

Modélisation des processus créatifs dans MENS : bases neuronales et dynamique

par

Andrée C. Ehresmann

Université de Picardie Jules Verne
ehres@u-picardie.fr
<http://ehres.pagesperso-orange.fr>
<http://vbm-ehr.pagesperso-orange.fr>

CADRE POUR ETUDIER LA CREATIVITE

'Création' donc changement

====> *Temps* (St Augustin).



Contexte où 'mesurer' ce qui a changé :

- configuration K_t de 'ce qui existe' en t ,
- mesure du changement entre t et t'

====> *Système Evolutif*.

Types de changements :

- Nouvel objet 'ab nihilo' ; disparition d'objets
- Objet 'plus complexe' par 'combinaison' d'objets existant

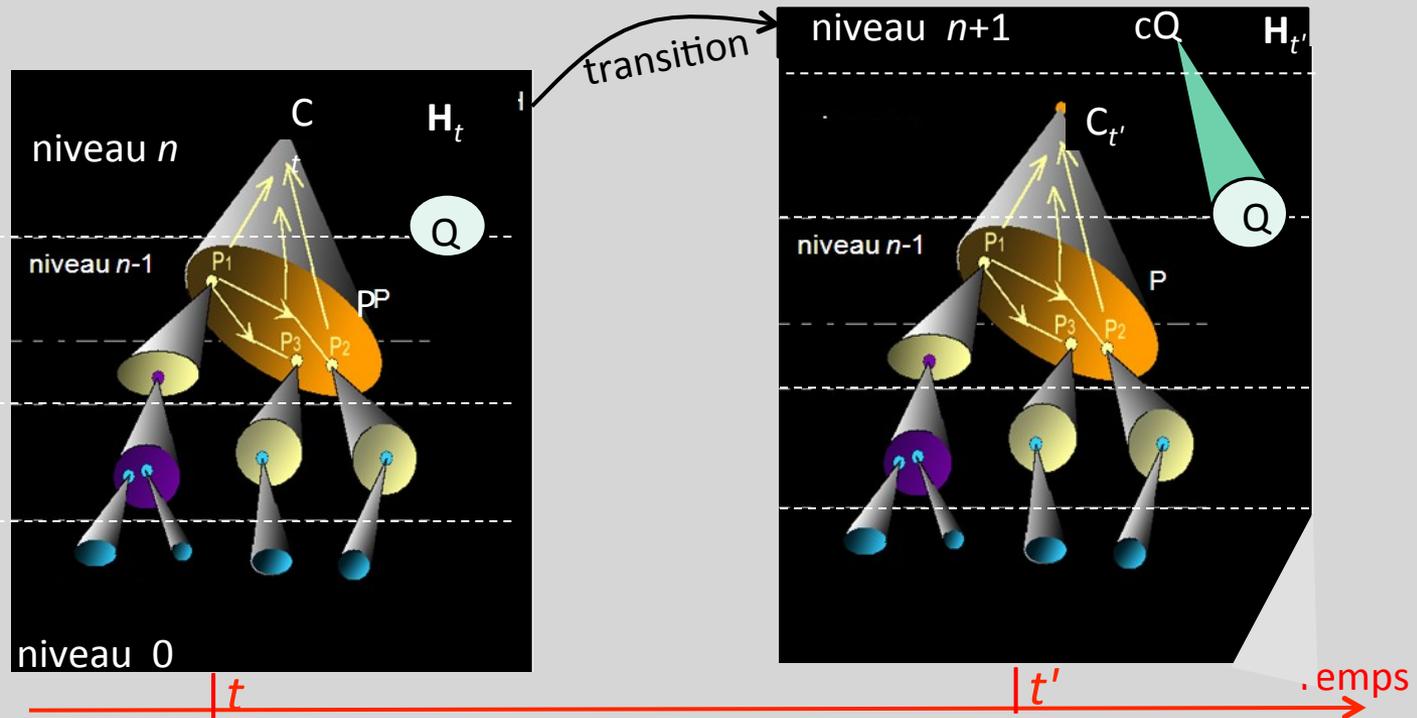
====> *Complexification*

Dynamique à la base du changement :

- Agents 'co-régulateurs' et leurs interactions
- Mémoire centrale flexible

====> *Système Evolutif à Mémoire avec Noyau Archétypal*
Rétrospection, Prospection, Complexification

SYSTÈME EVOLUTIF A MÉMOIRE



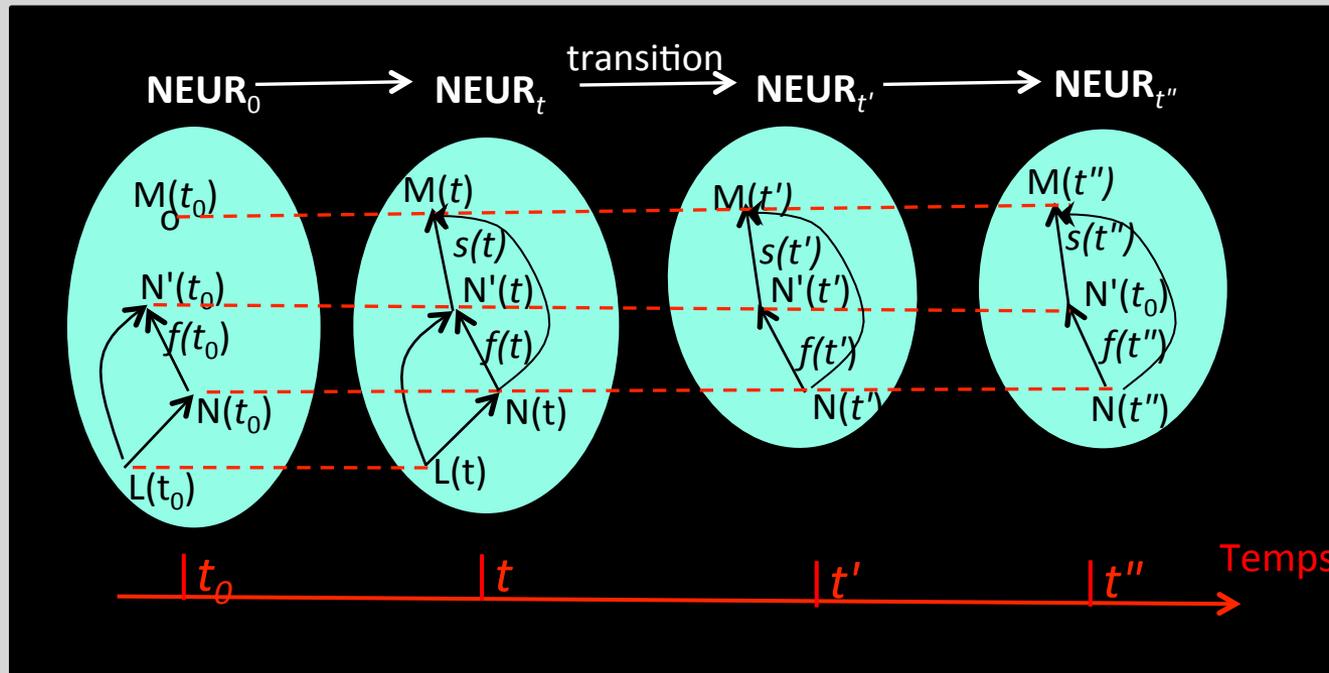
Modèle (EV 1987-2007) basé sur une *théorie des catégories* 'dynamique' :

(i) La configuration en t est une catégorie ayant une hiérarchie enchevêtrée. d'objets, chacun "recollant" = est (co)limite d'un pattern de niveaux inférieurs. Un lien a un *décal de propagation*, une *force* et peut être actif ou non en t .

(ii) Le foncteur partiel *transition* représente le changement entre t et t' . Il correspond à une *complexification*.

(iii) Auto-organisation par compétition entre un réseau de *co-régulateurs* locaux, avec des rythmes différents, développant une mémoire flexible.

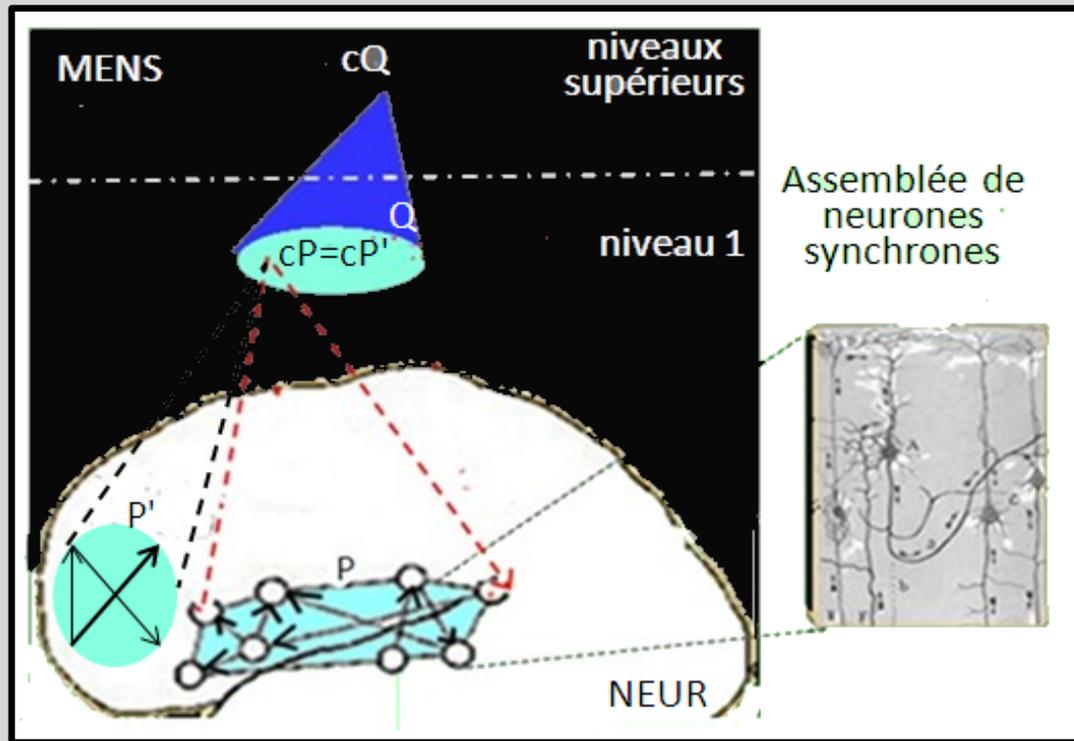
LE SYSTÈME EVOLUTIF NEUR



(i) $NEUR_t$ = catégorie des chemins du graphe des neurones en t : un objet est l'état $N(t)$ d'un neurone N existant en t (avec son activité en t) ; une flèche $f(t): N(t) \rightarrow N'(t)$ est un chemin synaptique f de N vers N' , avec son *délai de propagation* et sa *force*, qui varie selon la *règle de Hebb*.

(ii) Le changement de t à $t' > t$ est modélisé par un foncteur *transition* d'une sous-catégorie de $NEUR_t$ vers $NEUR_{t'}$. Il y a transitivité des transitions, d'où les *composants* sont les neurones.

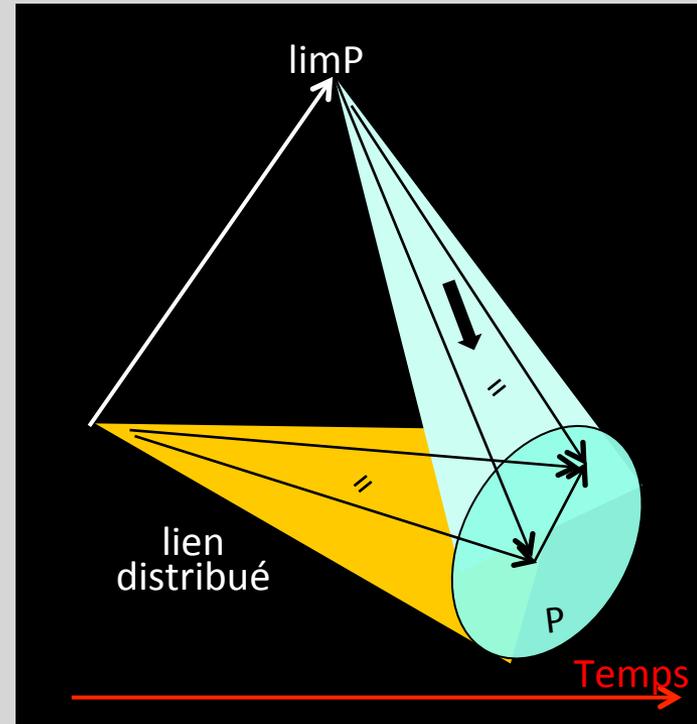
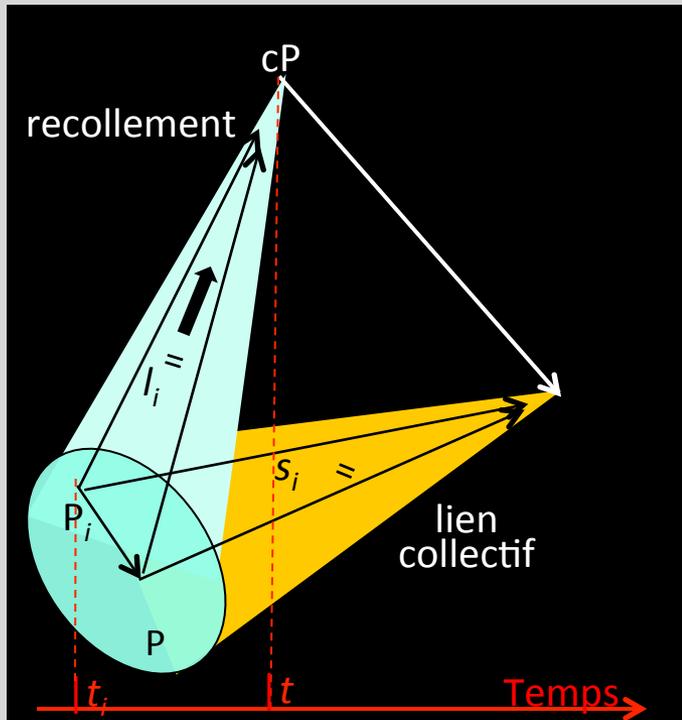
STRUCTURE GENERALE DE MENS



MENS est un SEM dont le niveau 0 est le système évolutif **NEUR** représentant le système neuronal 'physique'.

Les niveaux supérieurs sont obtenus par 'complexifications' itérées de **NEUR**. Leurs composants, appelés **cat(égorie)-neurones**, représentent des objets mentaux cP sous forme de (co)limite des différentes (super-)assemblées neuronales P qu'ils activent synchroniquement

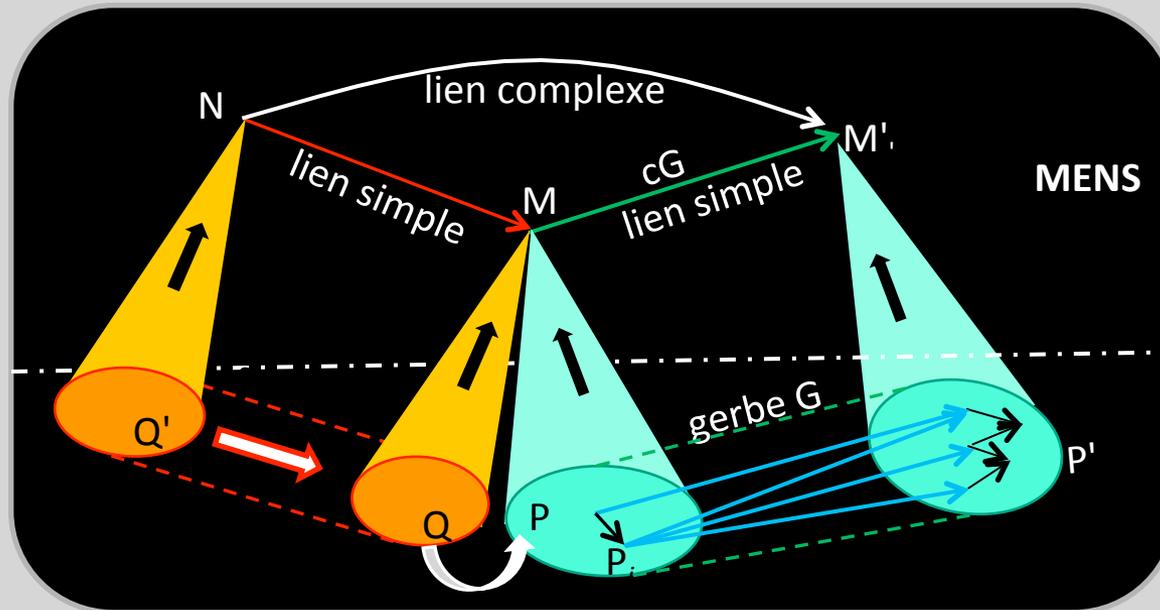
FORMATION D'OBJETS MENTAUX



Un objet mental activant synchroniquement un pattern P (= diagramme) dans **NEUR** est représenté dans **MENS** par un cat-neurone qui devient soit

1. la *colimite* cP de P ; elle est activée *après* tous les P_i et a le même rôle fonctionnel que P agissant collectivement (e.g., *empreinte* dans **Mem**) ;
2. la *limite projective* $limP$ de P ; elle "commande" P en activant tous les P_i .
E.g. : *procédure* (dans la mémoire **Proc**) commandant le pattern P de ses effecteurs ; *concept* (dans **Sem**) dont les instances ont P pour trace.

PRINCIPE DE MULTIPLICITE. LIENS COMPLEXES

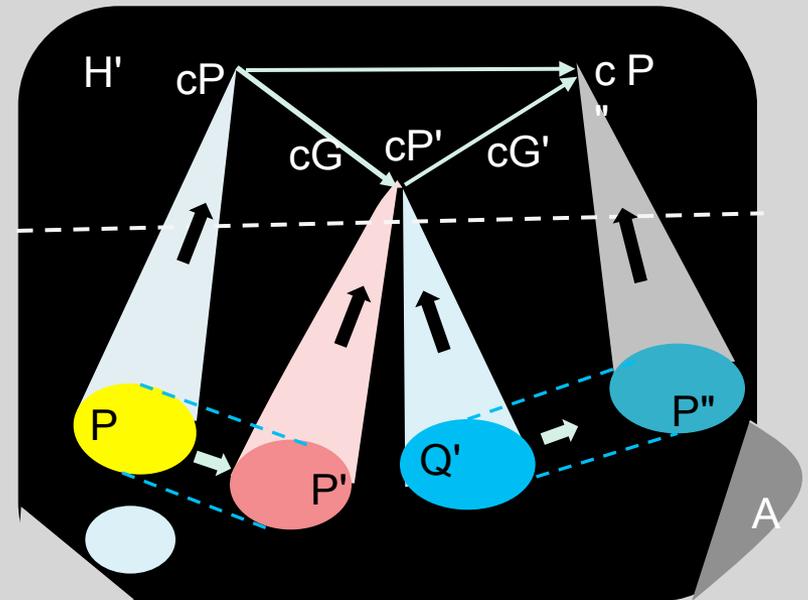
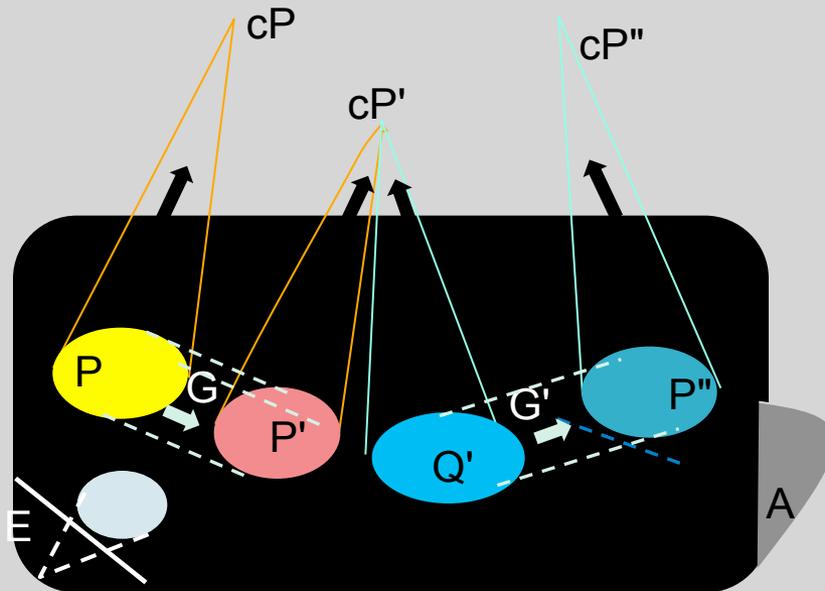


Un lien (P, P') -*simple* de M vers M' recolle une **gerbe** de liens entre décompositions P et P' de M et M' .

La dégénérescence entraîne le **Principe de Multiplicité** (MP) : il existe des cat-neurones, dits *multiformes*, M qui sont la colimite de 2 patterns P et Q non isomorphes et non connectés par une gerbe ; la possibilité de *balancement* entre P et Q donne de la flexibilité. La *n-entropie* de M est le nombre de ses décompositions de niveaux $\leq n$ non-connectées par une gerbe.

MP ==> Emergence dans **MENS** de *liens n-complexes* composant des liens n -simples recollant des gerbes non adjacentes.

COMPLEXIFICATION POUR UNE PROCEDURE

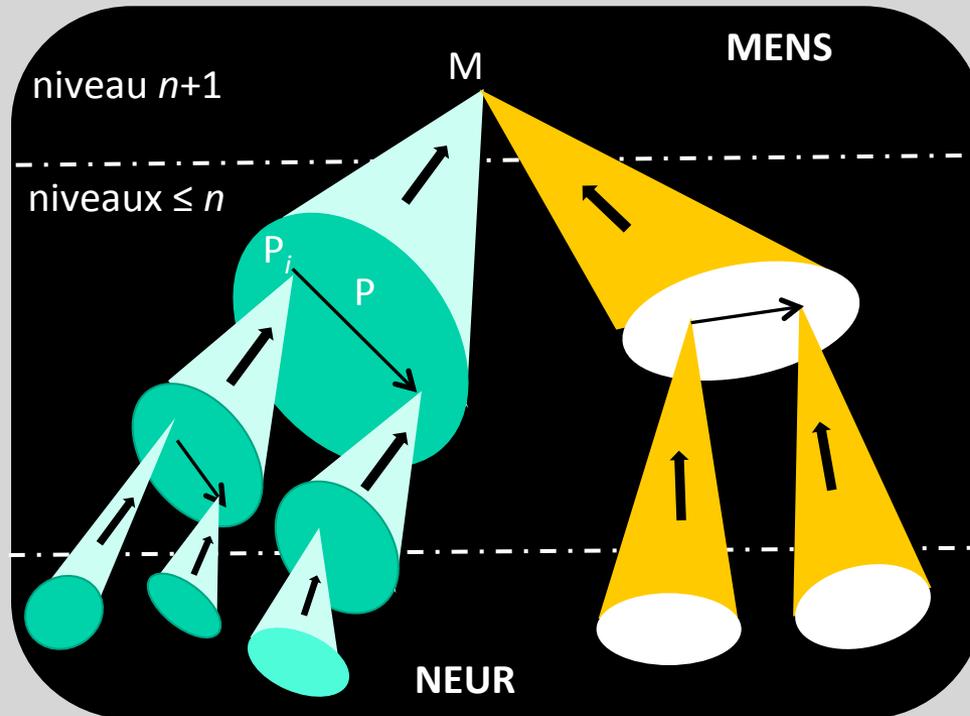


Une *procédure* Pr sur H est définie par un ensemble d'objectifs de la forme :

- Ensemble E d'éléments 'à éliminer',
- Graphe A 'à absorber'
- Cônes-colimite dans H 'à préserver'
- Patterns P sans colimite dans H 'à étendre en cônes colimite'
- (on choisit le sommet cP tel que $cP' = cQ'$ si P' et Q' sont homologues).
- Patterns Q 'à transformer en cônes limite'.

La *complexification* H' de H pour Pr est une catégorie solution du problème universel de réaliser ces objectifs. Elle est construite explicitement (en tant que prototype associé à une esquisse, A. & C. Ehresmann, 1972) .

ORDRE DE COMPLEXITE THEOREME D'EMERGENCE

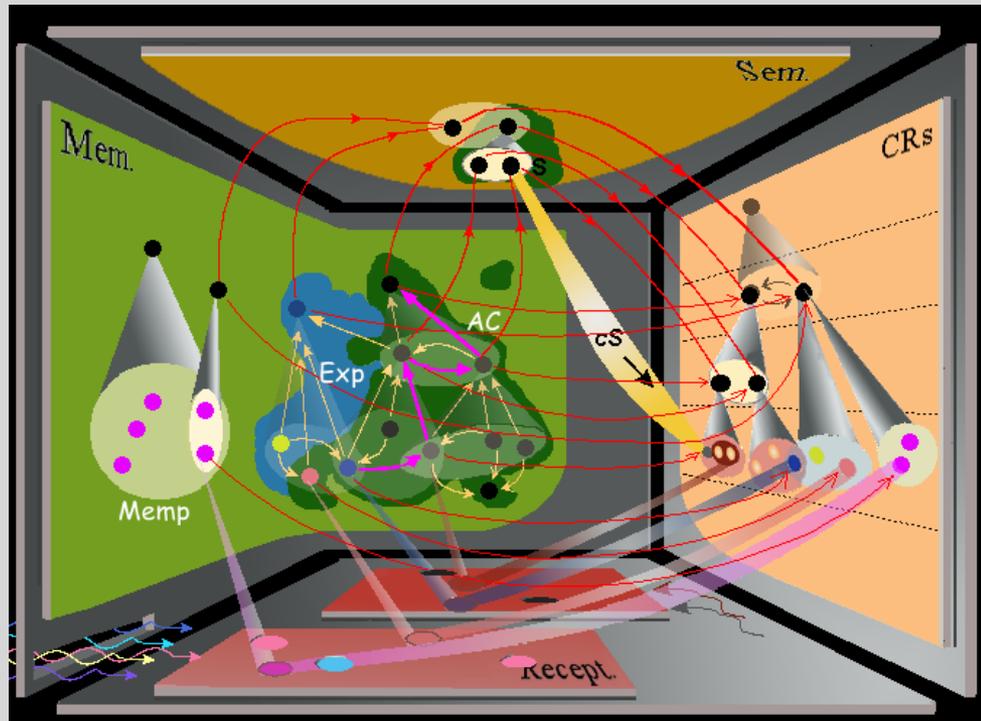


Activation de M = déroulement d'une ramification aboutissant à **NEUR** par activation d'une décomposition P de niveaux <, puis de décompositions des P_i et ainsi de suite jusqu'à des assemblées neuronales. A chaque pas, plusieurs choix, de durées différentes.

==> *Ordre de complexité de M = plus petite longueur d'une ramification.*

THEOREME D'EMERGENCE. *MP est nécessaire pour l'existence d'objets d'ordre de complexité > 1. Il permet l'émergence, via complexifications successives, de cat-neurones d'ordre croissant.*

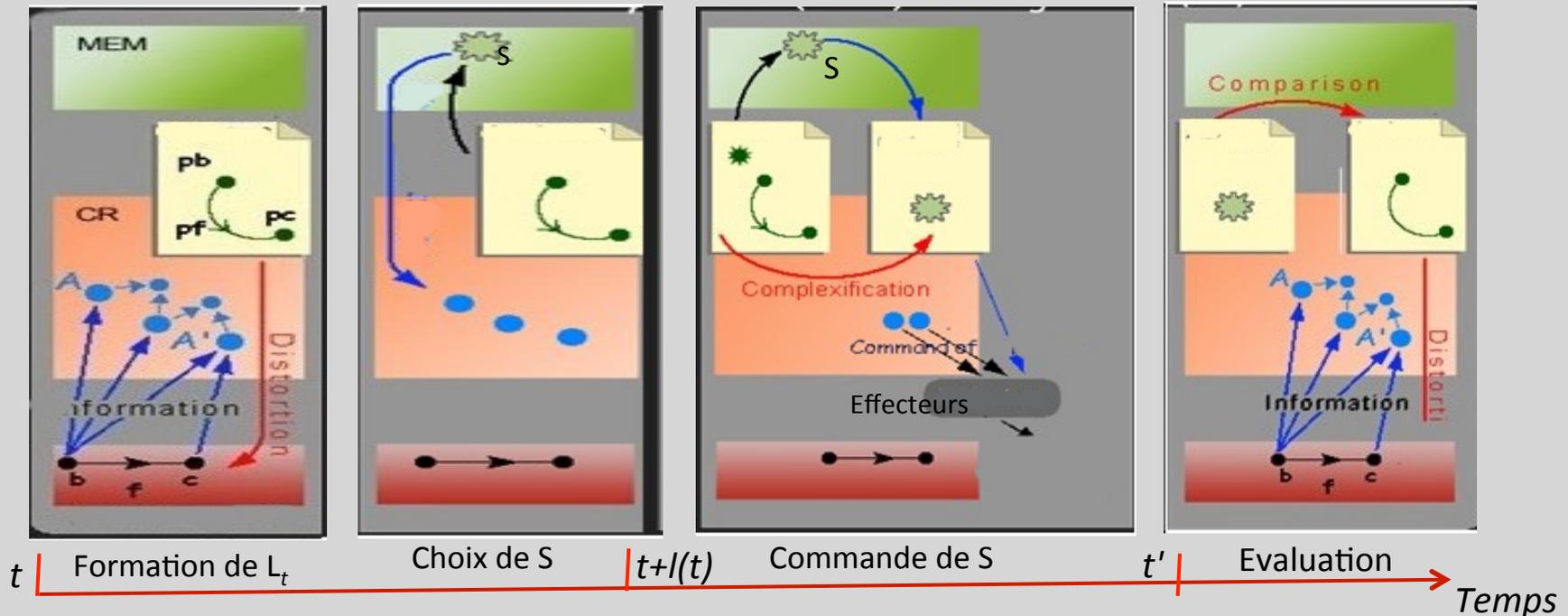
COREGULATEURS ET MEMOIRE



MENS est *auto-organisé* : la dynamique est modulée par les interactions entre un réseau de sous-systèmes évolutifs spécialisés, les *Co-régulateurs*, basés sur des modules fonctionnels du cerveau. Chacun opère à son rythme

Il se développe une mémoire flexible **Mem**. Elle a un sous-système la *Mémoire Procédurale* dont les cat-neurones, ou *procédures*, ont des liens qui commandent des effecteurs. Il se développe aussi une *Mémoire Sémantique* **Sem** formée de *concepts* classifiant les cat-neurones de **Mem**.

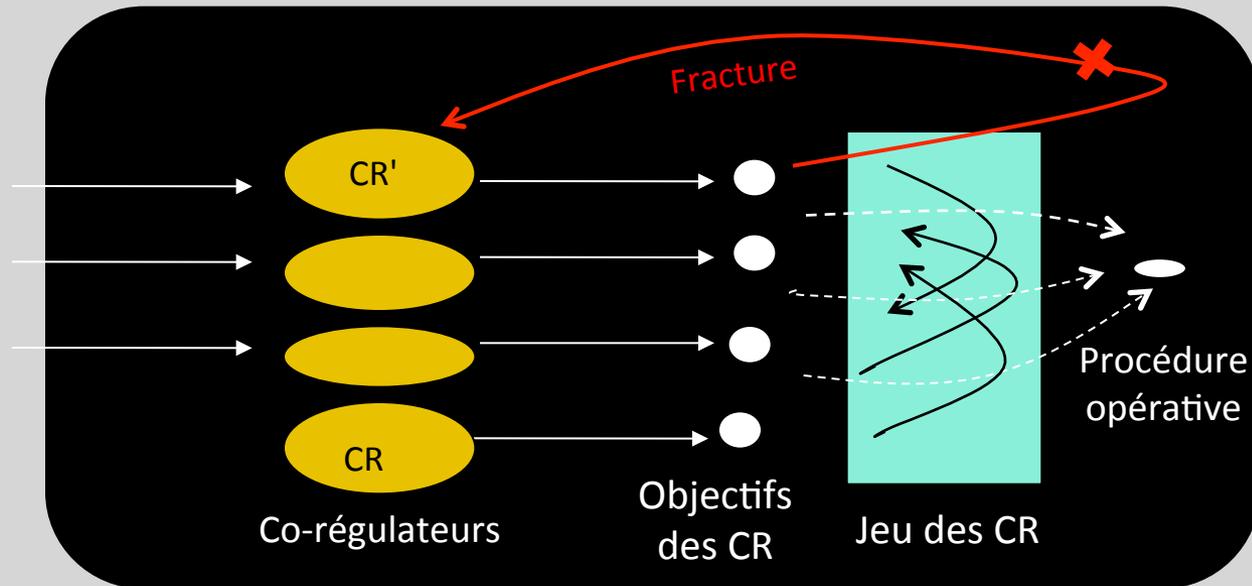
UNE ETAPE D'UN CO-REGULATEUR CR



L'étape de t à t' se divise en phases imbriquées :

- (i) Formation du paysage L_t
- (ii) Choix d'une procédure admissible S pour répondre, e.g. via un lien activateur de S . Paysage anticipé AL = complexification de L_t relativement à S .
- (iii) Envoi des commandes de S aux effecteurs \implies processus dynamique s'étendant de t à la fin t' de l'étape (calculable via EDP ou MGS)
- (iv) Evaluation et mémorisation du résultat en t'
 \implies *Fracture* si les objectifs de S ne sont pas atteints.

LE JEU ENTRE LES COREGULATEURS

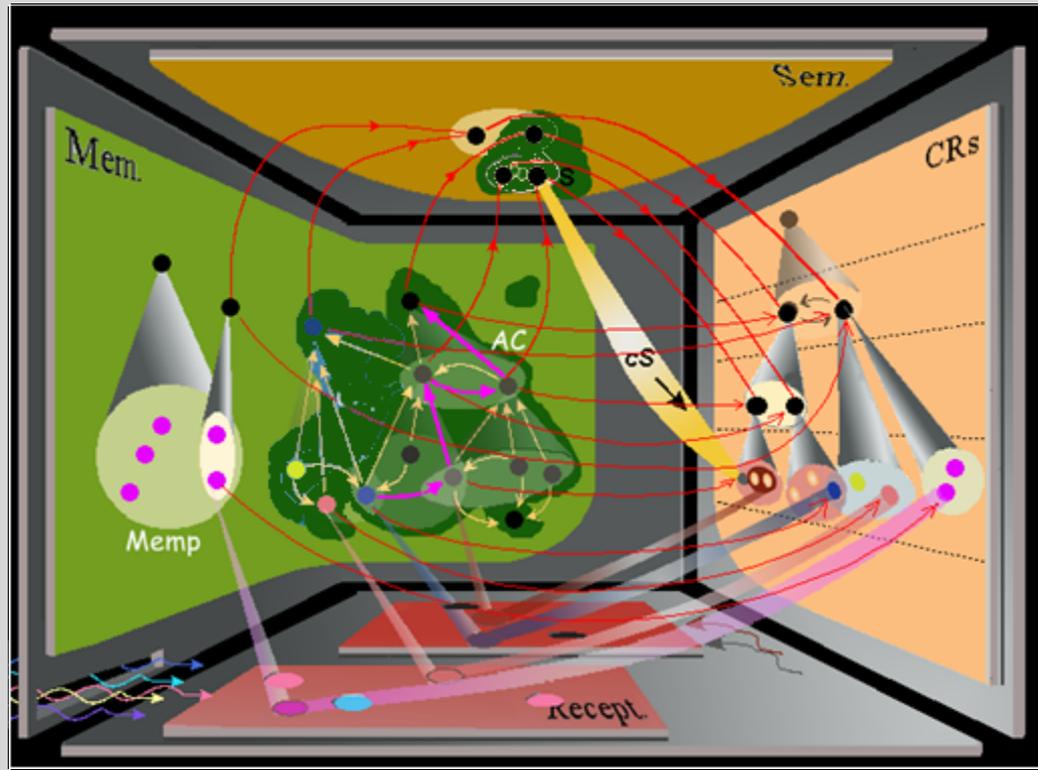


Les commandes envoyées par les différents co-régulateurs en t peuvent ne pas être cohérentes, chacun ayant son propre rythme et sa logique.

La procédure globale résulte d'un processus flexible d'équilibration, le ***jeu entre les Co-régulateurs***, utilisant la possibilité de balancement entre décompositions. Le problème de sa computabilité est ouvert. Il peut négliger les objectifs de certains co-régulateurs $CR' \implies$ fracture pour CR' .

Ce jeu doit respecter les contraintes temporelles ("*lois de synchronicité*") des co-régulateurs.

LE NOYAU ARCHETYPAL

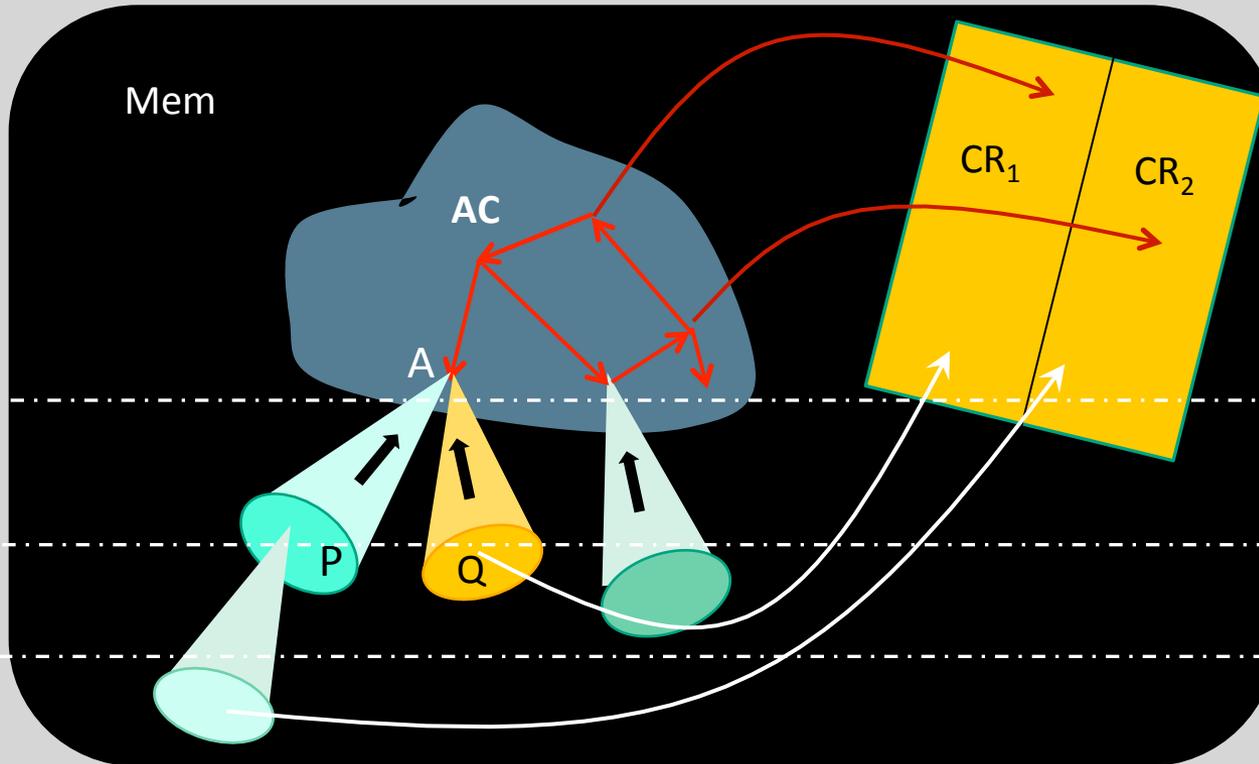


MP permet le développement progressif du **Noyau Archetypal AC**.

AC = sous-système de **Mem** formé de cat-neurones d'ordres supérieurs basés sur le noyau structural, intégrant des mémoires significatives de toutes modalités, avec nombreuses ramifications. Leurs liens rapides et forts (via Hebb) forment des *boucles archétypales* s'auto-entretenant.

AC agit comme un *modèle interne flexible*, personnifiant le 'Self'.

CO-REGULATEURS INTENTIONNELS. PAYSAGE GLOBAL

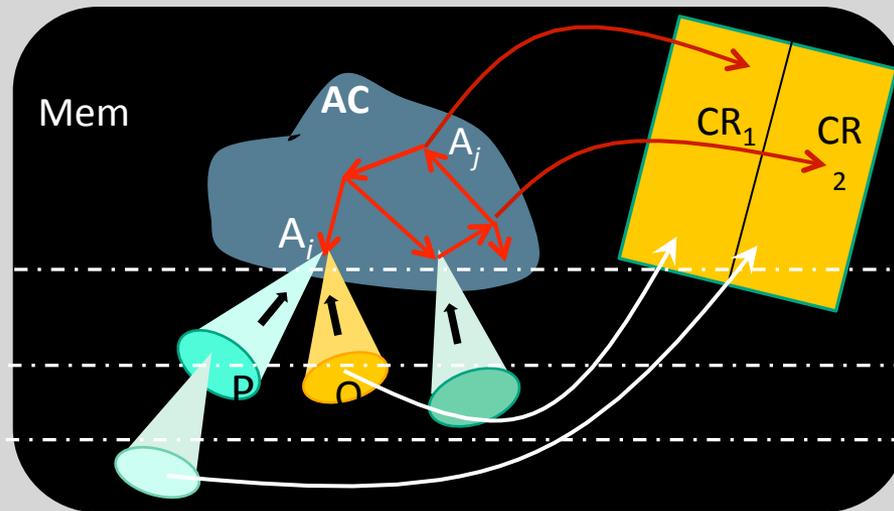
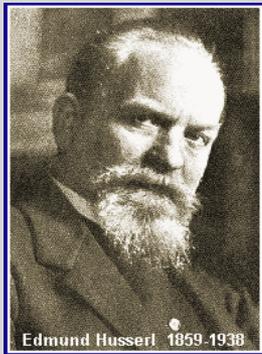


Co-régulateur Intentionnel = CR supérieur lié à **AC**, basé sur le cortex associatif.

L'activation d'une partie de **AC** se diffuse via des boucles archétypes auto-entretenués et se propage aux niveaux inférieurs.

Retransmise à des co-régulateurs intentionnels, il se forme un *paysage global* **GL** unissant et étendant leurs paysages et de plus longue durée. Ces paysages globaux **GL** 'glissent' dans le temps en se chevauchant.

TEMPORALITE DANS UN PAYSAGE GLOBAL

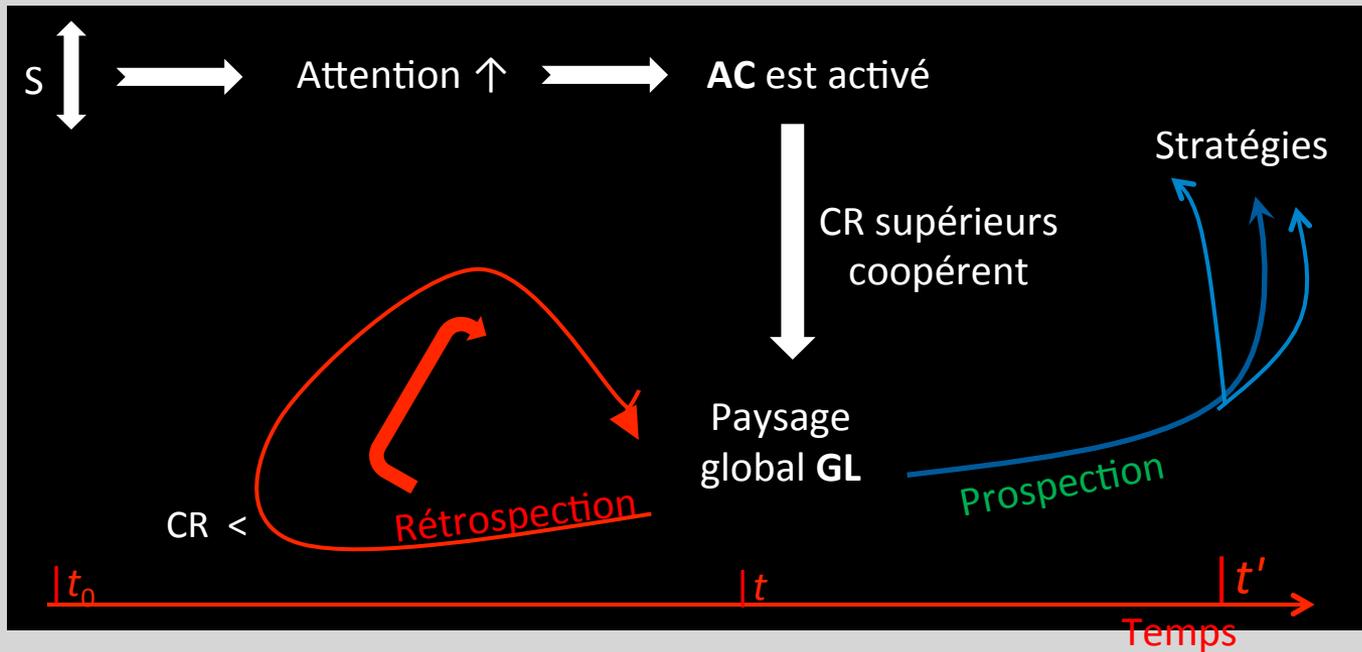


Le paysage global **GL** formé en t contient des perspectives des A_i activés dans **AC**. Si A_i est activé en t , il a une ramification qui a été activée avant t , et on peut en retrouver des perspectives dans **GL** issues de temps antérieurs à t et de niveaux $<$ à A_i , d'où *rétrospection* vers des niveaux inférieurs du passé.

L'activation des A_i étant maintenue via les boucles archétypales, elle maintient aussi l'activation de ramifications et leurs perspectives dans **GL** le 'projetent' vers le futur, d'où possibilité de *prospéction* de procédures adéquates.

Ces processus étendent à **GL** les notions de *rétenion* et *protention* décrites par **Husserl** : " Il y a dans le présent une *rétenion* du passé $<...>$ et une *protention* du futur (de ce qui va immédiatement arriver). "

PROCESSUS CONSCIENTS CREATIFS



Un stimulus inattendu S en t_0 augmente l'attention, ce qui active AC
==> formation d'un paysage global **GL** à long terme, où se déroule une suite itérée de *processus conscients* intégrant la dimension temporelle :

1. **Rétrospection** : analyse de la situation via le rappel du passé proche contenu dans **GL** pour "faire sens" de S . (Cp. "exploration" de Boden)

2. **Prospection** : recherche de 'stratégies' à long terme par construction à partir de **GL** de paysages 'virtuels' obtenus par complexification(s) pour des (suites de) procédures choisies sur les sous-systèmes de **GL**, ce qui permet de les évaluer.

PROCESSUS CREATIF : METHODE RPC

1. Il débute par un stimulus S qui augmente l'attention ==> formation d'un *paysage global* **GL** contenant des perspectives s des éléments rattachés à S. Par *rétrospection*, on retrouve certaines de leurs ramifications activées dans le passé récent, avec possibilité de balancement vers d'autres.

Cp. Mazzola : identification du "concept critique" et de ses "murs".

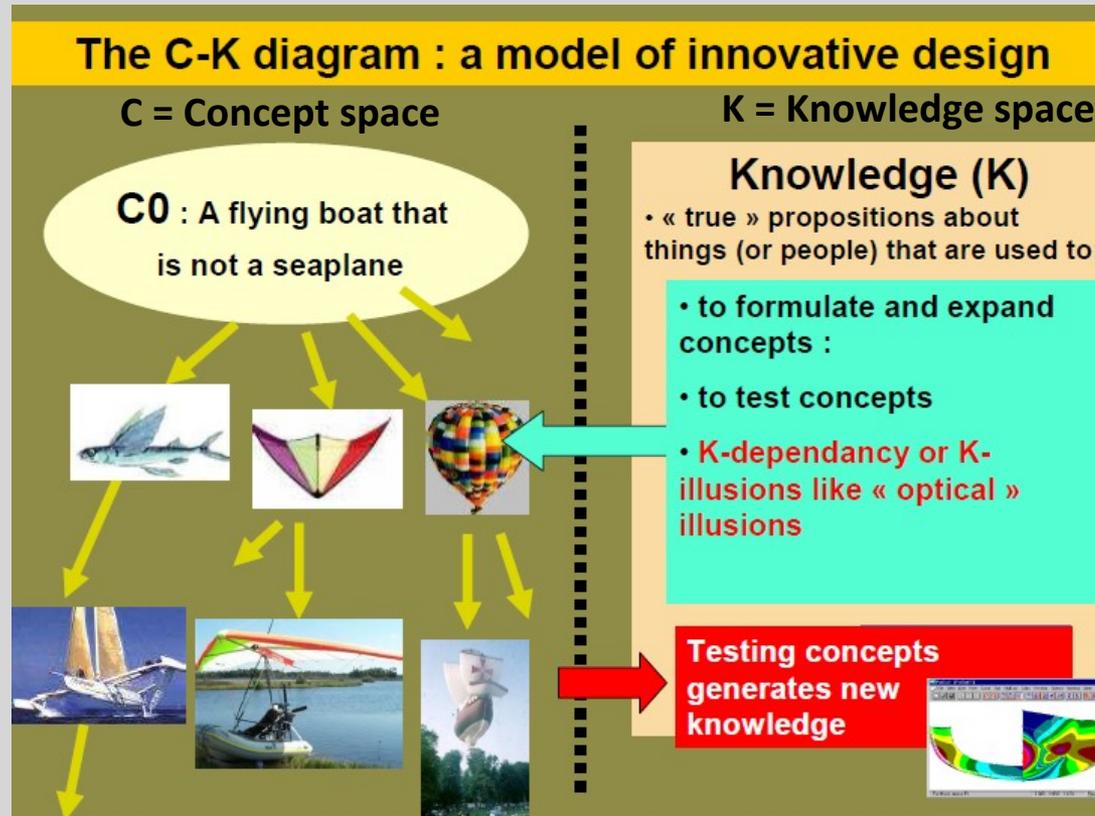
2. Une *prospection* se développe dans **GL** : Une procédure Pr est choisie sur (un sous-système de) **GL** pour ajouter, supprimer ou/et combiner des patterns. La *complexification* pour Pr est un 'paysage virtuel' V permettant d'évaluer Pr. Exemples : "extension des murs" pour Mazzola, "créativité compositionnelle" de Boden, "*conceptual blending*" de Fauconnier et Turner où le 'blend' est obtenu par push-out.

Si une nouvelle procédure Pr' est choisie sur V, sa complexification est un paysage virtuel V' non directement déductible de **GL** (car MP ==> une suite de complexifications n'est pas réductible à une seule), donnant un exemple de "créativité transformationnelle" de Boden.

3. Le processus

formation d'un paysage global / rétrospection / prospection / évaluation
est itéré.

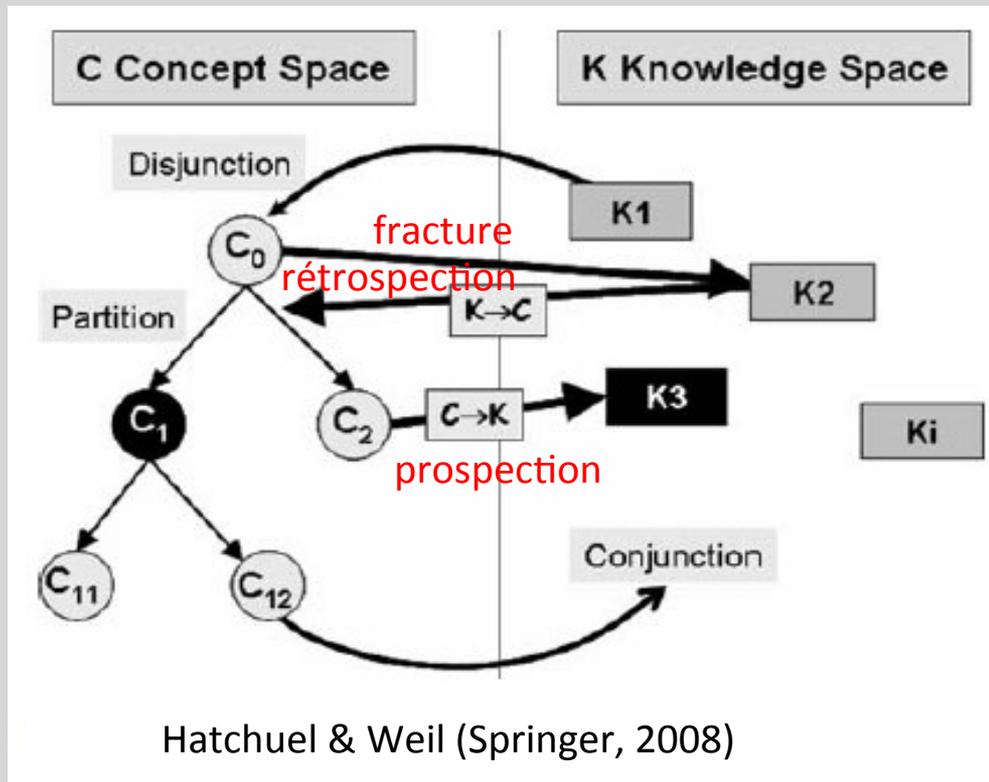
CONCEPT-KNOWLEDGE THEORY (extrait de Hatchuel & Weil, 2003)



C est formé de 'concepts' partiellement inconnus et indécidables dans l'état des connaissances, qui est représenté par **K**. La *conception* est définie comme un mode de raisonnement par extension duale de **C** et **K**.

Un concept C_0 de départ est spécifié par ajouts successifs d'attributs nouveaux en utilisant **K**, jusqu'à obtention d'une « définition » satisfaisante, qui, testée dans **K**, permettra d'étendre **K**. Le temps n'intervient pas

C-K THEORIE PAR ITERATION DE RETRO-PROSPECTIONS



K_1 correspond à l'état de **Mem** à l'instant t_1 où C_0 est donné. C_0 cause une fracture qui augmente l'attention et, via **AC**, conduit à la formation d'un paysage global **GL**. Une 'partition' (C_1, C_2) de C_0 est obtenue par rétrospection. Par prospection, une procédure Pr_1 est choisie, et le complexifié conduit à une extension de **K**. Le processus est itéré en partant de C_1 . Pour nous, les temps jouent un rôle essentiel.

COMPARAISON

Mazzola	C-K Théorie	RPC Méthode
Question ouverte	Concept indécidable C_0	Evènement S causant une fracture
Définir le contexte	Déterminer K	Formation du paysage global GL
Concept critique	Recherche d'attributs de C_0 dans K	Perspective pS de S dans GL
Murs du concept	Partitions restrictives de C_0 dans C	Analyser/décomposer pS par rétrospection
Extensions des murs	Nouvel objet de K via partitions expansives	Complexification pour une procédure obtenue par prospection
Evaluation et itération du processus		

RPC METHODE ET SES MESURES

La méthode de créativité :

Rétrospection, Prospection, Complexification

peut être développée dans un SEM vérifiant les conditions suivantes :

1. *Principe de multiplicité* qui permet l'émergence de composants d'ordre de complexité élevé

==> 1^{ère} mesure = *ordre de complexité* des composants.

2. Composants avec de *nombreuses ramifications*, ce qui donne la flexibilité de choix multiples via balancements entre elles

==> 2^e mesure = *n-entropie des composants*.

3. Existence d'un *noyau archétypal* central, de type "rich club", formé de composants d'ordre supérieur, fortement reliés, avec interactions nombreuses entre leurs ramifications

==> 3^e mesure = *ordres de connectivité et de centralité* de ce noyau.

CONCLUSION : RPC METHODE

La créativité nécessite MP et repose sur 3 processus :
Rétrospection, Prospection, Co mplexification

==>

3 mesures :
ordre de complexité
'entropie'
ordre de connectivité/centralité

MERCI