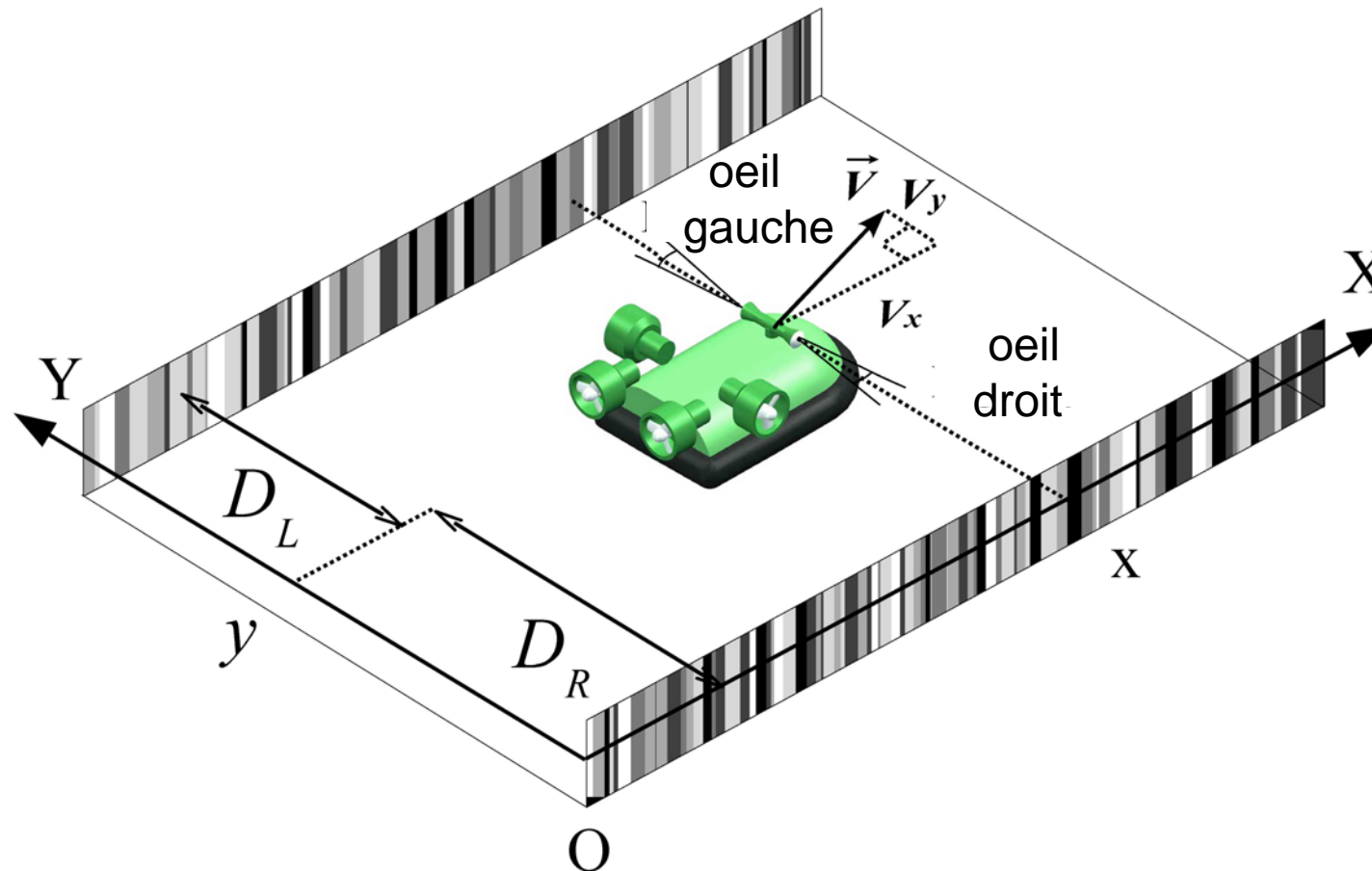
Consigne flux optique bilatéral



Consigne flux optique unilatéral

Un tel schéma de contrôle
peut-il s'appliquer à un micro
véhicule aérien ?

Simulation du robot LORA III : un aéroglisseur miniature totalement actionné



- Véhicule aérien ; totalement actionné
- Une paire d'yeux latéraux. 1 oeil = 1 lentille/ 2 photodiodes PIN
- Un circuit Détecteur Élémentaire de Mouvement (DEM)

Le robot LORA III : la mise en œuvre de la boucle visuo-motrice est en cours...

-> Dynamiques découplées



-> Boucle à verrouillage de cap

- ❖ micro gyromètre
- ❖ micro compas magnétique

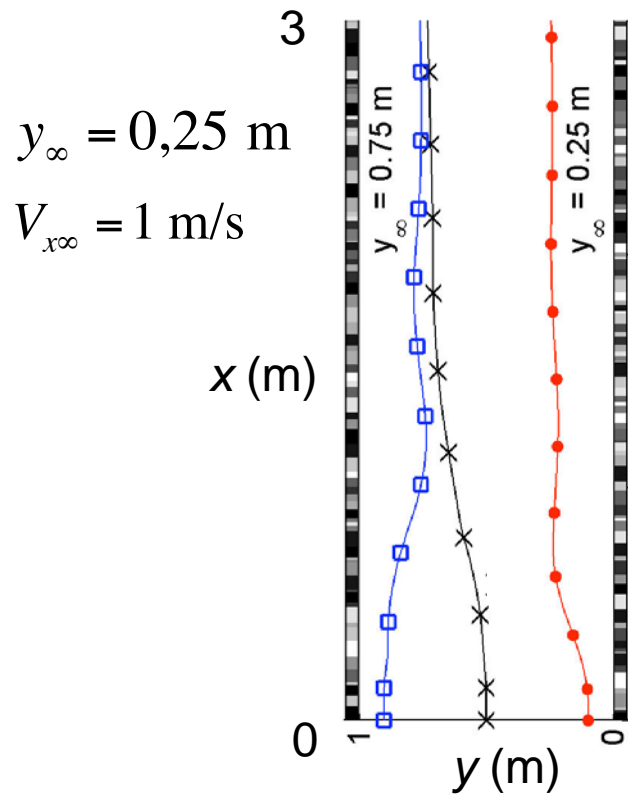
Taille	:	36x25x14 cm
Masse	:	825 g
Autonomie	:	~15 min

Suivi de paroi

Centrage

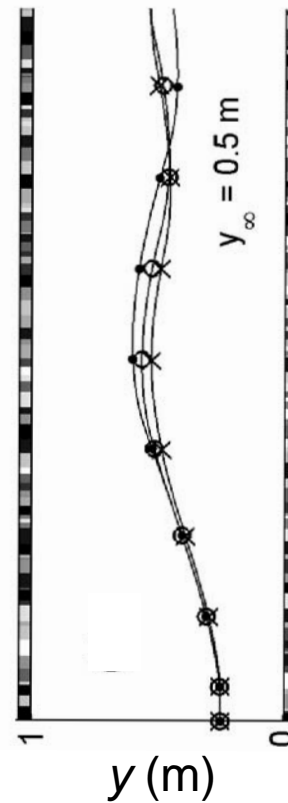
$$\omega_{setFwd} = 300^\circ/s$$
$$\omega_{setSide} = 230^\circ/s$$

$$\omega_{setFwd} = 300^\circ/s$$
$$\omega_{setSide} = 90^\circ/s$$

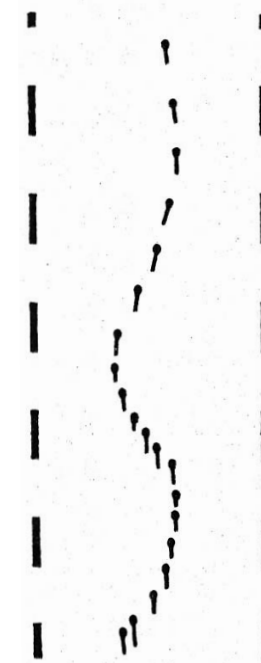


$y_\infty = 0,5 \text{ m}$
 $V_{x\infty} = 1,3 \text{ m/s}$

Simulation

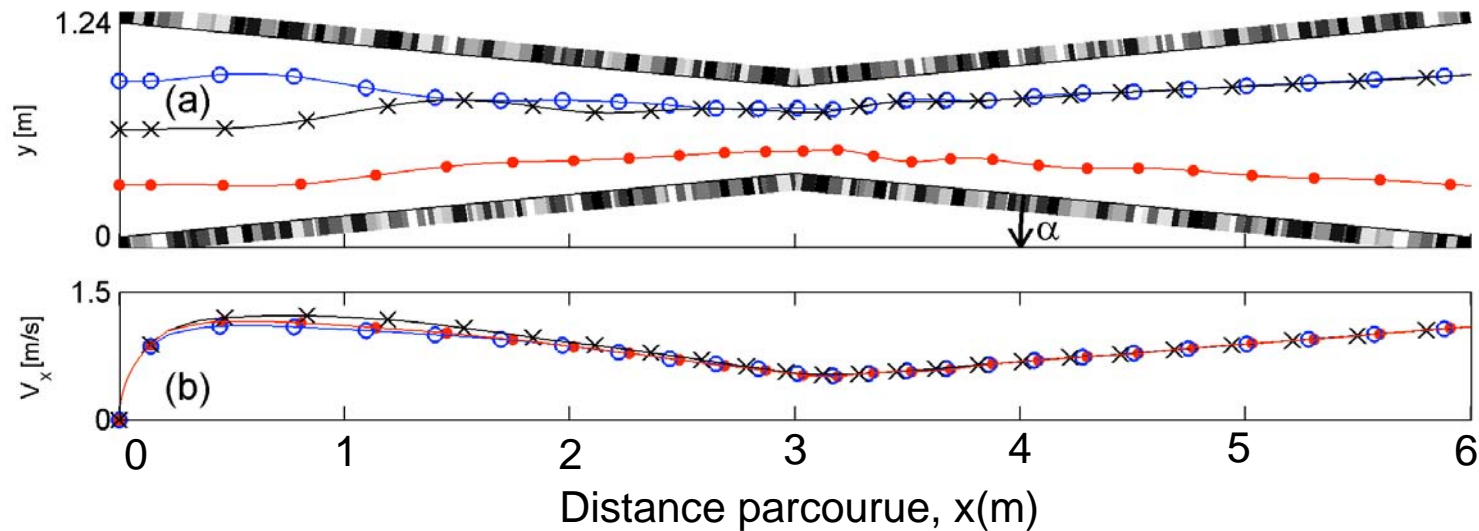


Abeille

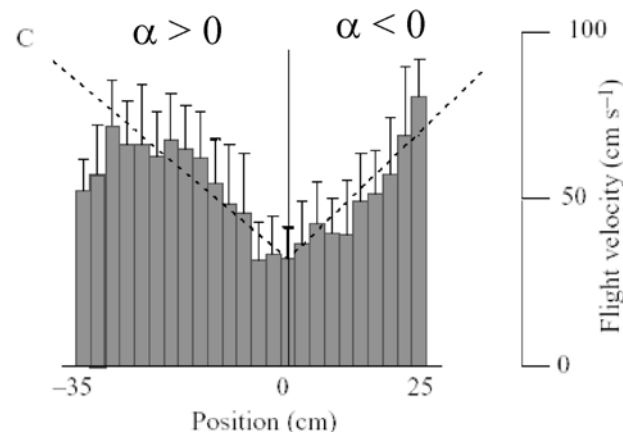


Kirchner and Srinivasan
(1989)

Décélération et accélération dans un corridor fuselé



La vitesse d'avance est proportionnelle à la largeur courante du corridor alors même que celle-ci est ni mesurée ni estimée !



Srinivasan et al. (1996)

Conclusions

- **La régulation directe du flux optique (OCTAVE et LORA III) pour**

1. Décoller
2. Atterrir à pente constante
3. Réagir aux vents de façon économe
4. Se centrer
5. Suivre une paroi
6. Contrôler sa vitesse
7. Réagir aux ouvertures (*Serres et al., Autom. Robots 2008*)
8. Réagir dans un corridor non-stationnaire (*Serres et al., Autom. Robots 2008*)

- **La régulation du flux optique ne nécessite pas :**

1. de mesurer la distance
2. de mesurer la vitesse (air ou sol)
3. de connaître la configuration des lieux (cartographie)

- **La régulation du flux optique nécessite :**

1. un système visuel **minimaliste** (quelques pixels)
2. des capteurs de flux optique (**non-émissifs**)
3. peu de ressources calculatoires (**embarquable**)

⇒ **Particulièrement adapté aux micro-aéronefs naturels et artificiels**



Merci !!!