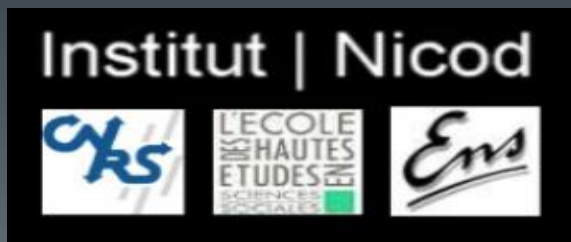


Séminaire Général de l' IHPST

Paris, 6 Novembre 2012

Niveaux d'explication et réductionnisme: Pour un d-fonctionnalisme

Joëlle Proust



Plan de l'exposé

1. Physicalisme, réduction et explication
2. Le fonctionnalisme et ses difficultés
3. Pour un d-fonctionnalisme
 - L'esprit comme système en développement: deux modèles
 - Le contrôle adaptatif comme base intermédiaire de réduction
4. Le rôle des représentations mentales dans le contrôle adaptatif



1. Physicalisme, réduction et explication

Physicalisme

- Les propriétés biologiques ou psychologiques **surviennent sur** (supervene) des propriétés physiques
- Tout **processus** biologique ou psychologique occurrent (token) est **identique à** un processus physique occurrent.

Réduction théorique



La réduction d'une théorie A à une théorie B consiste soit à

- dériver logiquement la théorie A de la théorie B, (Nagel, 1961)

Ou à

- prédire les phénomènes prédits par les principes de la théorie A par ceux de la théorie B (remplacement théorique, Kemeny & Oppenheim 1956)

Réduction explicative



Se centre sur tel ou tel mécanisme de niveau inférieur en tant qu'il permet d'expliquer les phénomènes de niveau supérieur



2 – De l'esprit au cerveau: Le fonctionnalisme et ses difficultés

Définition

- Le **fonctionnalisme** est la théorie selon laquelle les états mentaux peuvent être identifiés par leur efficacité causale propre (par leurs liens causaux avec des entrées, des sorties, et d'autres états).

La défense de la conception fonctionnaliste par Putnam

- L'activité mentale peut être décrite par les relations probabilistes entre les états d'une machine de Turing.

La défense du fonctionnalisme par Putnam (1967)



Si l'on suppose que la causalité est inhérente au réalisateur, on doit conclure:

1. que si des réalisateurs physiques relevant de machines de Turing différentes sont accidentellement identiques, les états qu'ils réalisent sont identiques.

La défense de la conception fonctionnaliste par Putnam

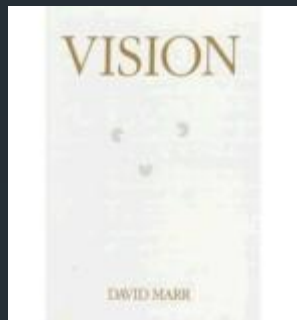
2. que des organismes ayant une structure physique différente (neurones vs. chips de silicone) mais des tables d'état identiques ne peuvent pas avoir les mêmes états mentaux.



Conception fonctionnaliste

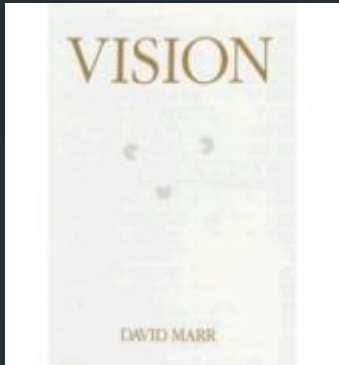
→ Ce qui fait d'un état (par ex., de douleur) l'état qu'il est consiste dans les probabilités de transition entrées-états-sorties (stimuli , émotions, comportement d'évitement etc) et non sa réalisation physique

La théorie fonctionnaliste suppose l'existence d'un niveau « mental », distinct de sa réalisation: les niveaux de Marr (1982)



1. **La théorie computationnelle abstraite**
2. **L'Algorithme servant à représenter les entrées-sorties d'une tâche particulière**
3. **L'implémentation, c'est-à-dire la réalisation physique de l'algorithme.**

Understanding an information-processing device: Marr's trichotomy



- "Since the three levels are **rather loosely related**, some phenomena may be explained **at only one or two of them**. This means that a correct explanation of some psychophysical observation must be formulated at the appropriate level" (p.25)
- "It is the top level, the level of computational theory, which is critically important" from an information-processing point of view". (p.27)

Multiréalisabilité (MR)

- d'où la **thèse de multiréalisabilité**: le type d'un état mental est déterminé par son rôle causal total dans le système, lequel peut en principe être réalisé de manière variable.
- **survenance sans réduction**: les états mentaux ne peuvent être théoriquement expliqués par une théorie physique ou neurophysiologique.

Difficulté « métaphysique » de la thèse fonctionnaliste

Comment le contenu mental d'un état pourrait-il avoir une efficacité causale? En vertu du physicalisme, seul son « réalisateur » peut en avoir une.

Dès lors ce ne sont pas nos pensées ou nos sensations qui causent nos comportements.

Difficultés de la thèse de la MR (Lycan, 1987)

- « La distinction entre niveau fonctionnel et niveau physicochimique encourage l'idée que la nature est bipartite, alors que la réalité est celle d'une hiérarchie multiple de niveaux. » (p. 38)
- En fait l'opposition fonction/structure se retrouve à chaque niveau.

Difficultés de la MR (Kim, 1998)

« Parler de survenance baptise la difficulté sans la résoudre »

- Si les propriétés fonctionnelles de second ordre sont irréductibles à leurs réalisateurs, il y a surdétermination causale

→ Pour résoudre ce problème on doit parler non de survenance mais d'identité M-P

Solution proposée (Kim, 1998)

- La solution de Kim est que toute propriété mentale est réductible à une propriété physique « si celle-ci se trouve remplir la spécification causale de la première ».

Difficultés la proposition de Kim (1998)

1. **Cette solution reste nominale**, tant qu'il n'est pas acquis qu'il existe une propriété physique « remplissant la spécification causale »
2. Cette solution ne propose pas **de réduction explicative** (i.e. fondée sur l'explication de l'identité)
3. Elle présuppose une **ontologie d'états mentaux/cérébraux statiques**
4. Elle biaise de ce fait **le rôle causal de l'environnement** dans les fonctions mentales et leurs contenus.



3 – Du fonctionnalisme au d- fonctionnalisme

Stratégie présente

1. Expliquer pourquoi il **doit** exister une propriété physique « remplissant la spécification causale ». Pour cela:
2. Défendre le caractère dynamique des propriétés mentales
3. S'intéresser
 - a. au **développement** des états mentaux/cérébraux
 - b. À la contribution causale de **l'environnement** dans la formation des contenus mentaux

L'esprit est une entité dynamique et non statique

- **Phylogénétiques:** les pressions liées à l'environnement physique et social, étudiées par l'écologie comportementale, la psychologie évolutionnaire, et la génétique.
- **Ontogénétiques:** interactions gènes-environnement dans le développement d'un système cognitif individuel.
- **Contraintes d'apprentissage:** la disponibilité, l'extraction/utilisation de l'information dans un environnement à haute/faible variabilité

De quel esprit-cerveau parle-t-on?

- Quand on analyse le fonctionnement causal d'un organe digestif, par exemple, on s'intéresse à l'ensemble des transformations qui l'affectent ou l'ont affecté dans son évolution.
- Si l'on ne prend pas en compte le fait que l'esprit est une entité dynamique, on présuppose ipso facto que le réalisateur n'a aucun rôle crucial dans la causalité mentale « de haut niveau ».

De quel esprit-cerveau parle-t-on?


- Si en revanche on s'intéresse aux contraintes d'évolution et de croissance du cerveau, on est en mesure d'expliquer comment le fonctionnement mental
 - dépend systématiquement d'une hiérarchie d'adaptations relevant de temporalités différentes
 - est constitué par cette hiérarchie de mécanismes fonctionnant en synergie.

Pourquoi l'attention au développement du cerveau permet-elle de fournir une alternative au fonctionnalisme classique?

- Les états mentaux (i.e. les attitudes propositionnelles) et leurs contenus sont la manière dont un esprit changeant s'ajuste à un environnement changeant.
- La stabilité d'un état (« la croyance que P ») est un artefact de la description langagière de cet état.

Nous proposons de substituer au


- **Fonctionnalisme d'état qui** identifie les états mentaux à leurs rôles causaux
- **Un fonctionnalisme dynamique qui reconstruit les dynamiques mentales dont ces 'états' font partie.**
- Une telle approche a le mérite de montrer que , par ex., **l'attribution d'un état mental à autrui** est effectuée différemment chez le sujet sain et chez le patient affecté d'autisme. (Karmiloff-Smith, 1998).



L'esprit-cerveau comme système en développement : deux modèles

La trichotomie de Marr d'un point de vue d-fuctionnaliste

- Le véhicule neuronal ne se borne pas à “implémenter” les formes supérieures de cognition: il traite déjà de l'information à son propre niveau.
- La cognition se développe au niveau de la cellule neuronale et dans les populations de neurones; les segments et la structure dendritiques sont porteurs d'information

- 
- La distinction entre niveau cognitif et
· niveau d'implémentation est incompatible
avec l'existence de mécanismes
informationnels similaires engagés dans
l'apprentissage et dans la croissance
cellulaire.



Arguments empiriques: le développement cérébral

Sélectionnisme (Darwinisme neuronal)
Versus Neuroconstructivisme



Le darwinisme neuronal: Edelman (1987) Changeux & Dehaene (1989)



- Pour le sélectionnisme neuronal, le développement du cerveau est ce qui détermine l'apprentissage, par la compétition neuronale et la sélection qu'elle engendre en interaction avec l'environnement.

Le constructivisme neuronal

- Pour le “constructivisme neuronal”, l’apprentissage est ce qui détermine la croissance cérébrale
- Karmiloff-Smith (1992), Thelen & Smith (1994), Quartz & Sejnowski (1997), Christensen & Hooker, (2000).



Thèses communes à ces deux théories

1. Le cerveau cognitif est un dispositif à base de représentations
 - *Une représentation est ce qui porte une information sur (= prédit, évalue) des états, des événements, de propriétés de l'environnement, incluant le corps et l'esprit-cerveau lui-même.*

Thèses communes à ces deux théories

- 2. L'apprentissage est la clé de la structure cérébrale.
- Les patterns d'apprentissage chez l'enfant ont souvent une forme de "U";
- Après une première phase de succès, période d'échec, surgénéralisant la connaissance acquise, puis stabilisation d'un apprentissage devenu robuste.



Karmiloff-Smith, (1992), (2006)

- Ce phénomène indique que le cerveau est **non-stationnaire**: ses propriétés statistiques varient au fil du temps.
- Il est également **non-linéaire**: "la sortie n'est pas proportionnelle à l'entrée"
- Non-stationarité et nonlinéarité sont des propriétés essentielles pour que se développe un apprentissage flexible.

Thèses du darwinisme neuronal

Edelman (1987) Changeux & Dehaene (1989)

1. La prolifération neuronale génétiquement induite est source de variation
2. L'élagage neuronal (pruning) sélectionne les variantes qui ont été le plus souvent activées par feedback de l'environnement (en éliminant les neurones les moins actifs)

Thèses du darwinisme neuronal

Edelman (1987) Changeux & Dehaene (1989)

3. Des processus “genère et teste” avec feedback réentrant dans des populations plus larges de neurones conduisent à une stabilisation hiérarchique des niveaux d’organisation.

Trois niveaux d'organisation inhérents à ces processus

Changeux & Dehaene (1989)

1. Le neurone individuel établit à lui seul son activité sur les trois niveaux de Marr:
 - Il accomplit une tâche computationnelle relevant du “program level”;
 - Il exécute pour cela un algorithme (niveau de l'algorithme)
 - Il le fait en vertu de certaines propriétés physiques (comme: les propriétés moléculaires des synapses et de la membrane) (niveau de l'implémentation)

Trois niveaux d'organisation résultent de ces processus

Changeux & Dehaene (1989)

2. Un second niveau anatomique comprend les **“circuits”**, c'est-à-dire des assemblées de neurones de milliers de cellules organisées en structures bien définies, c'est-à-dire: présentant des activités synchrones dépendant de la tâche
3. Un troisième niveau comprend les **“métacircuits”**, c'est-à-dire les relations entre les assemblées neuronales qui sont co-activées pour l'effectuation de certaines tâches.

- “On a l’impression que le système devient de plus en plus ordonné en recevant des “instructions” de l’environnement.

Changeux (1983)



Thèses du Neuroconstructivisme

Le neuroconstructivisme s'inspire du constructivisme de Piaget, soit de l'idée que les représentations mentales sont construites par une internalisation des structures environnementales guidée par l'action.

Karmiloff-Smith (1992), Thelen & Smith (1994),
Quartz & Sejnowski (1997), Christensen &
Hooker, (2000).





- La dynamique de l'apprentissage est expliquée par la croissance progressive des dendrites du fait de l'interaction du cerveau avec l'input perceptif (dans chaque modalité: visuelle, auditive, proprioceptive, etc.)



Quartz & Sejnowski (1997)

Trois points de divergence du neuroconstructivisme avec le sélectionnisme

1. Le cortex immature est initialement équipotent (les lésions cérébrales dans le développement précoce n'a que peu ou pas d'effet sur la fonction mentale correspondante).

Quartz & Sejnowski, (1997).

Trois points de divergence du neuroconstructivisme avec le sélectionnisme

2. La croissance dendritique et sa diversité sont contrôlées exclusivement par l'environnement, plutôt que par suppression neuronale

Rôle des neurotrophines, i.e. signaux de feedback post-synaptiques dépendants de l'activité.

Quartz & Sejnowski, (1997).

Trois points de divergence du neuroconstructivisme avec le sélectionnisme

3 . Etant donné que les dendrites ont des propriétés non-linéaires, les segments dendritiques individuels pourraient former les “unités computationnelles de base” de l’esprit-cerveau

Quartz & Sejnowski, (1997), 549.

En résumé

- Les Sélectionnistes considèrent que le cerveau construit des boucles de contrôle sur la base de contraintes génétiques et des stimulations environnantes.
- Les constructivistes considèrent que l'environnement asservit (enslaves) le cerveau en lui imposant des patterns de réactivité.

En résumé

- Dans les deux cas, la structure du cerveau est analysée par une hiérarchie de boucles de contrôle.
- C'est sur cette base nomologique que doivent être repensés:
 - La clôture causale du physique
 - Le rapport entre les niveaux du programme, de l'algorithme et du véhicule
 - L'efficacité causale du mental (attitudes et contenus).



Proposition pour un d-
fonctionnalisme:
propriétés mentales & contrôle
adaptatif



Un système de contrôle adaptatif

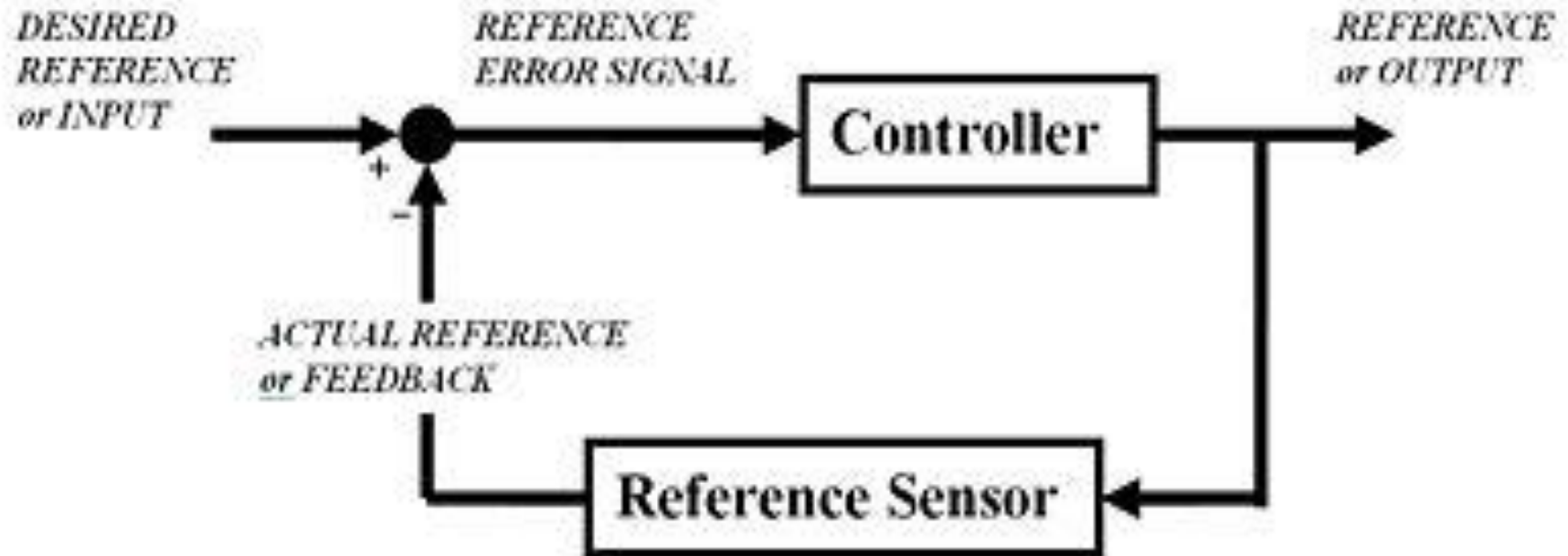
- est un système capable de changer de manière autonome ses régulations en fonction de ses entrées perceptives et de l'information stockée.
- Comme on le verra, le stockage et le changement des régulation sont assujettis à diverses contraintes.

Qu'est-ce que le contrôle adaptatif?

Une boucle de feedback est une unité “test-opération-test-sortie”

1. test de divergence: Besoin perçu
2. Activité “visant” à réduire la divergence: choix d'une commande
3. test sur le feedback de la commande: comparaison entre feedback attendu/observé.
4. Sortie ou nouvelle boucle.

Qu'est-ce que le contrôle adaptatif?





Conant & Ashby's theorem

- Conant, R. C., and Ashby, W. R. (1970).
‘Every good regulator of a system must be a model of that system’, *International Journal of Systems Science*, 1: 89-97.

Description mathématique

- Un système de contrôle adaptatif est un système mécanique dont l'évolution peut être décrite par deux conditions:
 - 1) $\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t))$
 - 2) $u(t) \in U(x(t))$.
- 1 décrit un système entrée-sortie où x sont les variables d'état, et u les variables de régulation.
- 2 décrit la relation de feedback output-input.

Physicalisme

- Un système de contrôle étant mécanique, il doit opérer des transferts d'énergie pour envoyer des commandes à des effecteurs et comparer les signaux réafférents au feedback attendu.
- Pour qu'un système puisse effectuer une régulation, il doit présenter des symétries qui assurent l'invariance des lois physiques pour certaines transformations (théorème de Noether)

Physicalisme est expliqué

Le caractère hiérarchique/adaptif du fonctionnement mental/cérébral permet de donner une explication précise du rapport entre cognition et support physique. La cognition exige entre autres:

- un système physique comprenant des symétries,
- Disposant d'une énergie suffisante pour assurer la vélocité du transfert d'énergie commande-effecteur et effecteur commande

Le rôle des représentations dans le contrôle adaptatif

- Les représentations mentales sont impliquées dans la commande et dans le suivi de la commande.
- L'information déjà stockée doit pouvoir être réutilisée (modèle inverse) et combinée pour préparer une nouvelle intervention (modèle direct).



Inverse model

A model for motor control

Direct model

Predictor

Predicted Sensory Feedback

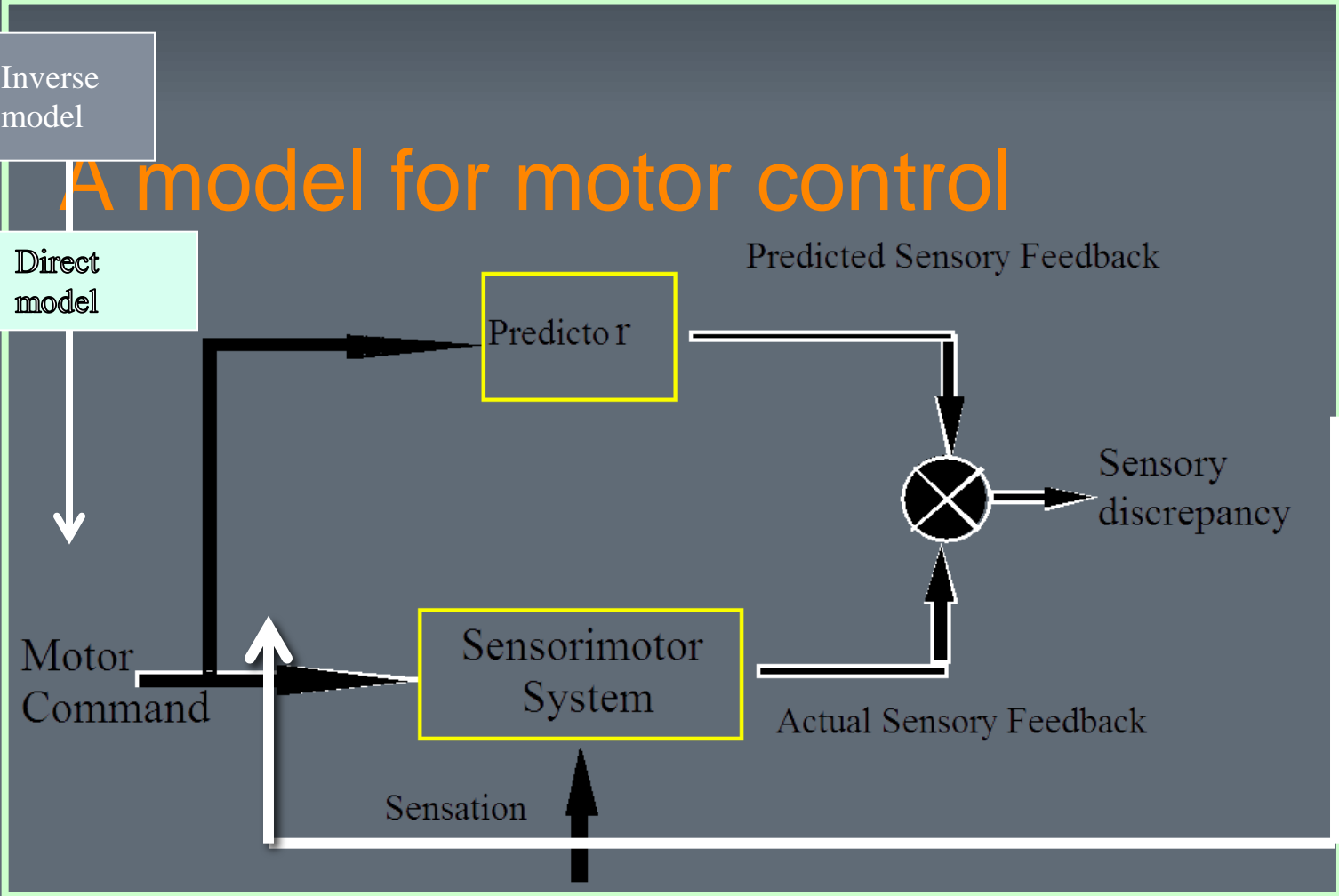
Sensory discrepancy

Motor Command

Sensorimotor System

Actual Sensory Feedback

Sensation



Quel est le rôle causal de l'information?

- L'information (extraction, stockage et réactivation) est la clé de l'efficacité de la régulation dans un environnement changeant.
- L'information est « portée par » les segments, l'arborescence neuronale, et par la réactivité dynamique des activations en fonction de l'activité.
 - L'information est partie du processus d'acquisition, mais est ensuite incorporée au système dynamique qu'est le cerveau

D'où une deuxième condition physicaliste sur les contenus mentaux

L'information est constituée par des indices
qui prédisent l'environnement

Un environnement ne peut donner lieu à un
apprentissage **que sous certaines
conditions de régularité**: la fréquence des
changements de l'environnement font en un
sens « partie de l'esprit » et le structurent.

Recapitulons

- Le d-fonctionnalisme propose une stratégie **d'explication réductive**: un processus mental , c'est-à-dire représentationnel, est toujours co-extensif avec, et identique à, un processus de contrôle adaptatif, lequel requiert une base physique appropriée.
- Le développement du cerveau sous la stimulation des besoins physiologiques programmés et de l'environnement élabore une architecture de contrôle hiérarchique.
- L'information joue un rôle structurant à tous les niveaux de cette architecture.



Merci de votre attention !

Publications et ppts:
<http://joelleproust.org.fr>



Appendices:
Objection du thermostat
Théorie de la viabilité



The "thermostat" objection

Adaptive control is a set of procedures that does not need to involve any kind of informational resources (Watt's governor)

It operates at a purely mechanistic level, by blindly reproducing what worked.

Variant: conditioning has nothing to do with intentionality.




The "thermostat" objection: Shorter answer

The brain is designed to predict its environment and its own ability.

Prediction requires more than on-line reproduction.

Prediction requires

- storing & integrating pieces of **information** relative to affordances and to effectors' condition,
- **off-line testing** of potential commands and associated feedback ("internal feedback").



Information constrains access to affordances

- Information is not what directly triggers neural pruning or growing; what **triggers** them is the differential production of neurotrophins (and other mechanisms resulting from dendrite activity).
- There must be, however, a coupling mechanism that licenses neurotrophing production:
 - Information is a **constraint** for optimal design of a device meant to be flexibly adaptive.
 - This constraint works as a **structuring**, not a triggering cause.

Viability theory

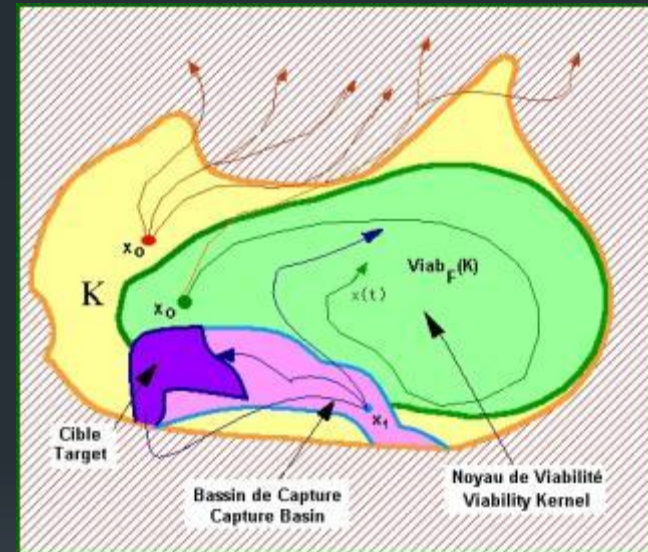
(Frankowska et al. 1990, Aubin, 2001, 2003)



- describes the mathematical structure of the dynamic couplings of two evolving systems (for example: an agent and his/her environment).
- uses an inverse approach: what is the regulation mapping that contains all the evolutions that lead to a desired goal ?

Viability theory (Frankowska et al. 1990, Aubin, 2001, 2003)

- = studies the regulation of complex evolutionary systems under uncertainty
- Takes control systems to be differential inclusions (differential equations with set-valued right-hand sides).





Viability theory: Basics

- Mental states are "regulons" ie controls.
- A system is evolving as a consequence of a non-deterministic engine + controls that are in its repertory.
- VT aims at predicting whether, given a non deterministic engine and specific constraints, there exists one or several viable evolutions for that system:
 - "the aim is to discover the feedbacks that associate a viable control to any state".

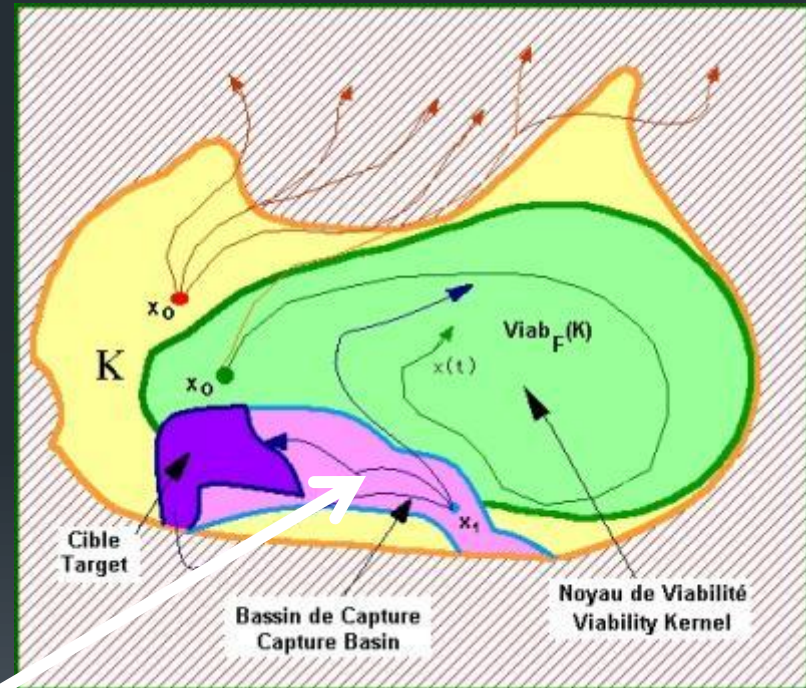


Viability theory: Basics

- When some of the evolutions are not viable (ie some fail to satisfy the constraints in a finite time), VT aims at determining the **viability core**.

Viability theory: Basics

- the **viability core** is the set of initial conditions from which starts at least one evolution such that either:
 - It remains in the constrained set for ever;or
 - It reaches the target in finite time before possibly violating the constraints.
- The set of initial states that satisfies only condition b is the viable-capture basin of the target.





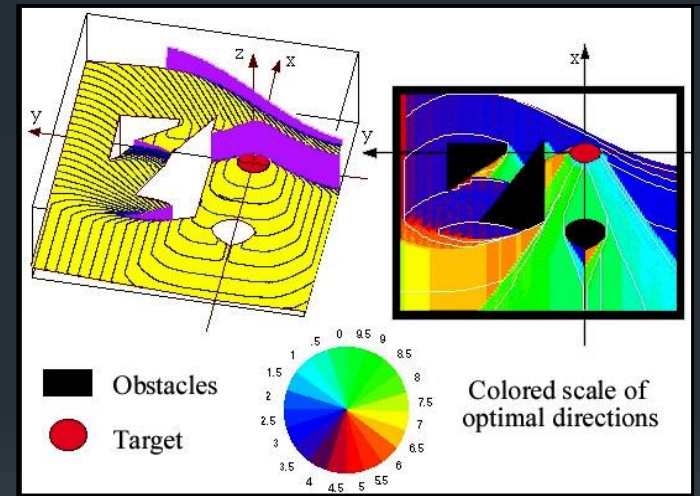
Viability theory

there are two forms of regularities that determine the way in which a given organism can interact with the environment in a controlled way.

- **regulation laws** determine which affordances/viability/capturability correlate with specific commands in specific environments.
- **feedback laws** determine what portion of the regulation space is accessible to an

Regulation laws

- Apply to the evolution of dynamic systems
- Determine regulation mappings between commands and relevant properties (viability and capturability)
- The respective sizes of the mappings measure robustness or resilience of viability for a system in an environment



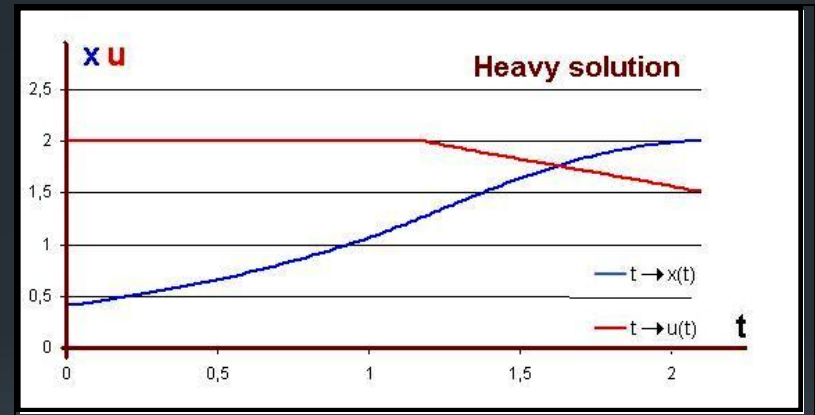


Regulation laws

- Can predict/describe viability crises and the kinds of transitions that can restore viability (impulsions applied to the state variables, changing velocities etc.)

Regulation laws: principles

- **Principle of inertia**
Controls evolve only when viability is at stake.
Most evolutions are governed by this principle: for example those that select the controls with the **smallest velocity** ("heavy solutions").





The principle of inertia

- Explains punctuated equilibrium: only when viability is at stake does selection affect speciation.
- Also explains resistance to change, habit formation and social conformism.



Feedback laws

- Inter alia, these laws describe **the objective hierarchy that is self-organizingly generated through control-coupling.**
- There are quite interesting observations on how developmental sequence is constrained, and how higher-order competences require feedback from lower-order ones.