

Les ganglions de la base comme modèle neuro-robotique de la sélection de l'action de l'apprentissage par renforcement et de la navigation.

Benoît Girard
benoit.girard@isir.upmc.fr

Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR)
UPMC - CNRS.



Juin 2011

1 Introduction

2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

3 Thèmes de recherche

- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

Thématique

- Sélection de l'Action
- Décision

Contextes

- Apprentissage par renforcement
- Navigation spatiale
- Mouvements des yeux

Permanents

- J.-A. Meyer
- A. Guillot
- B. Girard
- B. Delord
- M. Khamassi

Doctorants

- J. Liénard
- C. Thurat

Projets

- ICEA (UE, 2006-2009)
- EvoNeuro (ANR, 2009-2012)
- LU2 (ANR, 2011-2015)

1 Introduction

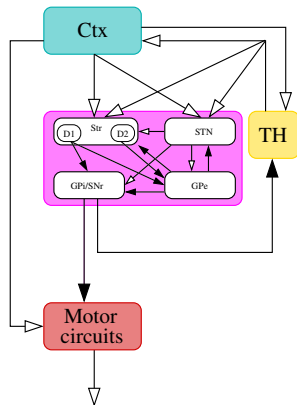
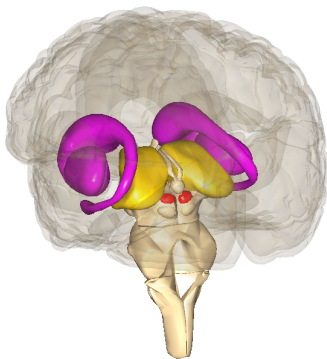
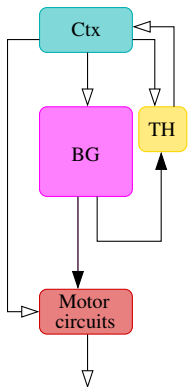
2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

3 Thèmes de recherche

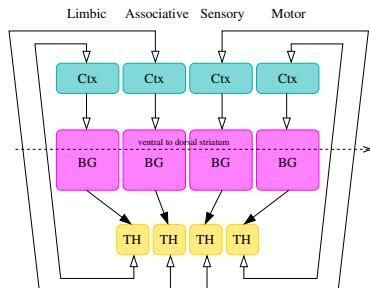
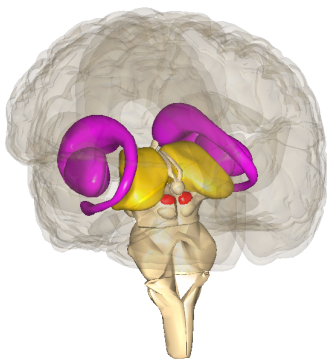
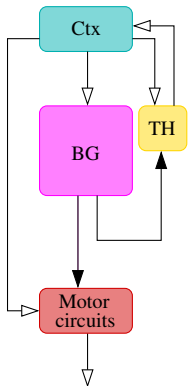
- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

Les ganglions de la base - Anatomie



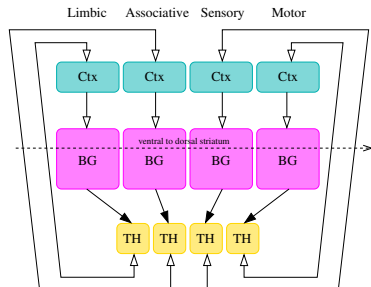
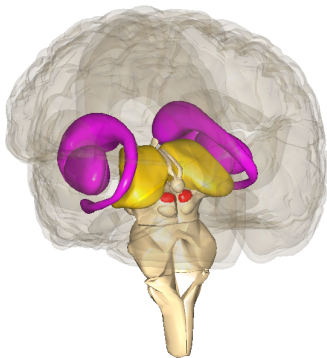
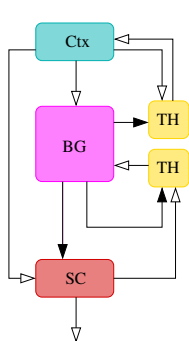
- noyaux sous-corticaux interconnectés, communs à l'ensemble des vertébrés,
- formant des boucles avec le cortex,
- mais aussi le colliculus supérieur, le cervelet, etc.

Les ganglions de la base - Anatomie



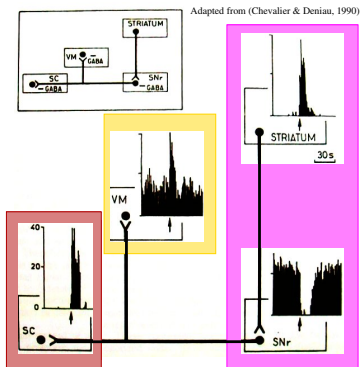
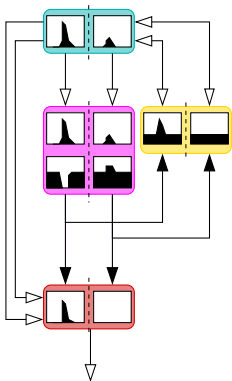
- noyaux sous-corticaux interconnectés, communs à l'ensemble des vertébrés,
- formant des boucles avec le cortex,
- mais aussi le colliculus supérieur, le cervelet, etc.

Les ganglions de la base - Anatomie



- noyaux sous-corticaux interconnectés, communs à l'ensemble des vertébrés,
- formant des boucles avec le cortex,
- mais aussi le colliculus supérieur, le cervelet, etc.

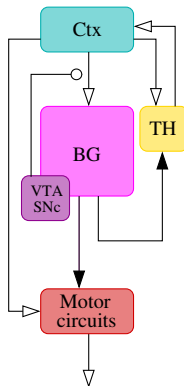
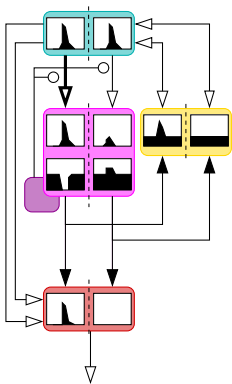
Les ganglions de la base - Physiologie



Rôle générique de sélection

- Sélection par désinhibition,
- Apprentissage par renforcement
⇒ Plasticité cortico-striatale, sous contrôle dopaminergique

Les ganglions de la base - Physiologie



Rôle générique de sélection

- Sélection par désinhibition,
- Apprentissage par renforcement
⇒ Plasticité cortico-striatale, sous contrôle dopaminergique

1 Introduction

2 Substrat neural

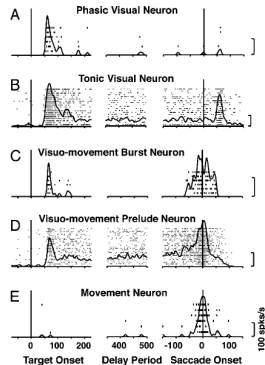
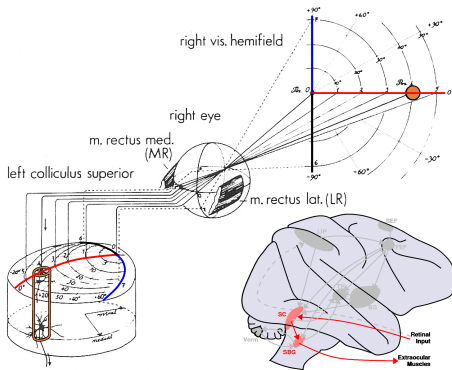
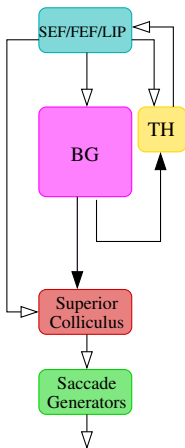
- Les ganglions de la base
- **Le colliculus supérieur**
- Les représentations spatiales

3 Thèmes de recherche

- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

Colliculus supérieur & Générateurs de saccades

Saccadic circuit



1 Introduction

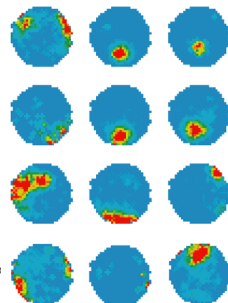
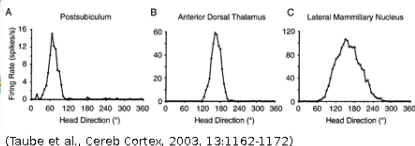
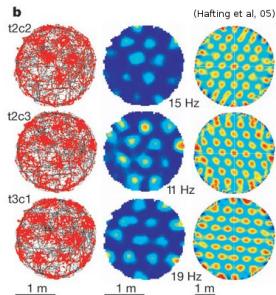
2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

3 Thèmes de recherche

- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

Substrat neural de la navigation



Cellules de grilles, de direction de la tête, de lieux.

1 Introduction

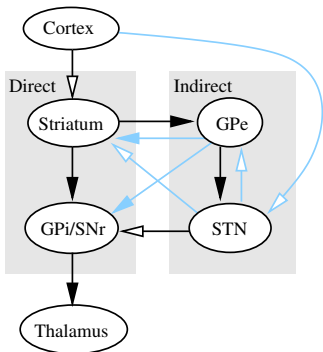
2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

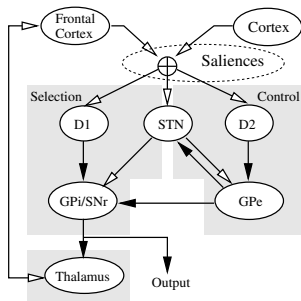
3 Thèmes de recherche

- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

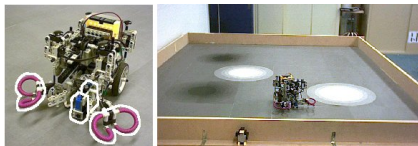
Computation dans les GB



(Albin et al. 1989)
(Berns & Sejnowski, 1996)

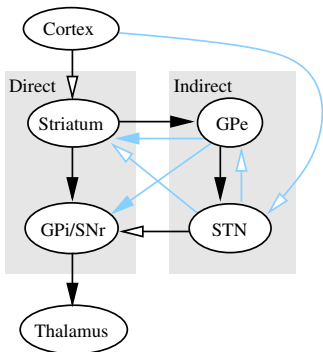


(Gurney et al., 2001a,b)

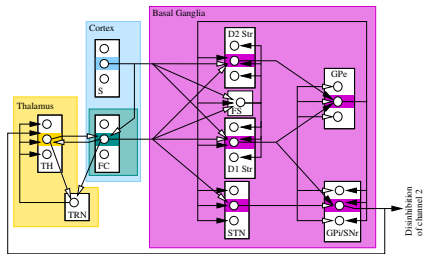


(Girard et al., 2003)

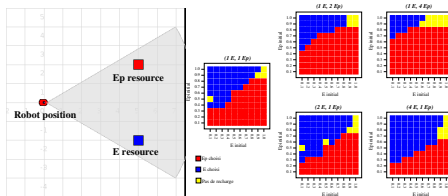
Computation dans les GB



(Albin et al. 1989)
(Berns & Sejnowski, 1996)

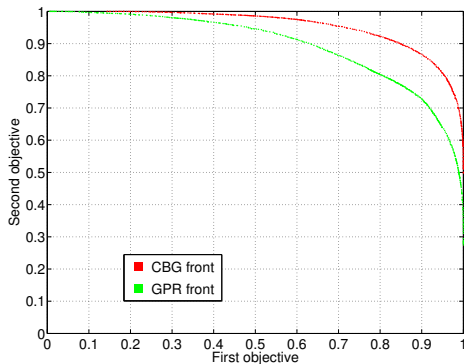
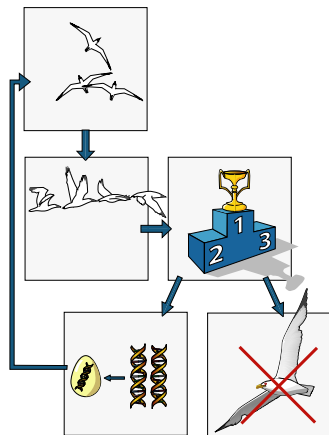


(Girard et al., 2008) - collab. Berthoz, Slotine



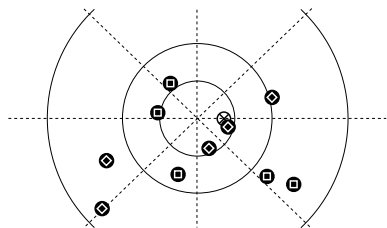
(Coninx et al., 2008)

Computation dans les GB

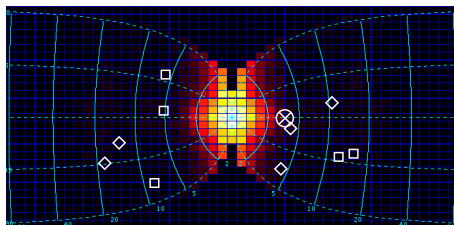


(Liénard et al., 2010) - collab. Doncieux, Mouret
Utilisation d'algorithmes évolutionnistes modernes faire évoluer les paramètres ou la structure de modèles de neurosciences computationnelles.

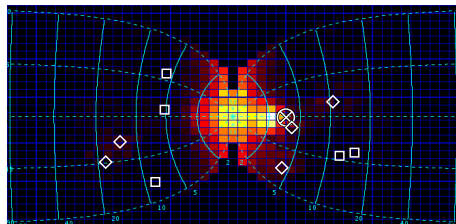
Modèles bayésiens de sélection



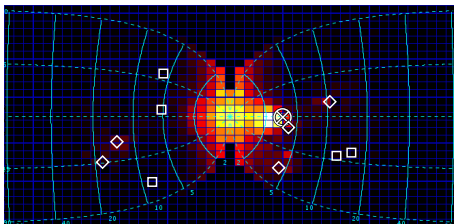
(a)



(b)



(c)



(d)

(Colas et al., 2008, 2009, 2010) - collab. Bessière

1 Introduction

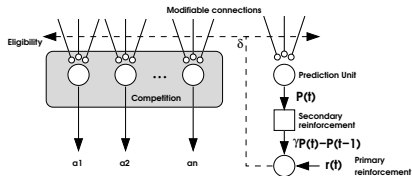
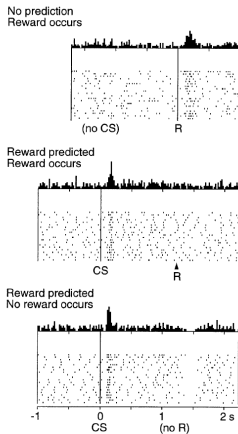
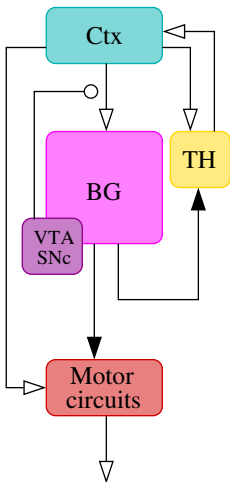
2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

3 Thèmes de recherche

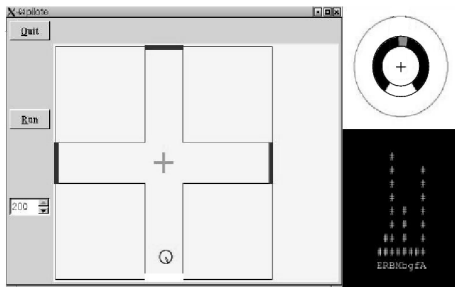
- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

BG & circuit dopaminergique

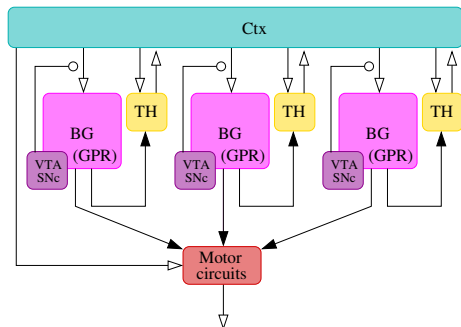


$$\delta = r + \gamma P(t-1) - P(t)$$

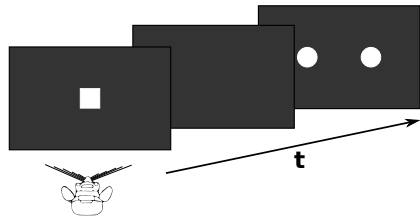
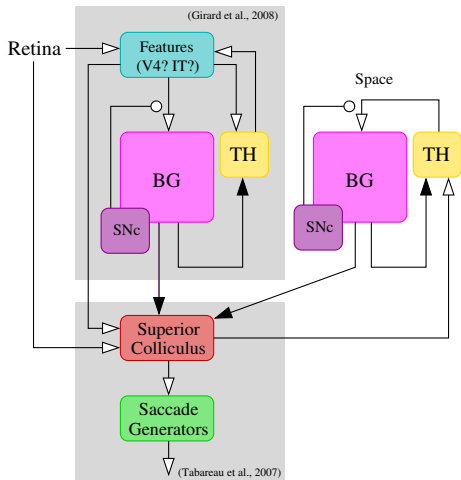
Apprentissage par renforcement dans un monde continu



(Khamassi et al., 2005, 2006) - collab. Wiener



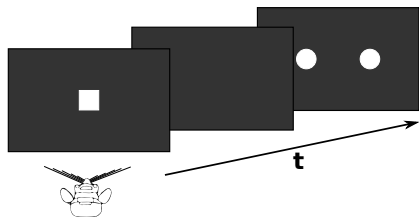
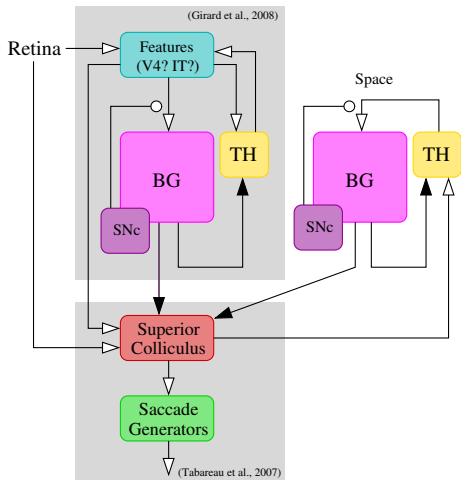
Boucles multiples : système saccadique



- Boucles sous-corticales et corticales.
- Apprentissage par renforcement.

(N'Guyen et al., 2010)

Boucles multiples : système saccadique



- Boucles sous-corticales et corticales.
- Apprentissage par renforcement.

(N'Guyen et al., 2010)

Contrôle et inhibition des saccades chez le primate. collab. P. Pouget

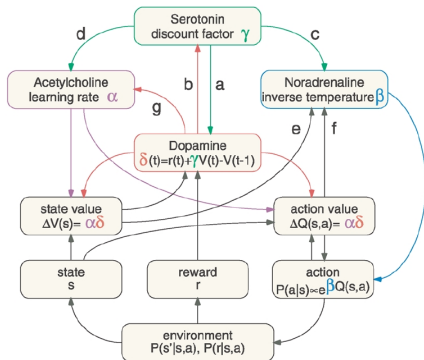
Meta-Learning

Metalearning : ajustement des paramètres de l'algo de RL

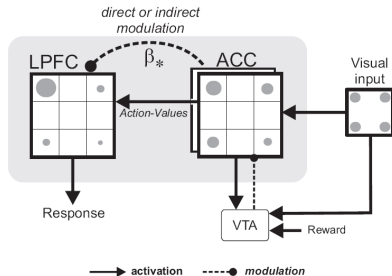
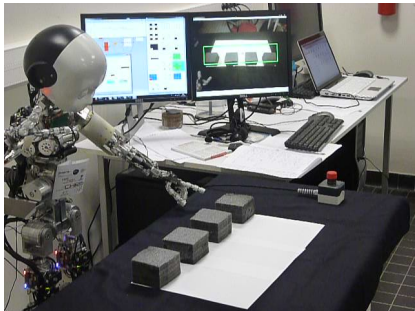
Neuromodulation

- TD erreur δ : Dopamine,
- Discount γ : Serotonine,
- Exploration β : Noradrénaline,
- Taux d'apprentissage α : Acétylcholine.

(Doya, 2002 ; Khamassi et al., 2011a) - collab. Doya



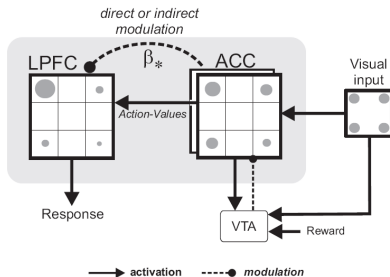
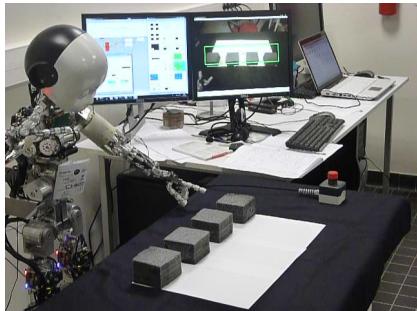
Meta-Learning : cortex préfrontal & exploration



Régulation dynamique de l'exploration
inspirée du cortex préfrontal.

(Khamassi et al., 2011b) - collab. Dominey, Procyk

Meta-Learning : cortex préfrontal & exploration



Régulation dynamique de l'exploration
inspirée du cortex préfrontal.

(Khamassi et al., 2011b) - collab. Dominey, Procyk

Modèle utilisé comme régresseur de données :

- IRMf chez l'humain. collab. Dreher
- électrophysiologiques chez le rat et le singe collab. Procyk, Apicella, Coutureau, Marchand - ANR LU2

1 Introduction

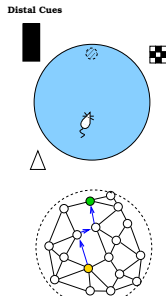
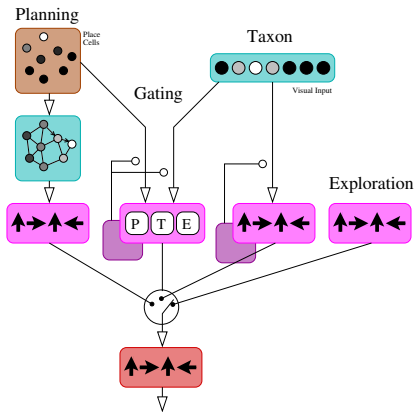
2 Substrat neural

- Les ganglions de la base
- Le colliculus supérieur
- Les représentations spatiales

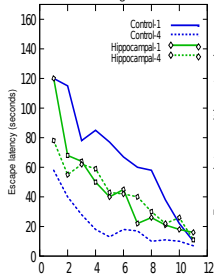
3 Thèmes de recherche

- Sélection de l'Action
- Apprentissage par Renforcement
- Stratégies de navigation

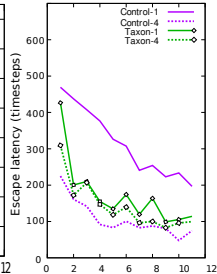
Coordination de stratégies de navigation



Pearce : Original results



Taxon vs. Control

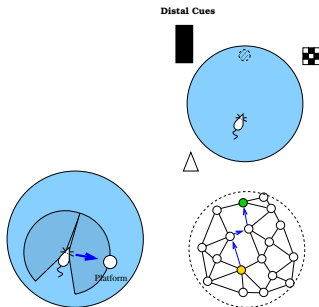
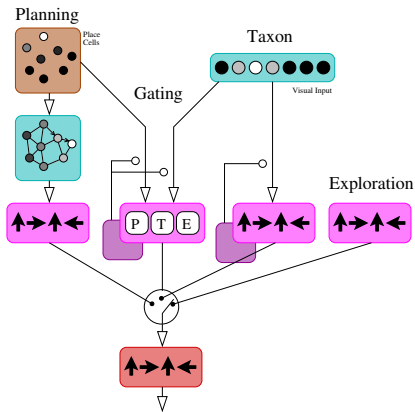


Coordination de systèmes :

- model-based (goal-directed),
- model-free (habit).

(Dollé et al., 2010 ; Caluwaerts et al., 2011)

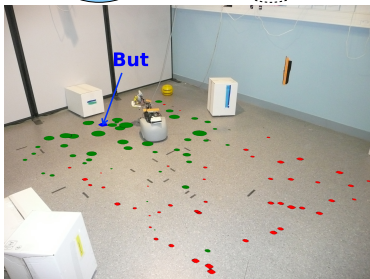
Coordination de stratégies de navigation



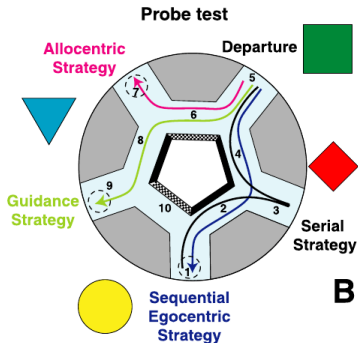
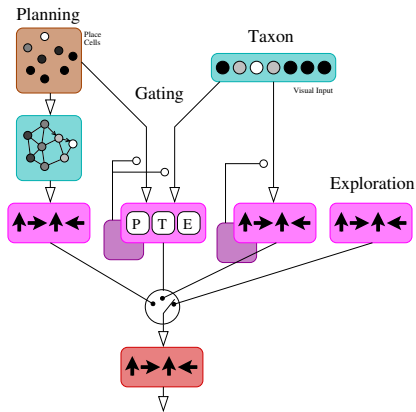
Coordination de systèmes :

- model-based (goal-directed),
- model-free (habit).

(Dollé et al., 2010 ; Caluwaerts et al., 2011)



Coordination de stratégies de navigation



Coordination de systèmes :

- model-based (goal-directed),
- model-free (habit).

(Dollé et al., 2010 ; Caluwaerts et al., 2011)

(Rondi-Reig et al., 2006) - collab. Rondi-Reig

Collaborations

Modélisation & Robotique

- S. Doncieux (ISIR)
- J.-B. Mouret (ISIR)
- J. Droulez (LPPA)
- P. Bessière (LPPA)
- D. Bennequin (IMJ)
- K. Doya (OIST)
- H. Berry (INRIA Lyon)
- B. Cessac (INRIA Sophia)
- Ph. Souères (LAAS)
- Q.C. Pham (U. Tokyo)
- N. Tabareau (INRIA)
- J.-J. Slotine (NSL-MIT)
- P.F. Dominey (INSERM U846)
- T. Prescott (ABRG)
- K.N. Gurney (ABRG)
- M. Humphries (ABRG)
- S. Denève (LNC)
- A. Dutech (LORIA)
- Y. Bonniface (LORIA)
- N. Rougier (LORIA)

- E. Daucé (ISM)

Expérimentation

- A. Berthoz (LPPA)
- S. Wiener (LPPA)
- F.F. Battaglia (U Amsterdam)
- L. Rondi-Reig (NPA)
- P. Faure (NPA)
- P. Pouget (CR-ICM)
- E. Procyk (INSERM U846)
- P. Apicella (LNC)
- A. Guillaume (LNC)
- A. Brovelli (INCM)
- F. Sargolini (U. Provence)
- S. Charpier (ICM)
- S. Mahon (ICM)
- E. Coutureau (CNRS, U Bordeaux 2)
- A. Marchand (CNRS, U Bordeaux 2)
- J.C. Dreher (ISC)
- L. Venance (CIRB)

- Travaux collaboratifs aux interfaces
 - neurosciences,
 - informatique,
 - mathématiques,
 - robotique.
- Contribution aux neurosciences :
 - approche située (simulation ou robot),
 - boucle sensorimotrice fermée,
 - identification de problèmes spécifiques.
- Potentiel de contribution à la robotique ?
 - Automatisation du comportement (habitudes vs. cpt dirigé vers un but)
 - Navigation multi-stratégies.