

MENS: des neurones aux processus mentaux supérieurs : conscience, anticipation, créativité

par

Andrée C. Ehresmann et John Mandereau

(Travail en collaboration avec Jean-Paul Vanbremeersch)

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

A LA BASE DU MODELE MENS



En 1949 Hebb (1904-1985) introduit la notion d'une *assemblée de neurones 'synchrone'* : "Any frequently repeated, particular stimulation will lead to the slow development of a "cell-assembly" [...] capable of acting briefly as a close system"

et il donne la **règle de Hebb** de plasticité synaptique :

"When an axon of cell A is near enough to excite B and repeatedly or persistently takes part in firing it [...] A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased. "

A LA BASE DU MODELE MENS



En 1949 Hebb (1904-1985) introduit la notion d'une *assemblée de neurones 'synchrone'* : "Any frequently repeated, particular stimulation will lead to the slow development of a "cell-assembly" [...] capable of acting briefly as a close system"

et il donne la **règle de Hebb** de plasticité synaptique : "When an axon of cell A is near enough to excite B and repeatedly or persistently takes part in firing it [...] A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased. "

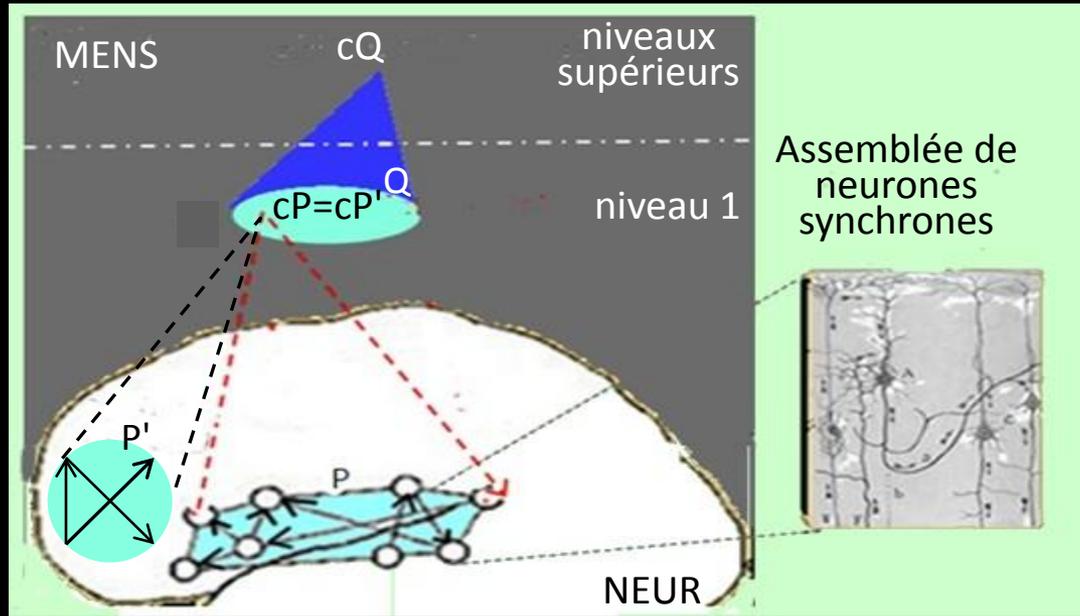
Edelman (1929-) met en évidence ce qu'il appelle la **dégénérescence du code neuronal** :

"More than one combination of neuronal groups can yield a particular output, and a given single group can participate in more than one kind of signaling function. ..."

(The remembered present, 1989, p. 50)



STRUCTURE GENERALE DE MENS



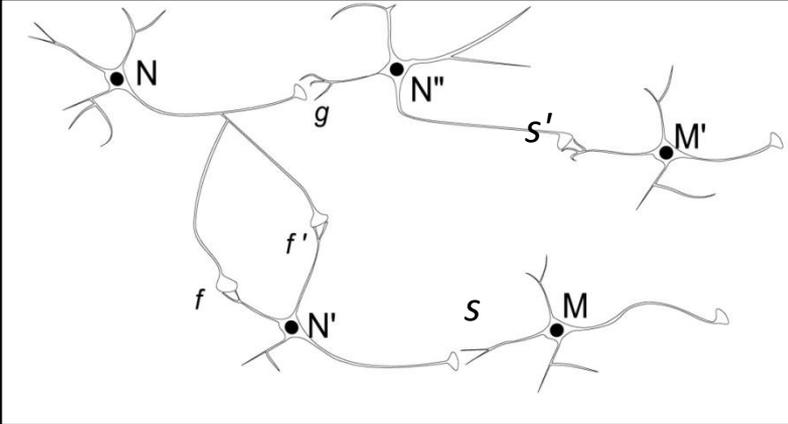
MENS est un Système Evolutif à Mémoire avec:

Au niveau 0 : le système évolutif **NEUR** représentant le système neuronal 'physique'.

Aux niveaux supérieurs : des composants 'conceptuels' appelés *cat(égorie)-neurones*, représentant des objets mentaux cP sous forme des différentes (super-)assemblées neuronales P plus ou moins complexes qu'ils activent synchroniquement.

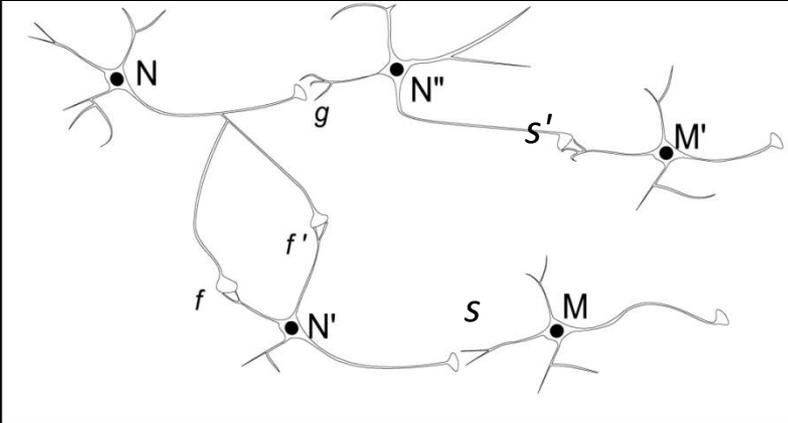
Ce modèle pour un système neuro-cognitif est obtenu par complexifications mixtes itérées de **NEUR** : le mental est "neurally embodied".

SYSTEME EVOLUTIF DES NEURONES



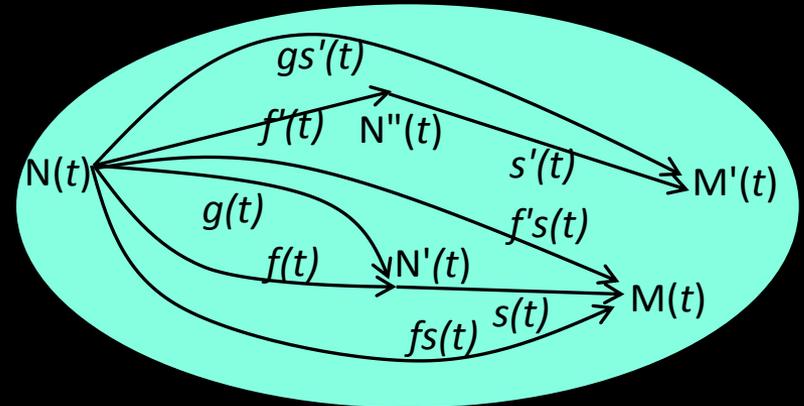
Grphe des neurones $NEUR_t$ en t : Objets = états $N(t)$ des neurones N , avec leur activité $n(t)$ an t . Flèche $f(t)$ = synapse de N vers N' , pondérée par son *délai de propagation* $d(t)$ autour de t et sa force $w(t)$. Cette force varie en suivant la *règle de Hebb*. En t , une synapse peut être active ou non.

SYSTEME EVOLUTIF DES NEURONES

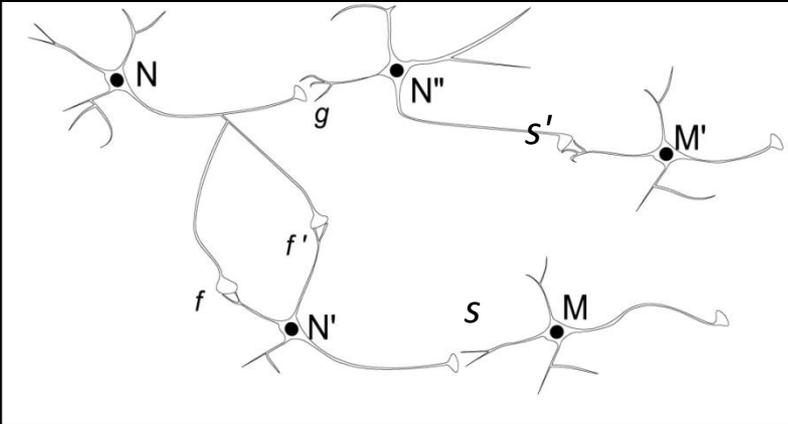


Grphe des neurones $NEUR_t$ en t : Objets = états $N(t)$ des neurones N , avec leur activité $n(t)$ an t . Flèche $f(t)$ = synapse de N vers N' , pondérée par son *délag de propagation* $d(t)$ autour de t et sa force $w(t)$. Cette force varie en suivant la *règle de Hebb*. En t , une synapse peut être active ou non.

La **catégorie des neurones en t** , notée $NEUR_t$, est la catégorie des chemins de ce graphe, où la composition est donnée par la convolution. Elle est pondérée, le délai de propagation d'un chemin étant la somme des délais de ses facteurs.

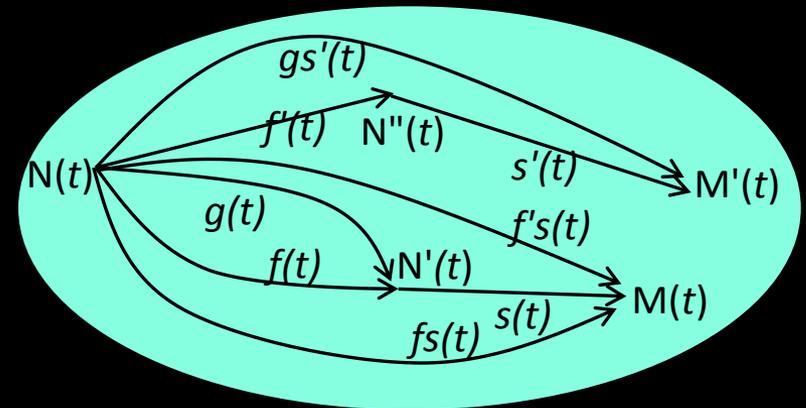


SYSTEME EVOLUTIF DES NEURONES



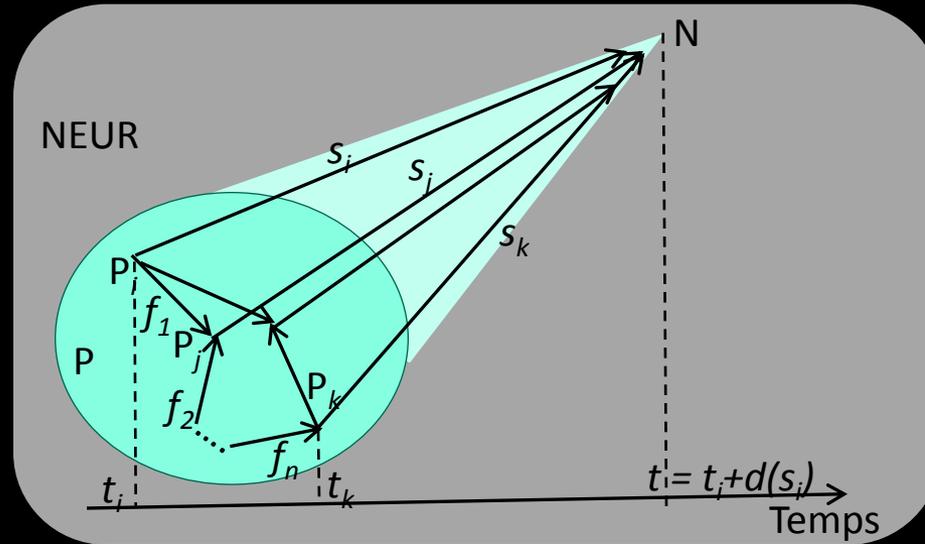
Grphe des neurones $NEUR_t$ en t : Objets = états $N(t)$ des neurones N , avec leur activité $n(t)$ an t . Flèche $f(t)$ = synapse de N vers N' , pondérée par son *délag de propagation* $d(t)$ autour de t et sa force $w(t)$. Cette force varie en suivant la *règle de Hebb*. En t , une synapse peut être active ou non.

La **catégorie des neurones en t** , notée $NEUR_t$, est la catégorie des chemins de ce graphe, où la composition est donnée par la convolution. Elle est pondérée, le délai de propagation d'un chemin étant la somme des délais de ses facteurs.



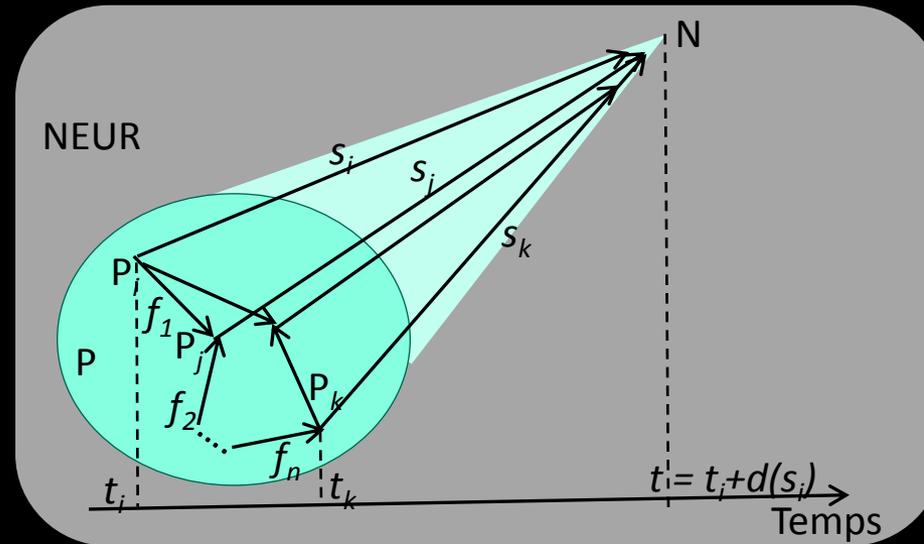
Le **Système Evolutif des Neurones NEUR** admet $NEUR_t$ pour catégorie configuration en t et les transitions relient les états successifs d'un neurone. **MENS** s'en déduira par complexifications mixtes itérées.

PATTERN POLYCHROME



Une assemblée de neurones est modélisée par un *pattern* P dans **NEUR**. Elle transmet 'synchroniquement' son activation à un (cat-)neurone N s'il existe un lien collectif (s_i) de P vers N . Les égalités $s_i = f_1 s_j$ entraînent : (Z) tout zig-zag $z = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ de liens distingués de P_i vers P_k a le même délai de propagation $d(z) = d(f_1) + \dots + d(f_n)$.

PATTERN POLYCHROME

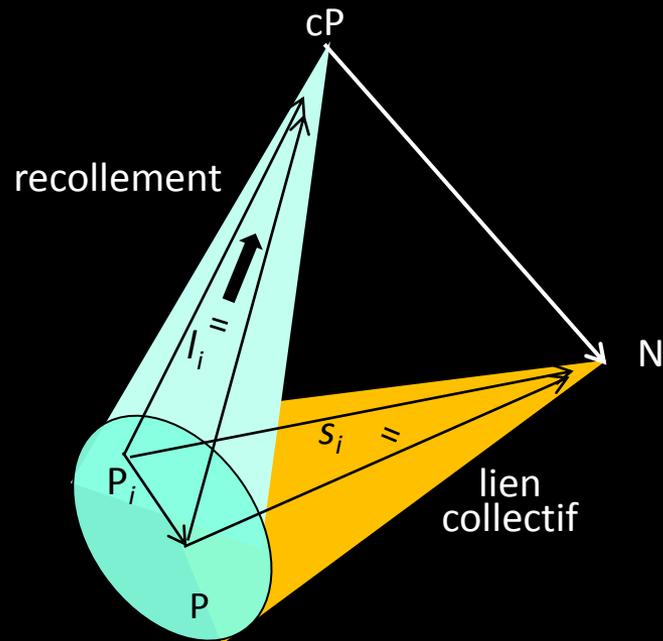


Une assemblée de neurones est modélisée par un *pattern* P dans **NEUR**. Elle transmet 'synchroniquement' son activation à un (cat-)neurone N s'il existe un lien collectif (s_i) de P vers N. Les égalités $s_i = f_1 s_j$ entraînent : (Z) tout zig-zag $z = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ de liens distingués de P_i vers P_k a le même délai de propagation $d(z) = d(f_1) - d(f_2) + \dots + d(f_n)$.

Un pattern P vérifiant (Z) est dit *polychrome*, en accord avec Izhikevich (2006) qui montre que les patterns activés par des objets mentaux sont de ce type :

" Whenever neurons [...] do fire with the spike-timing pattern determined by the connectivity and delays, we say that the group is activated and the corresponding neurons polychronize. [...] polychronous groups could represent memories "

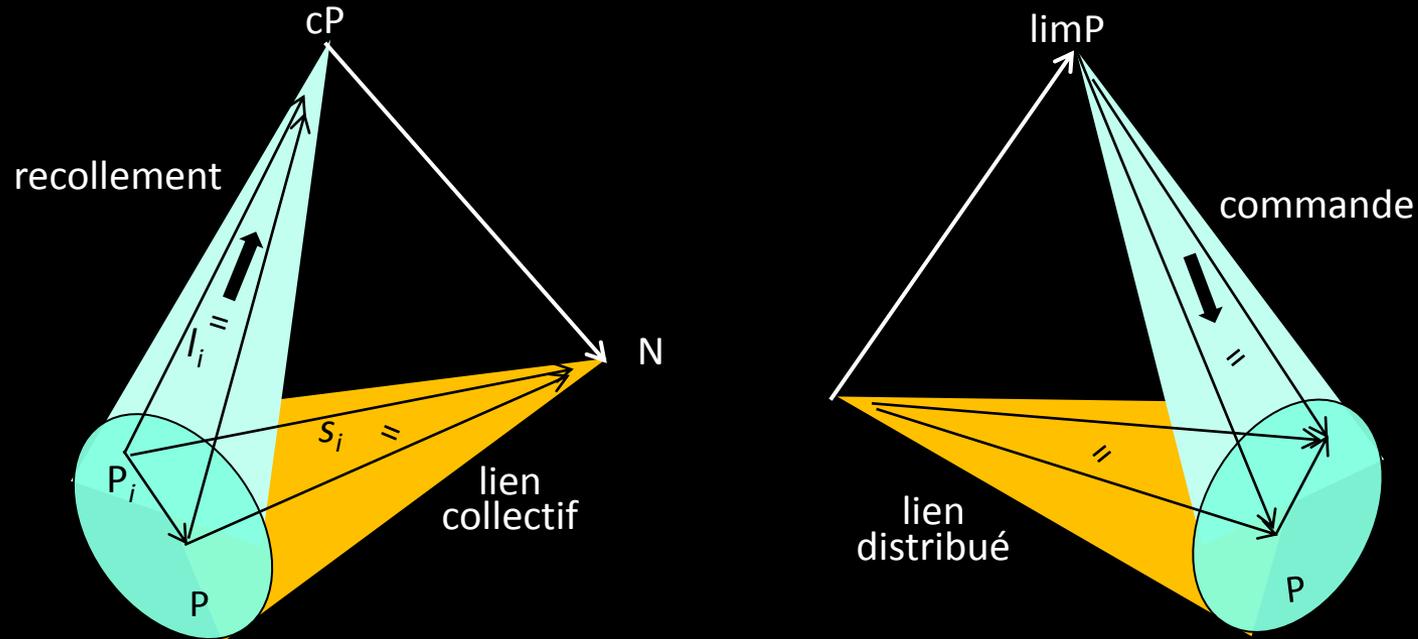
FORMATION D'OBJETS MENTAUX



Un objet mental activant synchroniquement un pattern polychrone P sera représenté dans **MENS** par un cat-neurone obtenu d'une des façons différentes :

1. par adjonction d'une *colimite* cP "recollant" P ; son activation nécessite celle préalable de tous les P_i, et cP a le même rôle fonctionnel que P agissant collectivement (e.g., empreinte dans **Mem**).

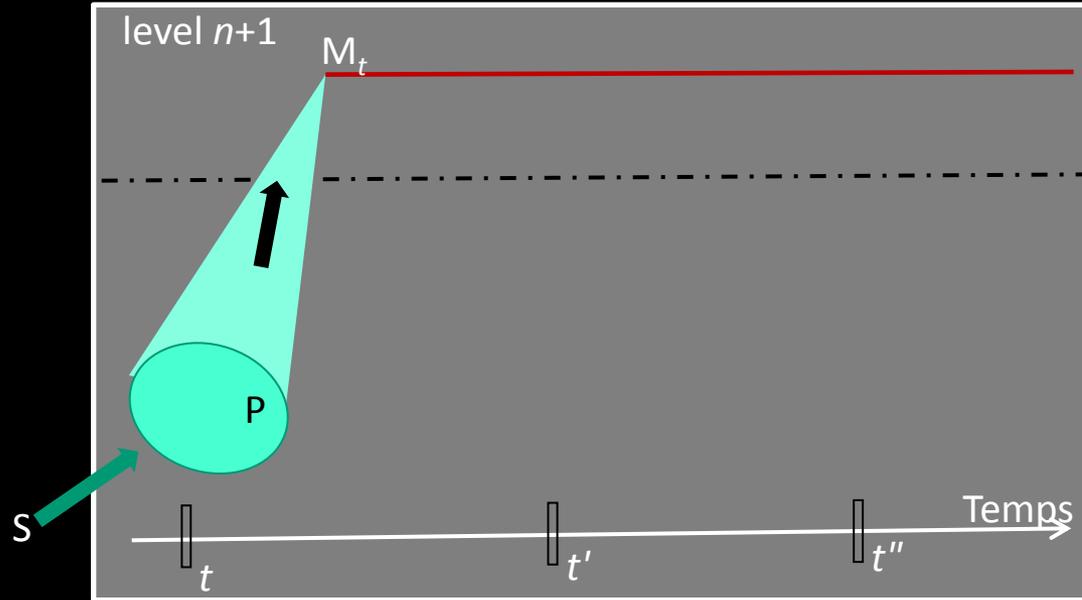
FORMATION D'OBJETS MENTAUX



Un objet mental activant synchroniquement un pattern polychrone P sera représenté dans **MENS** par un cat-neurone obtenu d'une des façons différentes :

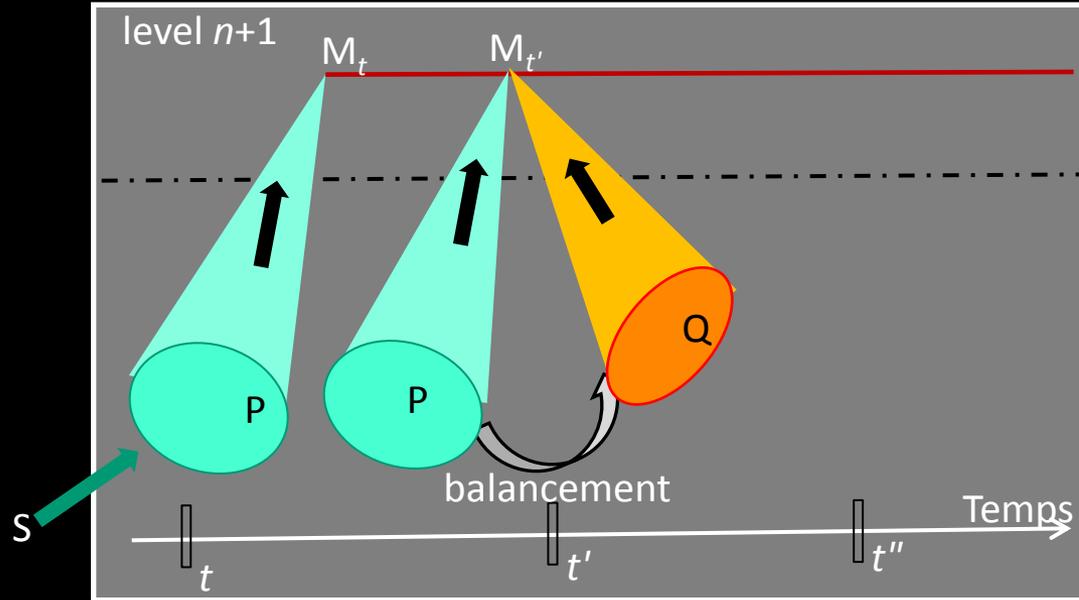
1. par adjonction d'une *colimite* cP "recollant" P ; son activation nécessite celle préalable de tous les P_i , et cP a le même rôle fonctionnel que P agissant collectivement (e.g., empreinte dans **Mem**).
2. par adjonction d'une *limite projective* $limP$ "commandant" P dont elle active tous les P_i ; par exemple : procédure (dans la mémoire **Proc**) ayant P pour pattern de ses effecteurs ; concept (dans **Sem**) dont les instances ont P pour trace.

FORMATION D'UNE EMPREINTE DANS Mem



Un stimulus simple S active un pattern polychrone P . Si S se répète ou persiste, les liens distingués de P se renforcent (règle de Hebb), et il se forme un cat-neurone M qui devient la colimite M de P dans **MENS** (via une complexification).

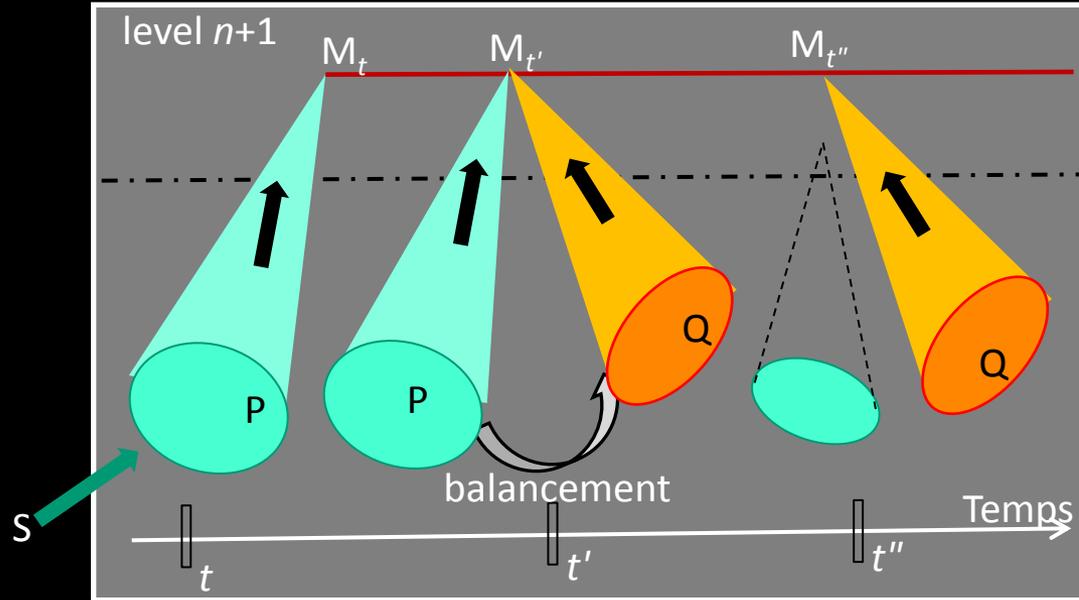
FORMATION D'UNE EMPREINTE DANS Mem



Un stimulus simple S active un pattern polychrone P . Si S se répète ou persiste, les liens distingués de P se renforcent (règle de Hebb), et il se forme un cat-neurone M qui devient la colimite M de P dans **MENS** (via une complexification).

La dégénérescence du code neuronal implique que S peut aussi activer d'autres patterns polychrones Q . Le cat-neurone M mémoire de S est la colimite de chacun d'eux. Il prend donc sa propre identité en tant qu'**objet multiforme**, et **MENS** satisfait le Principe de Multiplicité MP.

FORMATION D'UNE EMPREINTE DANS Mem



Un stimulus simple S active un pattern polychrone P. Si S se répète ou persiste, les liens distingués de P se renforcent (règle de Hebb), et il se forme un cat-neurone M qui devient la colimite M de P dans **MENS** (via une complexification).

La dégénérescence du code neuronal implique que S peut aussi activer d'autres patterns polychrones Q. Le cat-neurone M mémoire de S est la colimite de chacun d'eux. Il prend donc sa propre identité en tant qu'**objet multiforme**, et **MENS** satisfait le Principe de Multiplicité MP.

M peut se dissocier de P au cours du temps pour s'adapter aux changements

==> *Mémoire robuste, flexible et plastique.*

EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

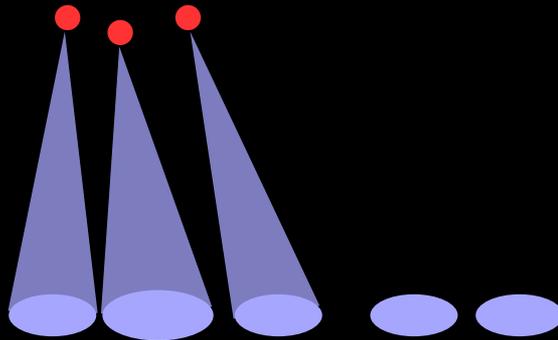
t_1 Écoute d'une œuvre musicale en concert

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores 

EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

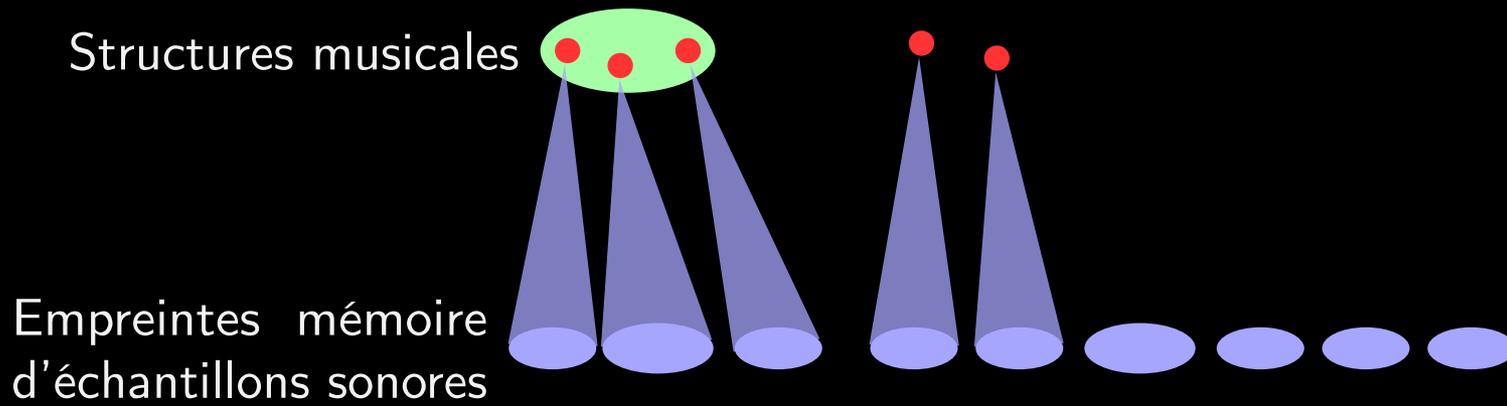
t_2 Écoute d'une œuvre musicale en concert

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



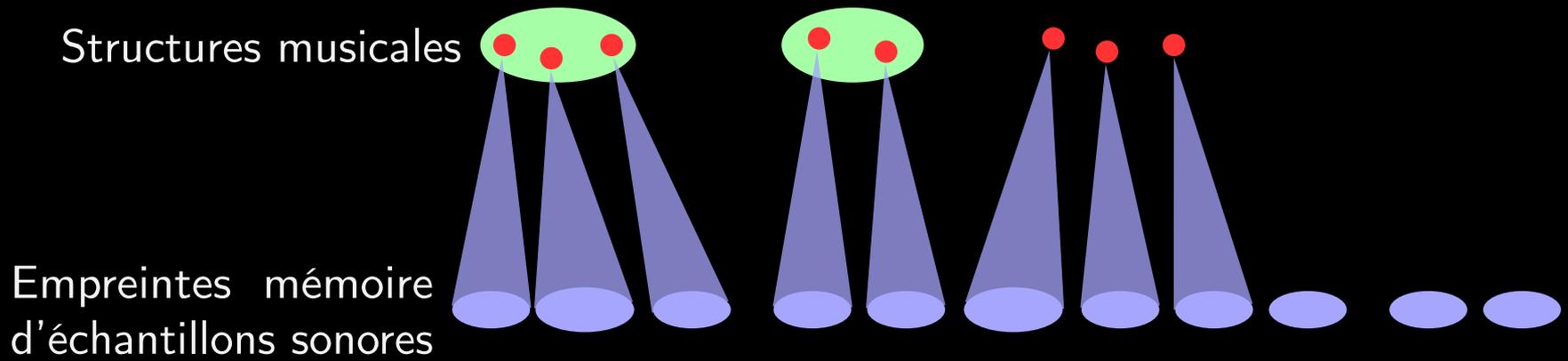
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_3 Écoute d'une œuvre musicale en concert



EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_4 Écoute d'une œuvre musicale en concert



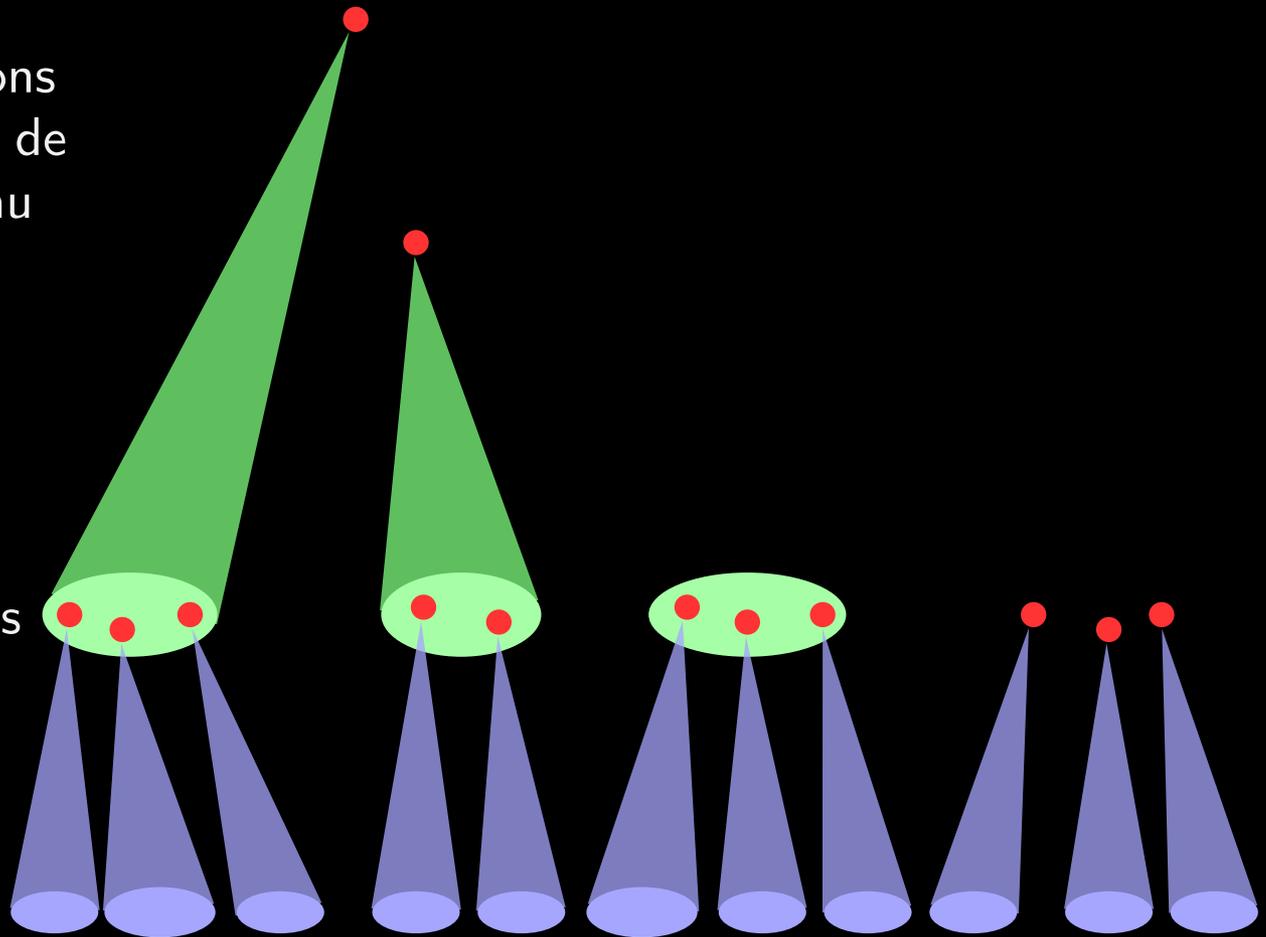
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_5 Écoute d'une œuvre musicale en concert

Informations
musicales de
haut niveau

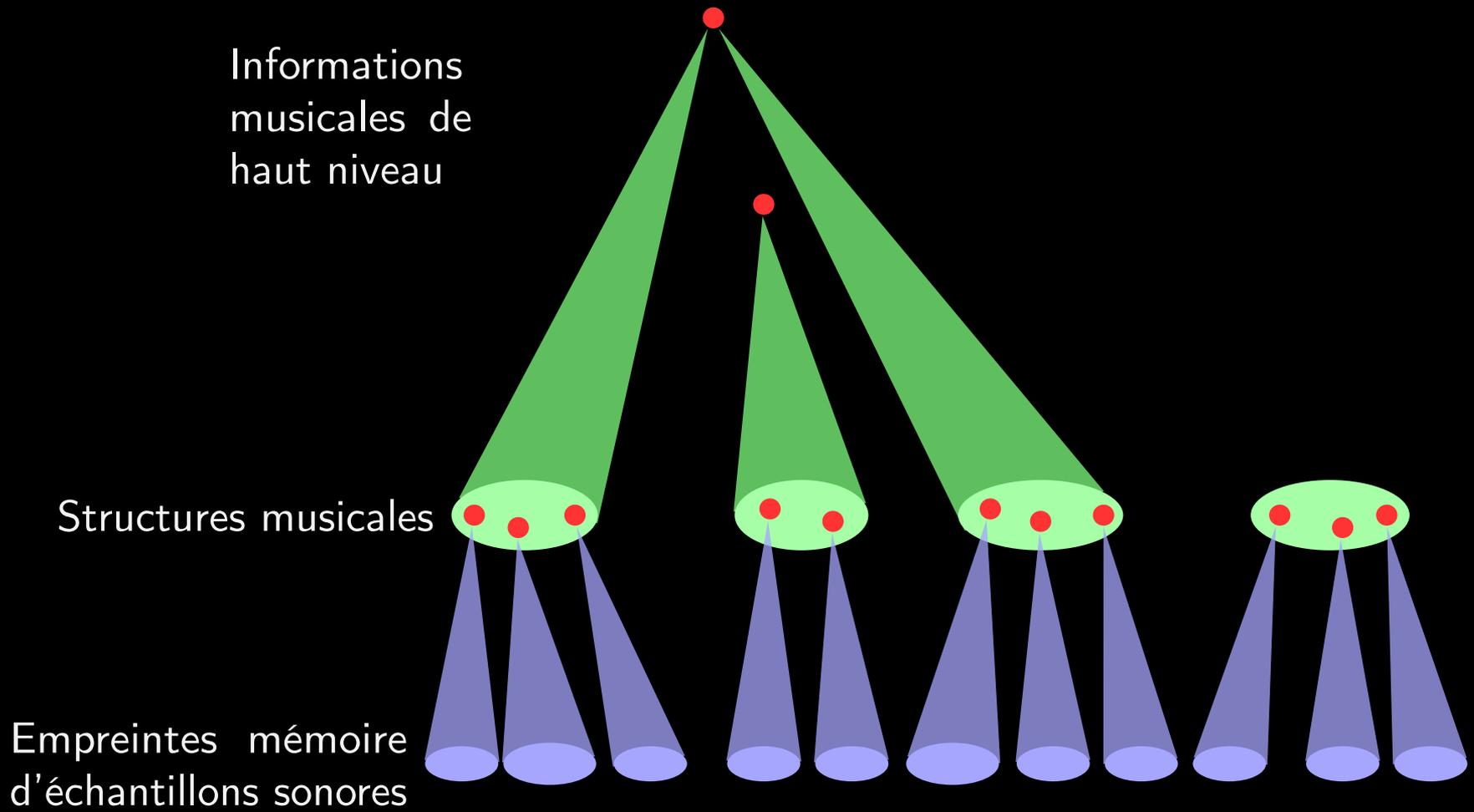
Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_6 Écoute d'une œuvre musicale en concert



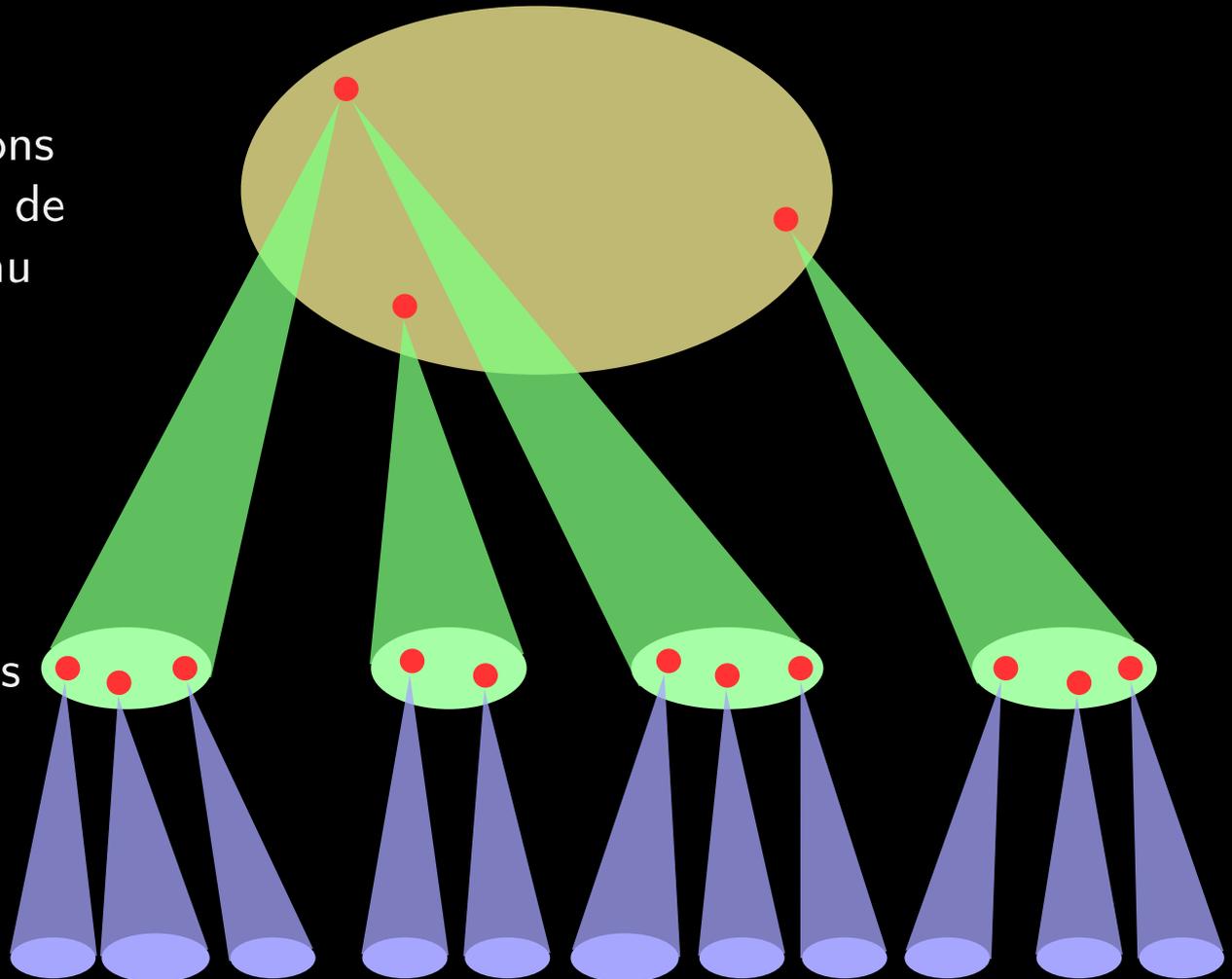
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_7 Écoute d'une œuvre musicale en concert

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



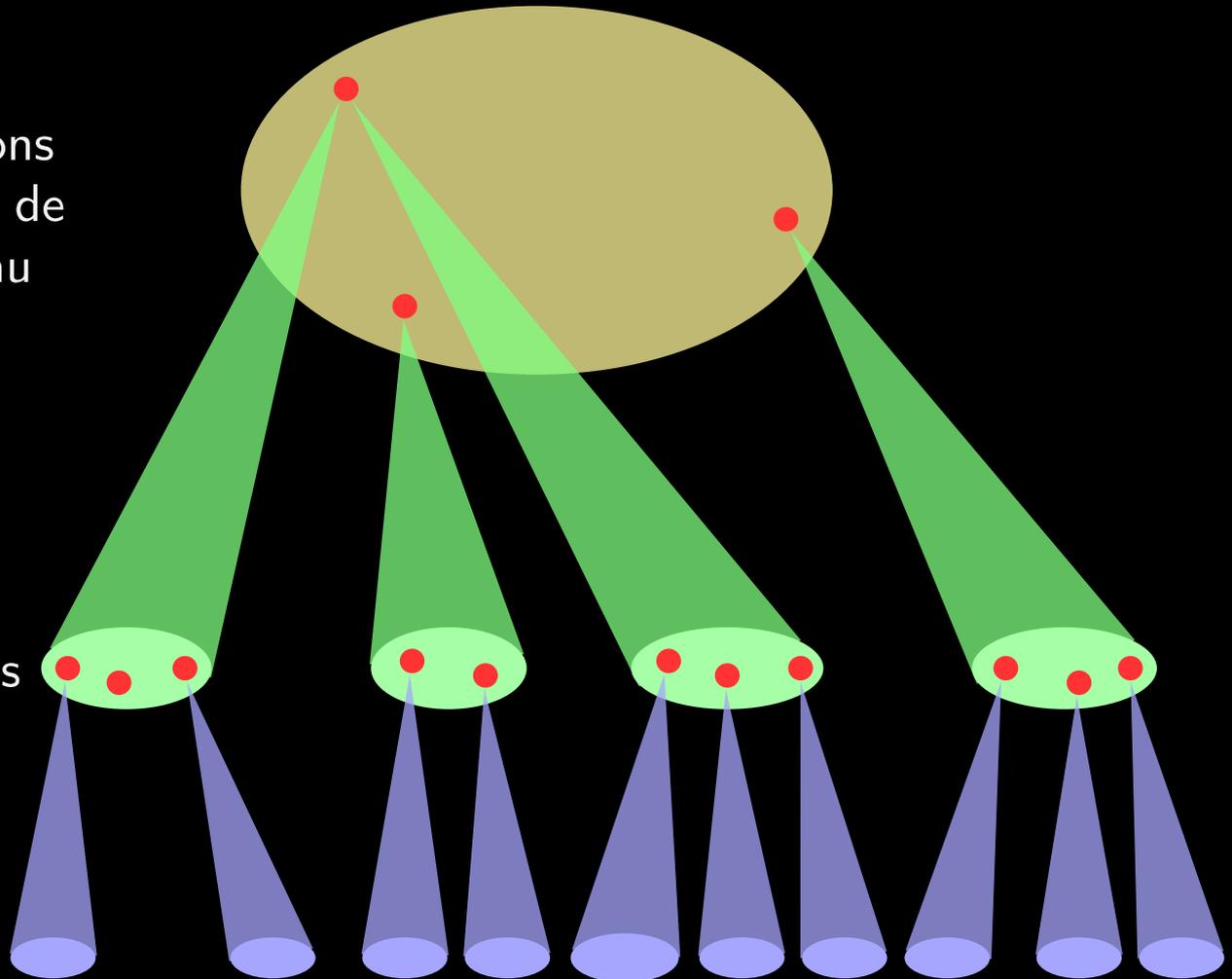
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_8

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



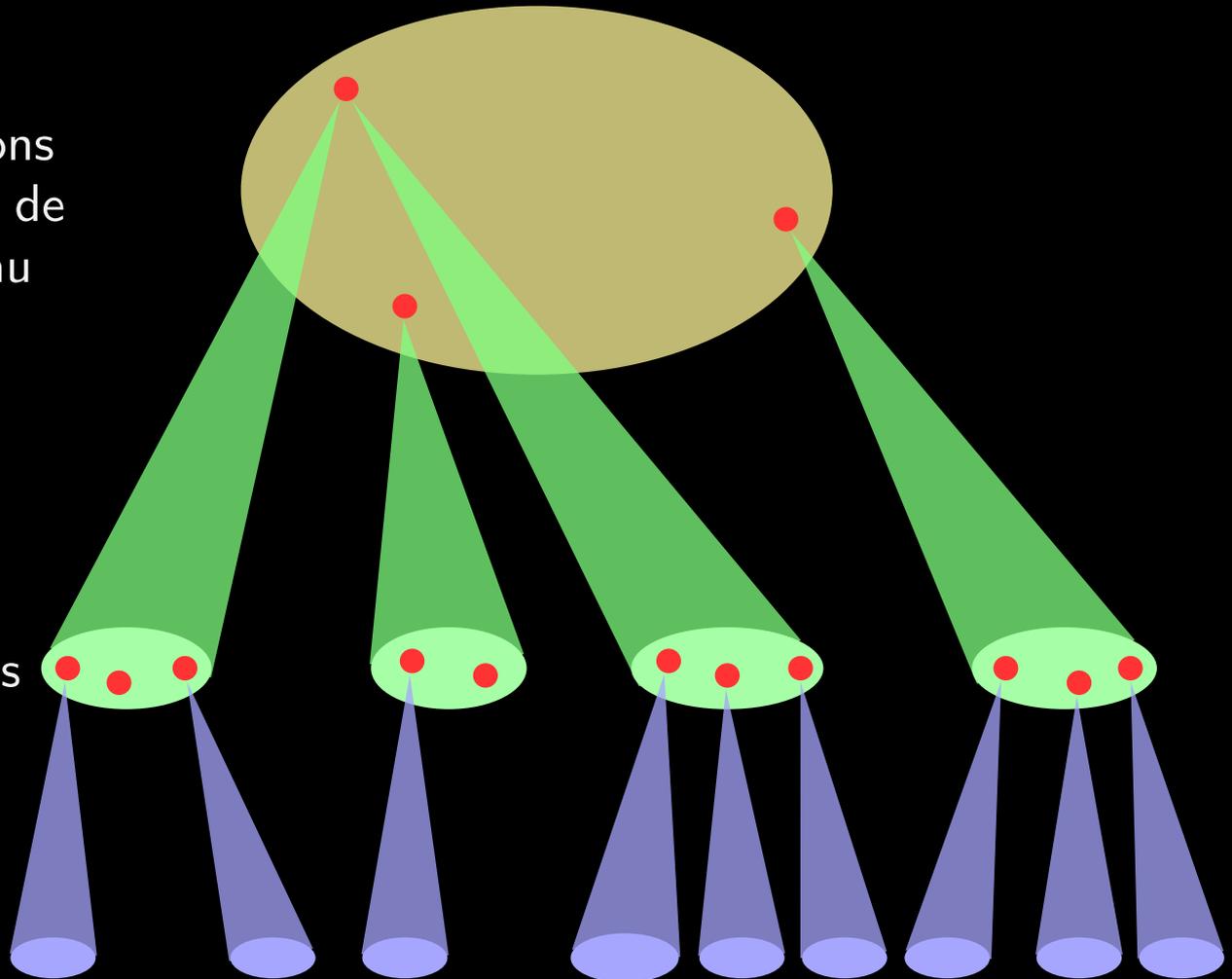
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_9

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



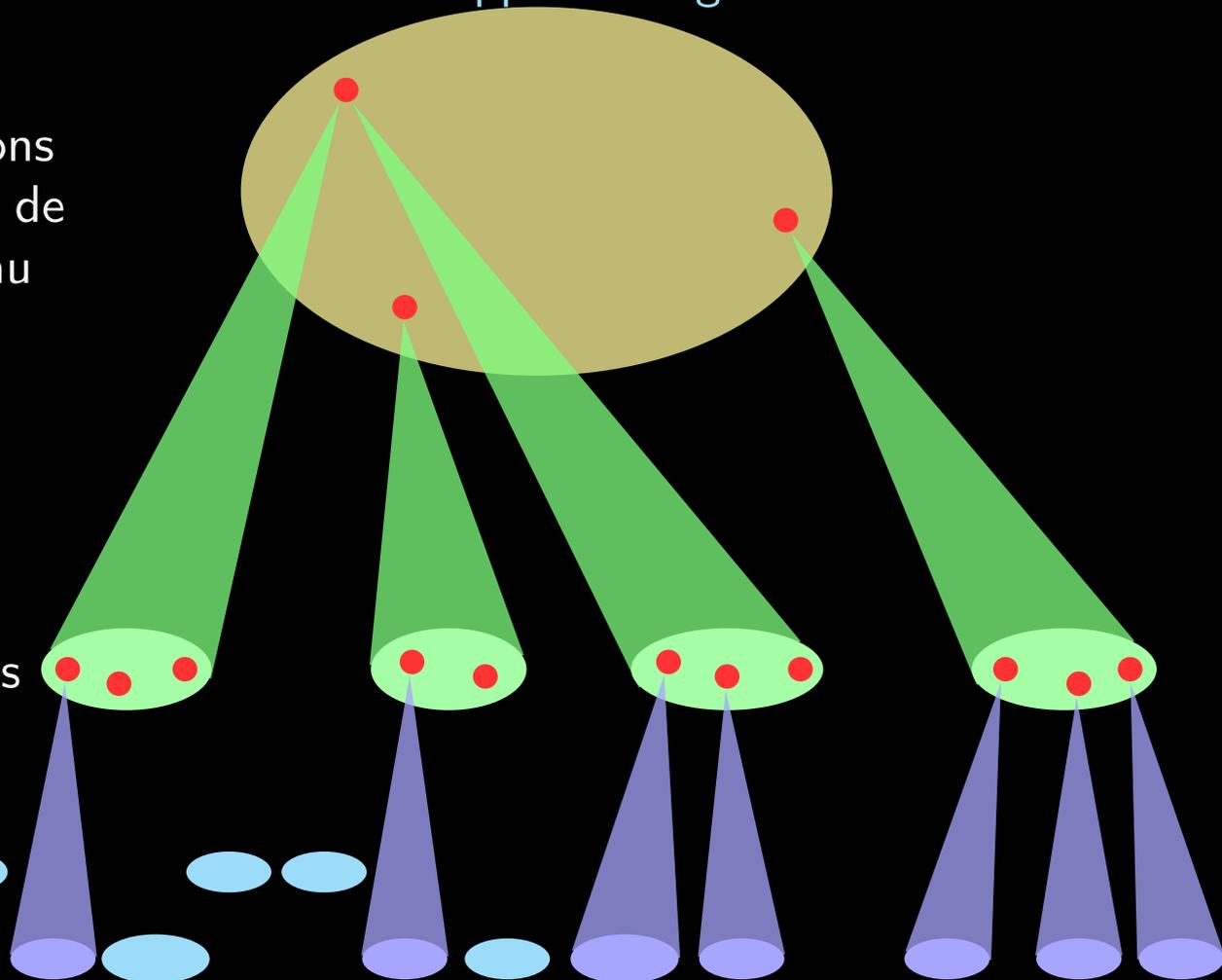
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{10} Écoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



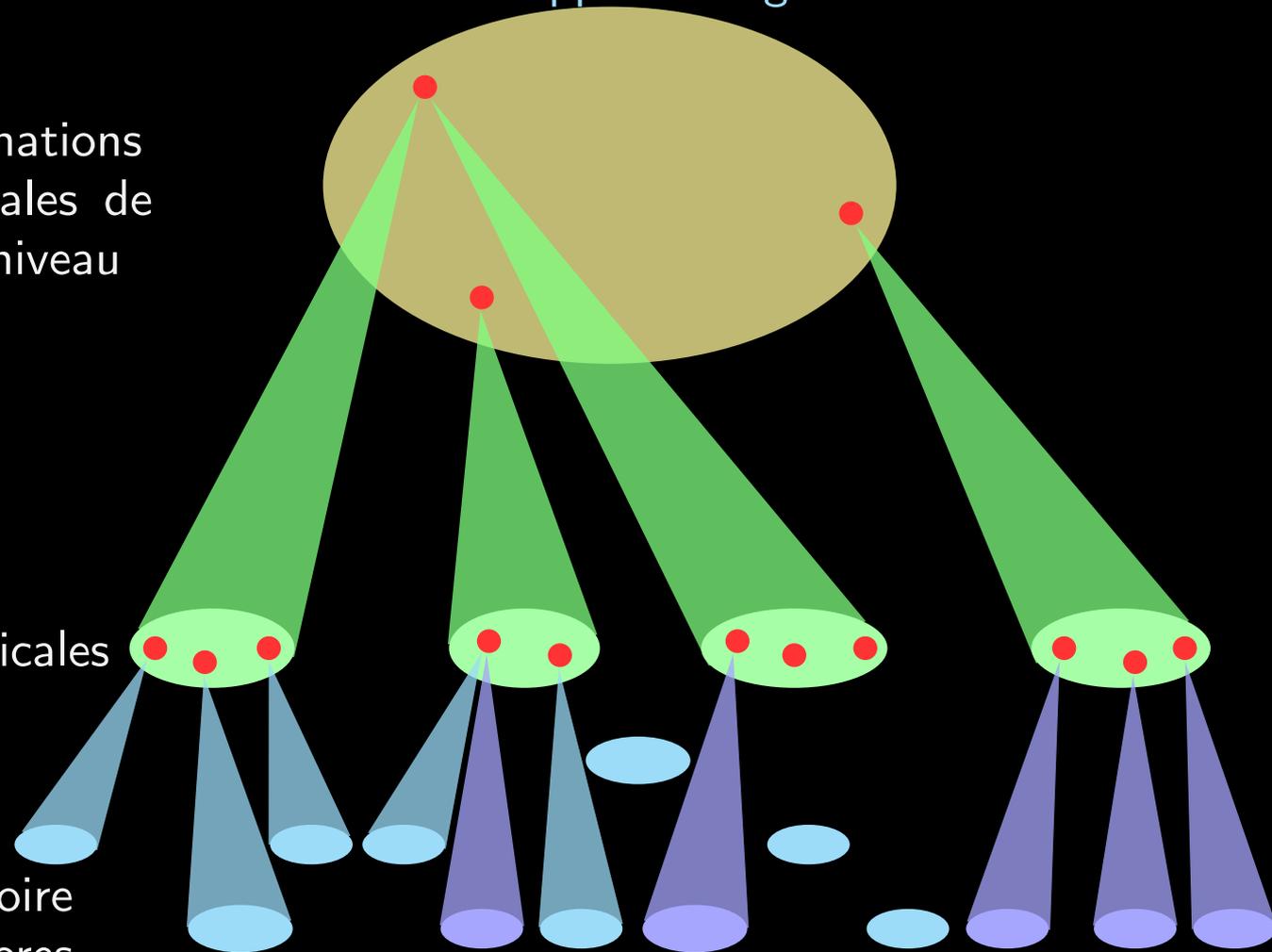
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{11} Écoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



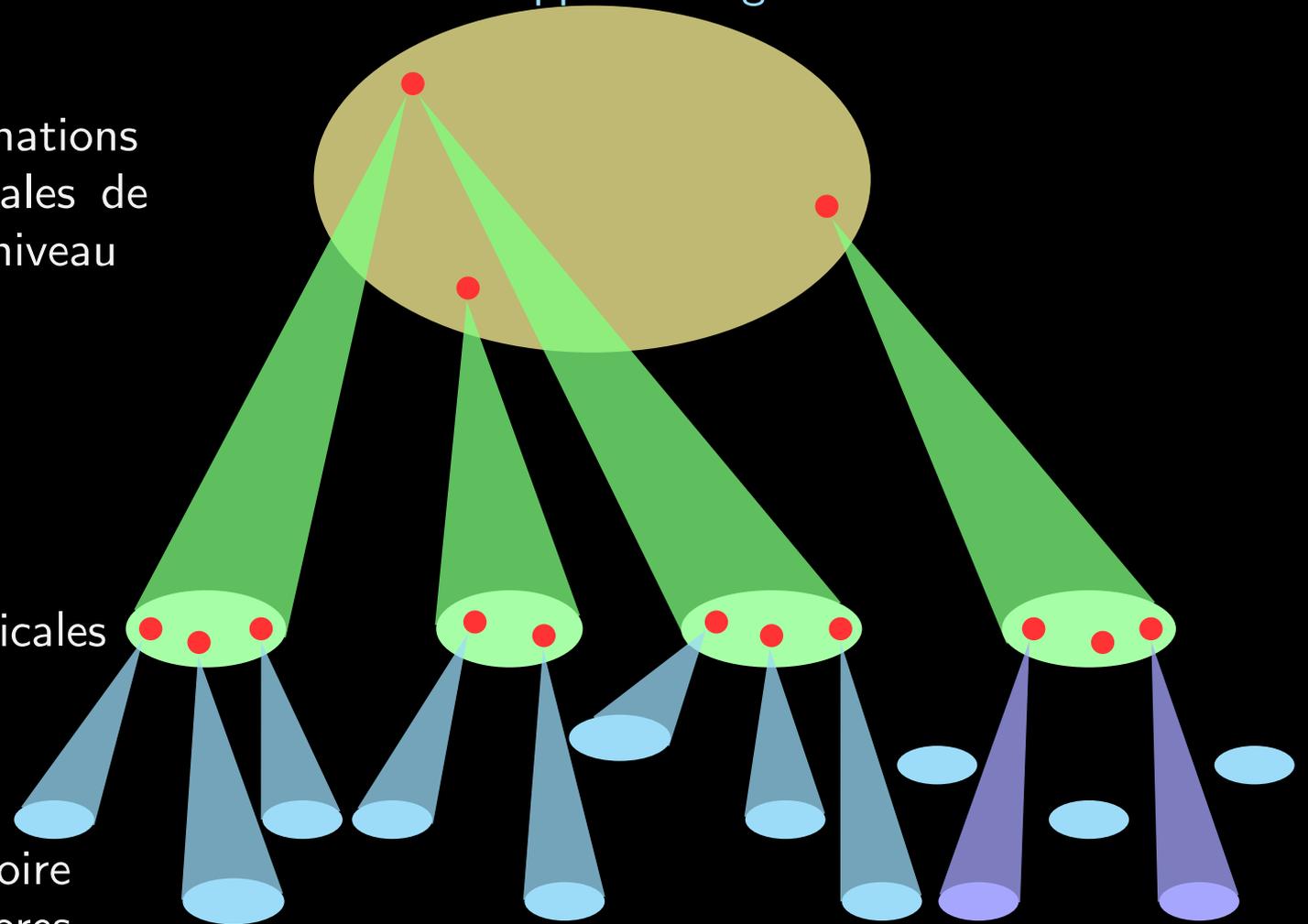
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{12} Écoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



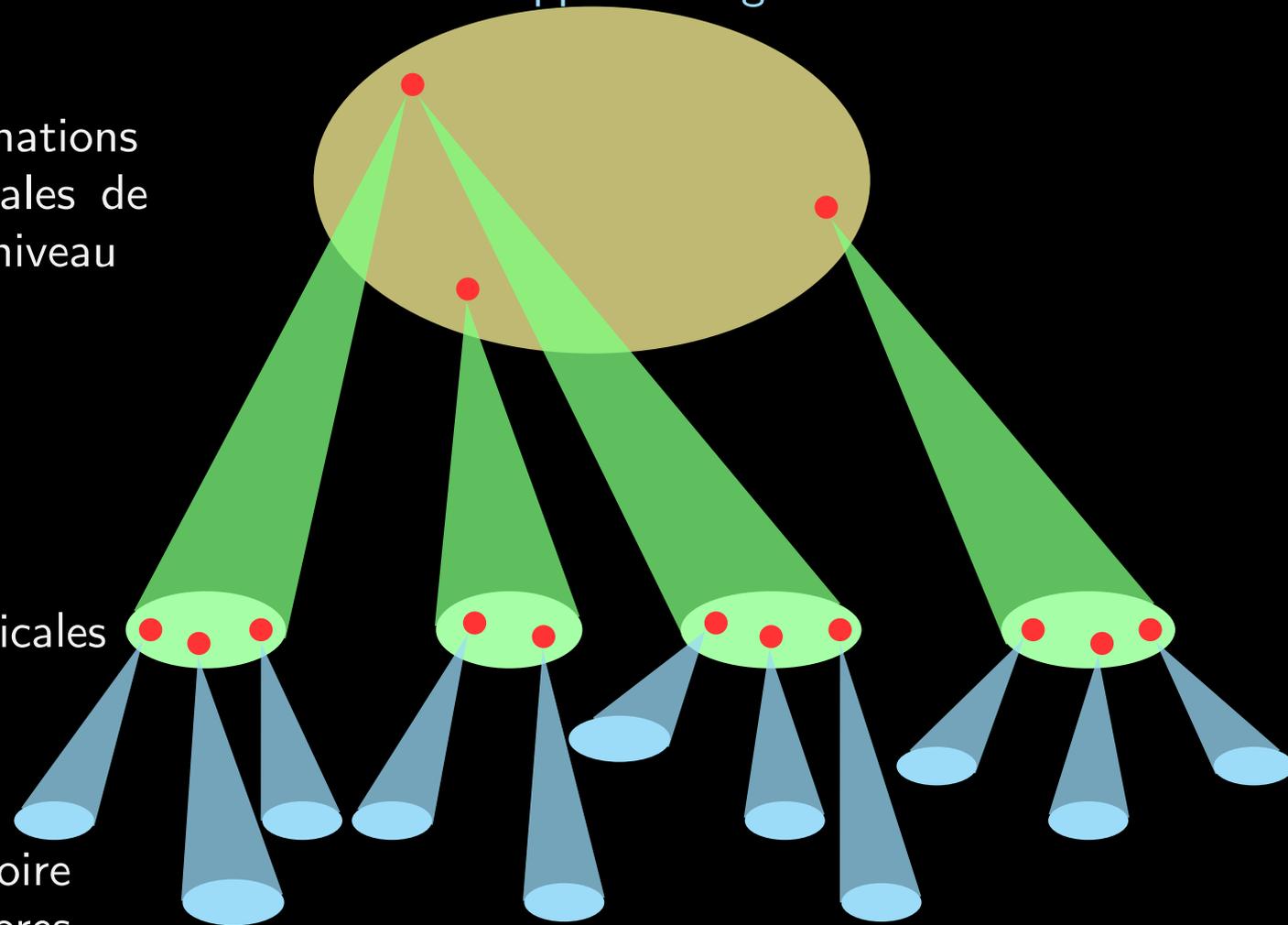
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{13} Écoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



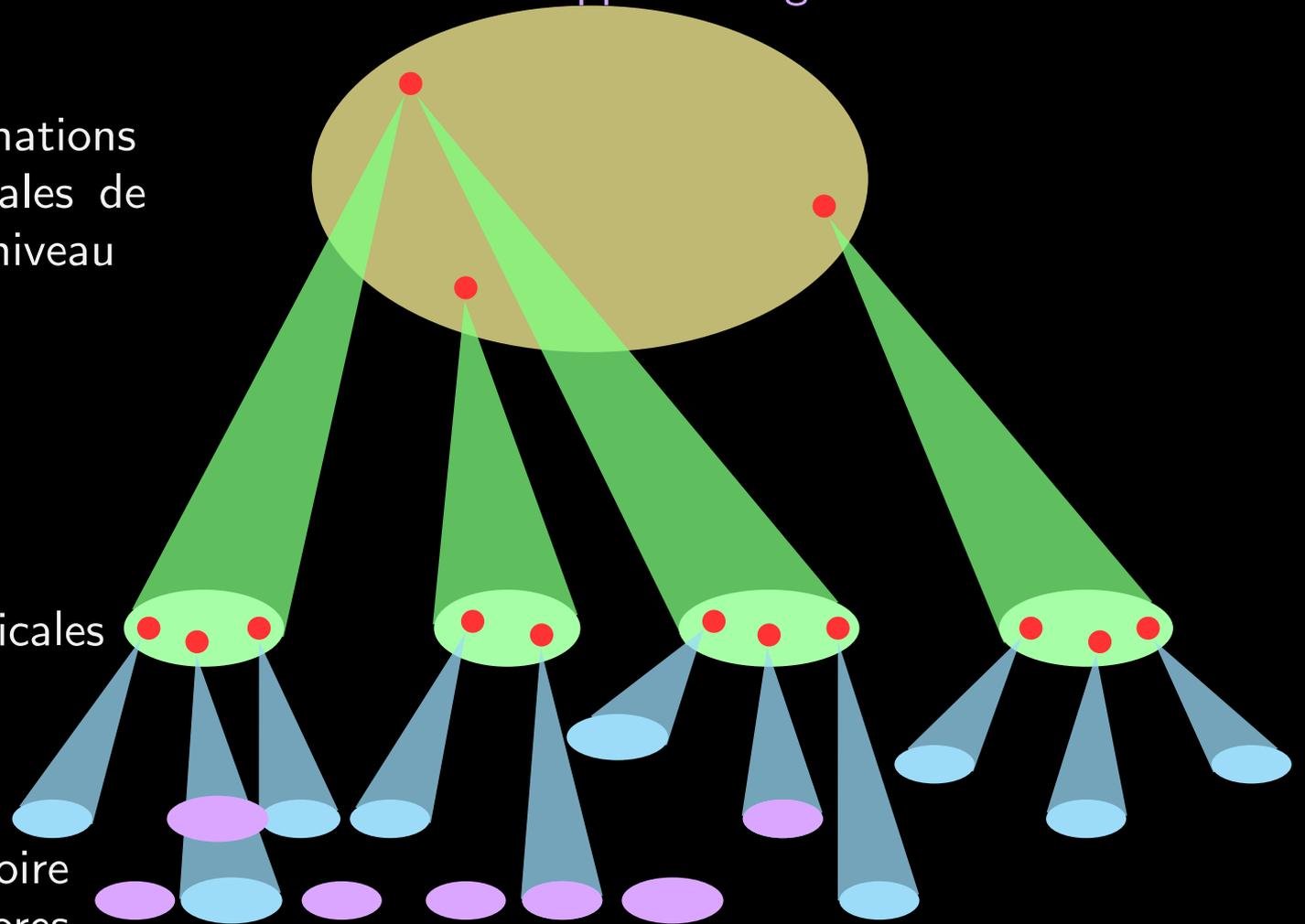
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{14} Réécoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



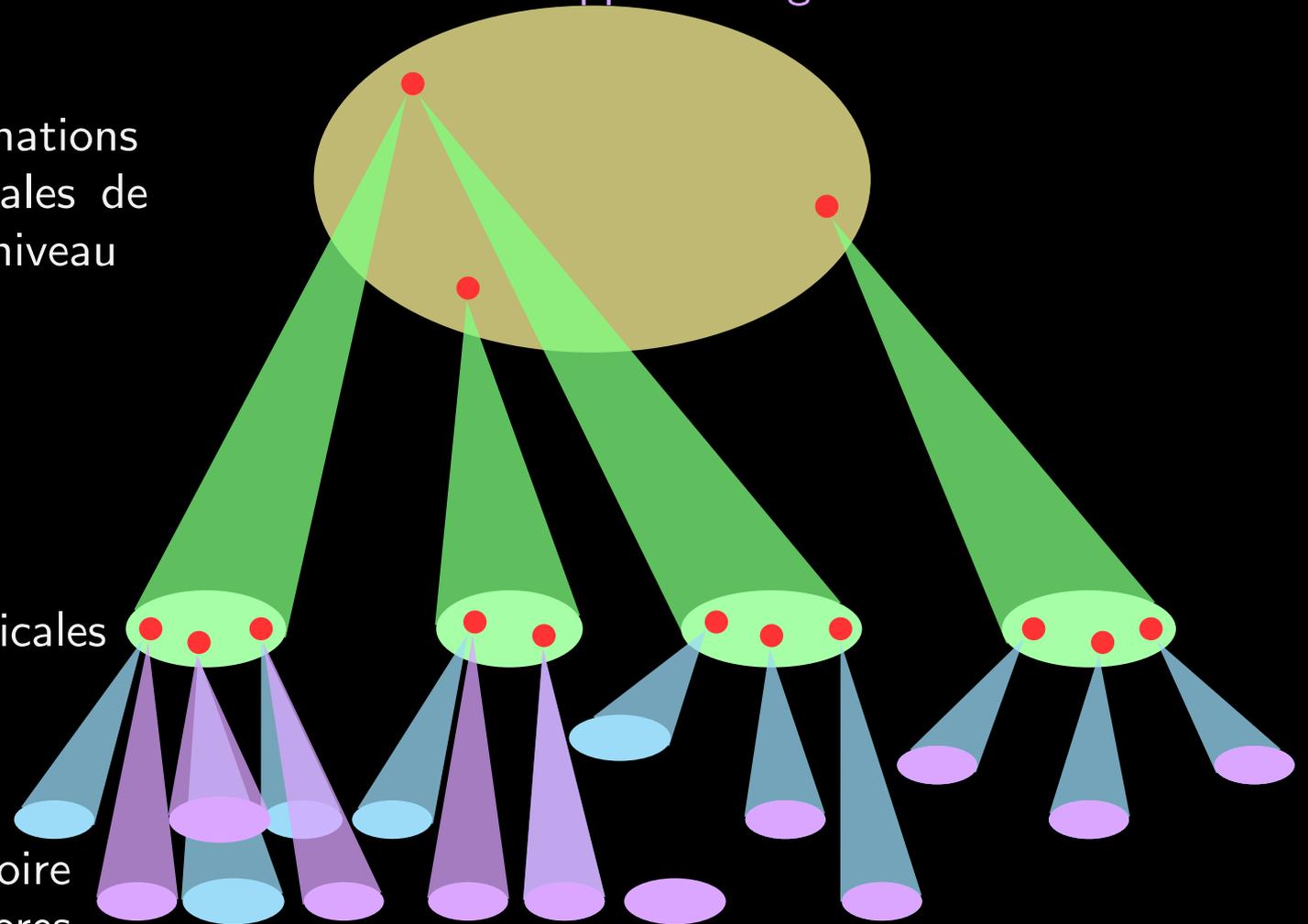
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{15} Réécoute de la même œuvre sur support enregistré

Informations
musicales de
haut niveau

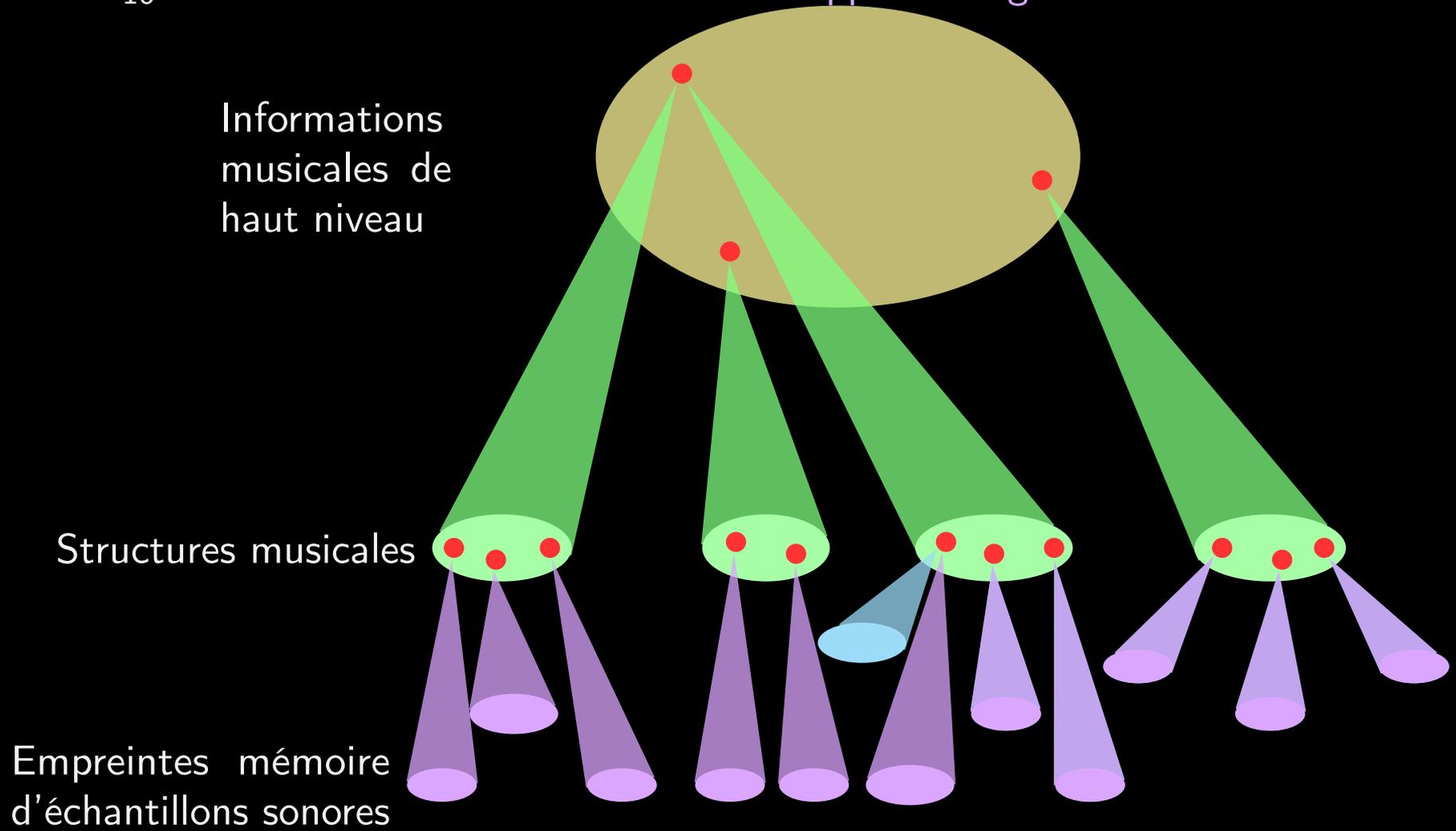
Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores



EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{16} Réécoute de la même œuvre sur support enregistré



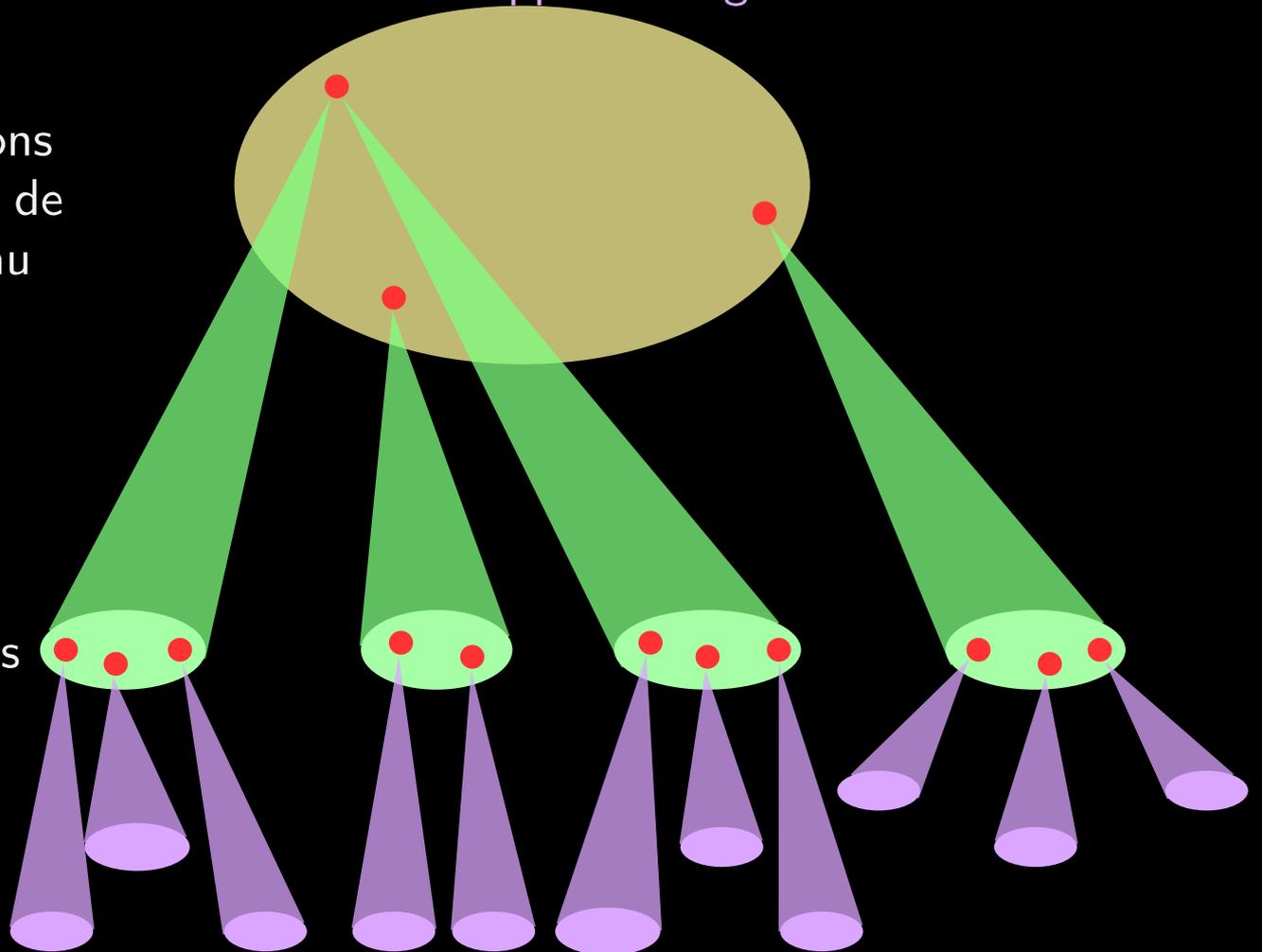
EXEMPLE DE FLEXIBILITÉ DE LA MÉMOIRE

t_{17} Réécoute de la même œuvre sur support enregistré

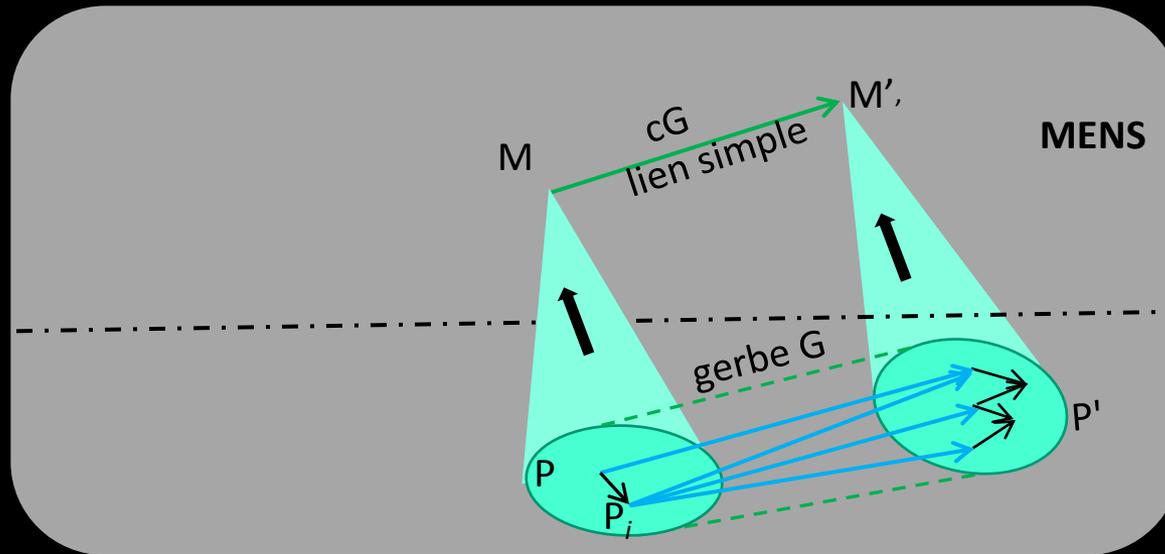
Informations
musicales de
haut niveau

Structures musicales

Empreintes mémoire
d'échantillons sonores

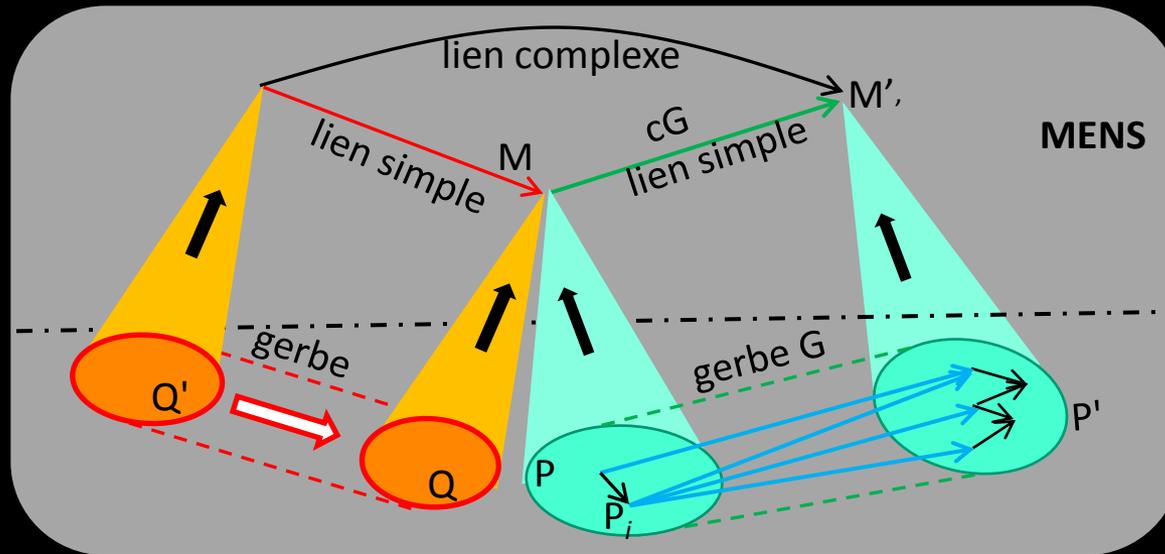


LE PROBLEME DU LIAGE. LIENS SIMPLES ET COMPLEXES



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

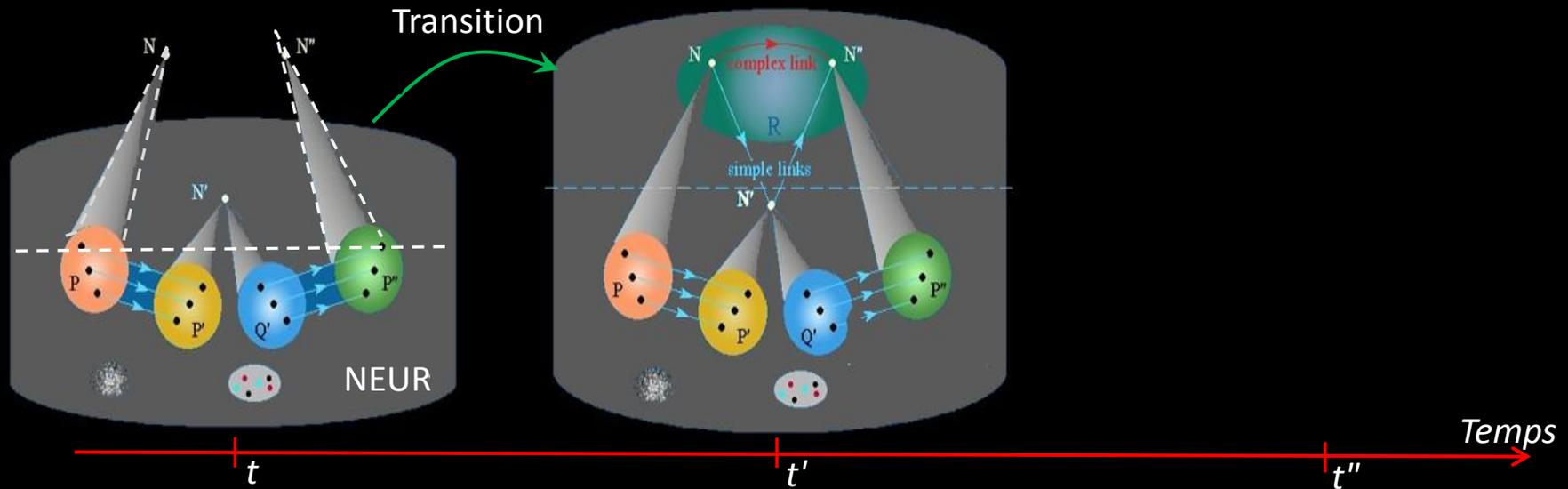
LE PROBLEME DU LIAGE. LIENS SIMPLES ET COMPLEXES



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

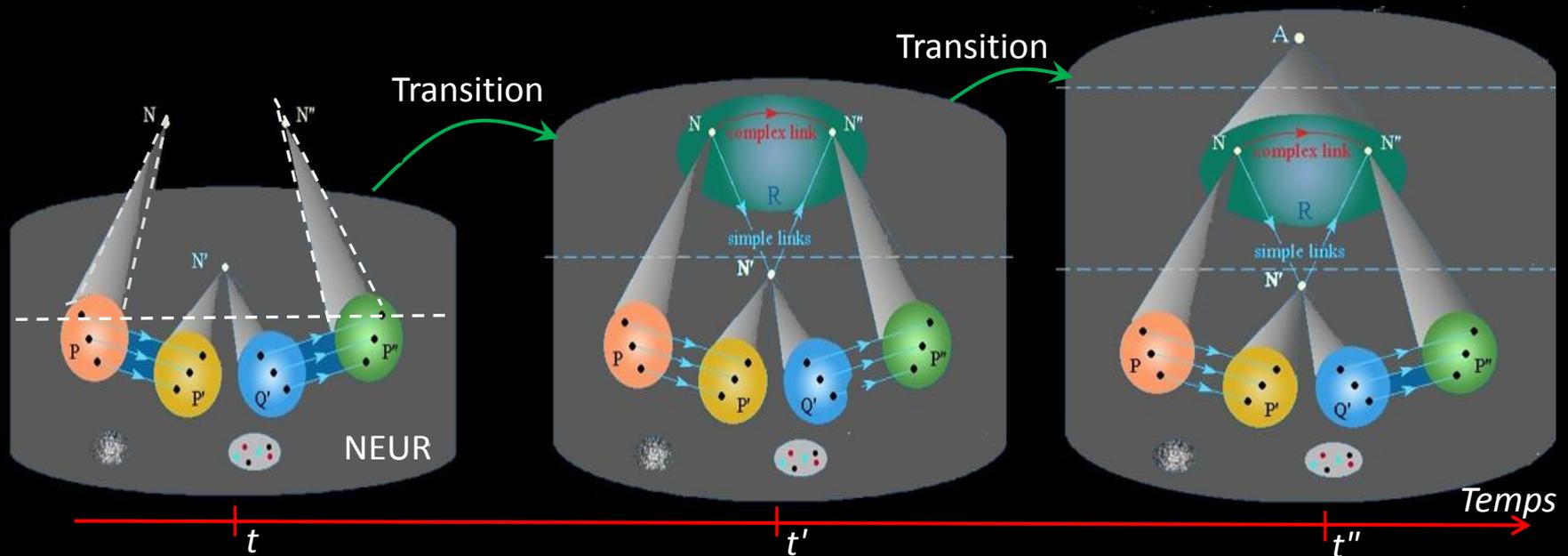
MP \implies Emergence dans **MENS** de *liens complexes* composant des liens simples recollant des gerbes non adjacentes.

COMPLEXIFICATION. THEOREME D'EMERGENCE



MENS est obtenu par complexifications mixtes itérées de **NEUR** ayant pour objectifs : formation (ou préservation, s'il existe) d'un cat-neurone recollant un pattern polychrone P donné ; élimination ou inhibition d'un (cat-)neurone ; formation d'un cat-neurone devenant la limite projective d'un pattern polychrone de cat-neurones. Les délais de propagation et les forces des liens dans **NEUR** s'étendent aux liens (simples et complexes) de ces complexifications successives, de même que la règle de Hebb.

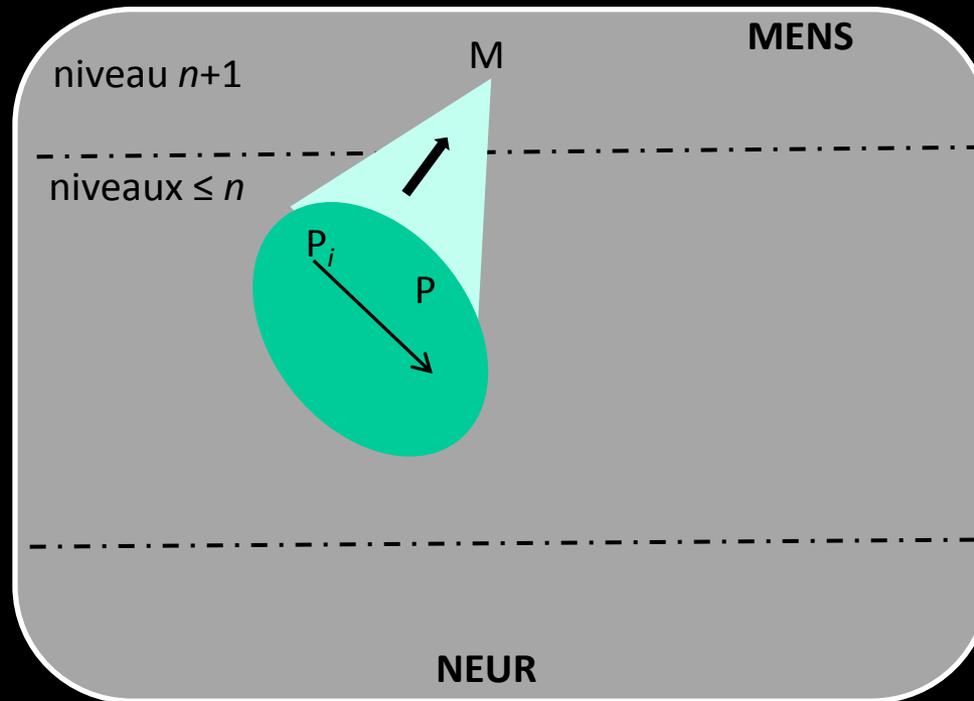
COMPLEXIFICATION. THEOREME D'EMERGENCE



MENS est obtenu par complexifications mixtes itérées de **NEUR** ayant pour objectifs : formation (ou préservation, s'il existe) d'un cat-neurone recollant un pattern polychrone P donné ; élimination ou inhibition d'un (cat-)neurone ; formation d'un cat-neurone devenant la limite projective d'un pattern polychrone de cat-neurones. Les délais de propagation et les forces des liens dans **NEUR** s'étendent aux liens (simples et complexes) de ces complexifications successives, de même que la règle de Hebb.

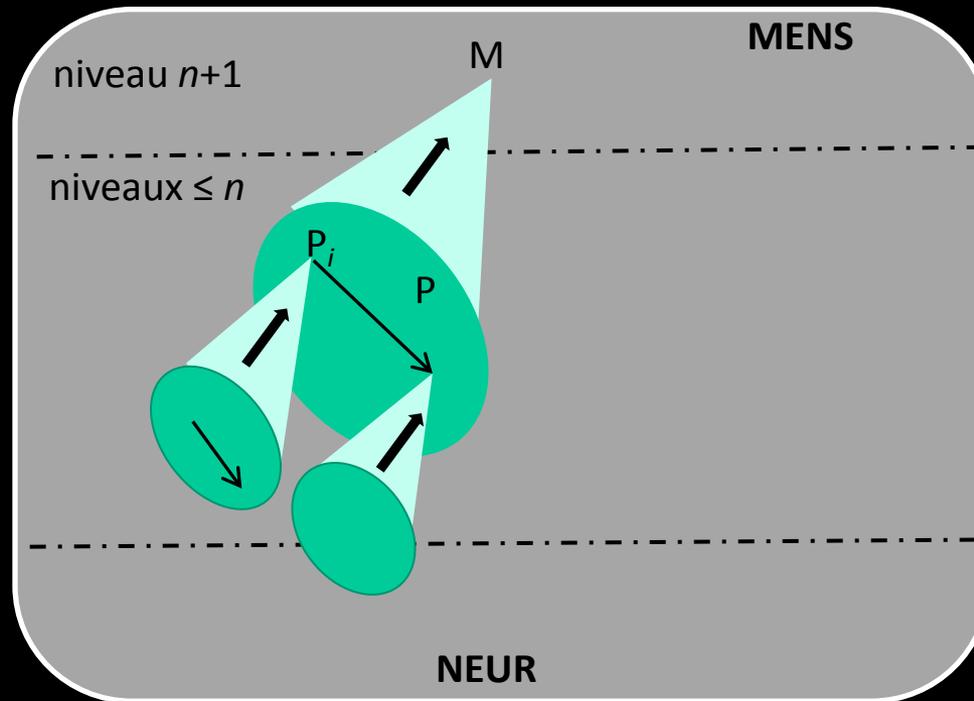
THEOREME D'EMERGENCE. *La dégénérescence du code neural (==> MP) permet l'émergence, au cours du temps, d'objets mentaux et de processus cognitifs représentés par des cat-neurones d'ordre de complexité > 1 (et même > 2). Une double complexification ne se réduit pas à une seule complexification.*

REALISATIONS PHYSIQUES D'UN CAT-NEURONE



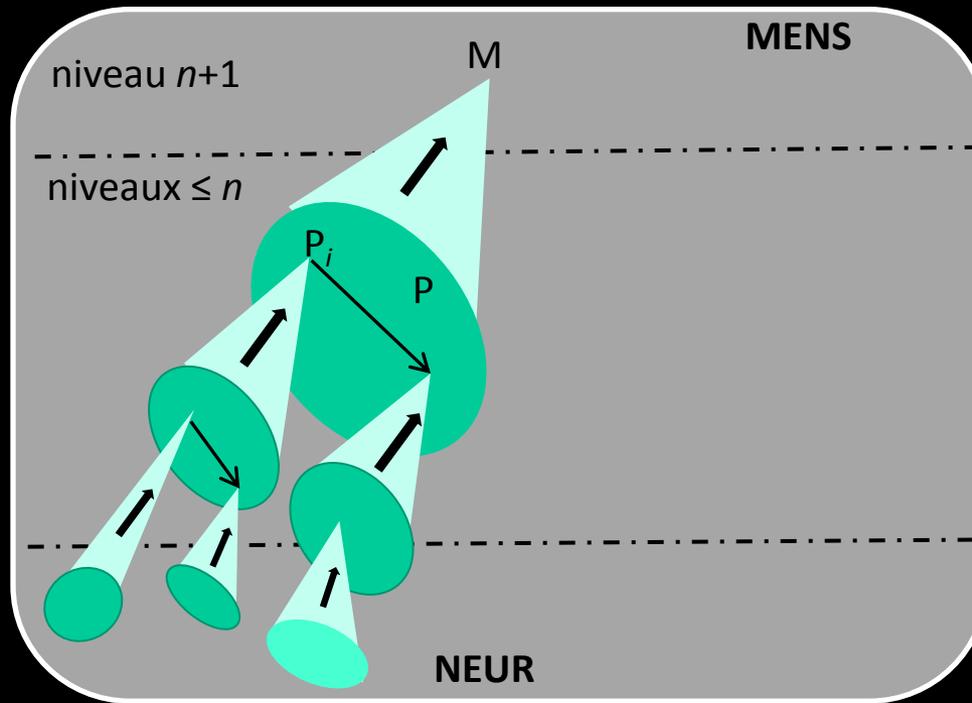
Activation de M par déroulement d'une ramification jusqu'à **NEUR**, en plusieurs étapes temporelles : 1. activation d'une décomposition P de M en assemblée polychrone de cat-neurones de niveaux inférieurs ;

REALISATIONS PHYSIQUES D'UN CAT-NEURONE



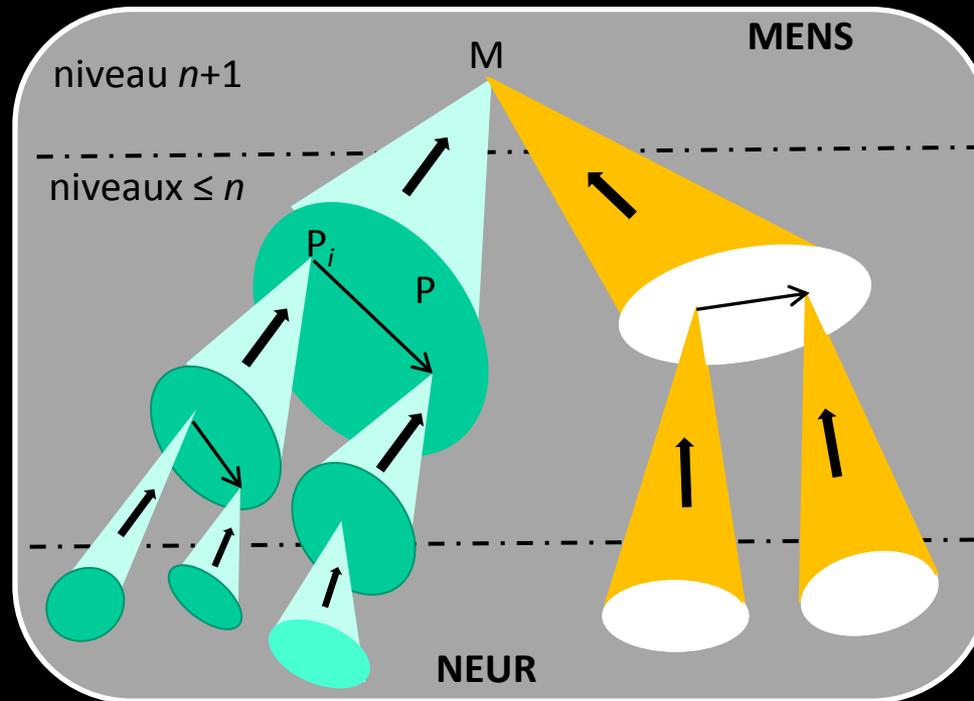
Activation de **M** par déroulement d'une ramification jusqu'à **NEUR**, en plusieurs étapes temporelles : 1. activation d'une décomposition **P** de **M** en assemblée polychrone de cat-neurones de niveaux inférieurs ;
2. décomposition de chaque composant P_i de **P** ;

REALISATIONS PHYSIQUES D'UN CAT-NEURONE



- Activation de **M** par déroulement d'une ramification jusqu'à **NEUR**, en plusieurs étapes temporelles :
1. activation d'une décomposition **P** de **M** en assemblée polychrone de cat-neurones de niveaux inférieurs ;
 2. décomposition de chaque composant **P_i** de **P** ;
 3. idem jusqu'à l'*activation physique d'assemblées neuronales polychrones*.

REALISATIONS PHYSIQUES D'UN CAT-NEURONE



Activation de M par déroulement d'une ramification jusqu'à **NEUR**, en plusieurs étapes temporelles : 1. activation d'une décomposition P de M en assemblée polychrone de cat-neurones de niveaux inférieurs ;
2. décomposition de chaque composant P_i de P ;
3. idem jusqu'à l'*activation physique d'assemblées neuronales polychrones*.

A chaque étape, divers choix possibles ==> M a plusieurs réalisations physiques..

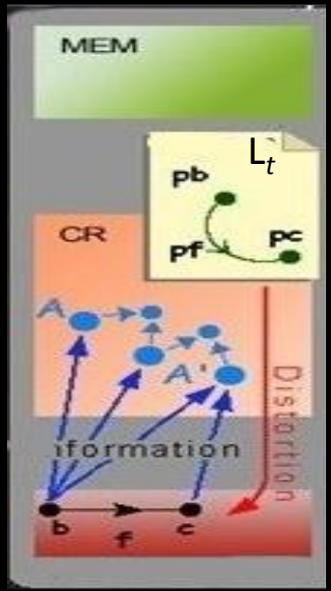
Ordre de complexité de M = plus petite longueur d'une ramification.

MP ==> émergence d'objets mentaux et de processus cognitifs d'ordre > 1 .

CO-RÉGULATEURS DU SYSTÈME AUDITIF

Organe	Rôle
1. L'organe de Corti comme récepteur dans l'oreille interne, via ses cellules ciliées internes	Conversion d'ondes acoustiques en influx nerveux
2. Les noyaux cochléaires : reçoivent les neurones de type 1 du nerf auditif	Travail de décodage de l'intensité, durée, fréquence
3. Complexe olivaire supérieur, servant à la localisation du son par comparaison entre les 2 oreilles	Commande de l'amplification par l'oreille interne et sélection en fréquence
4. Colliculus inférieur : localisation spatiale, niveau sonore et variation du niveau sonore, fréquence et variation de la fréquence, relations audition-vision	
5. Corps genouillé interne	intégration du son
6. Cortex auditif et corps genouillé	signification, localisation, reconnaissance et mémorisation

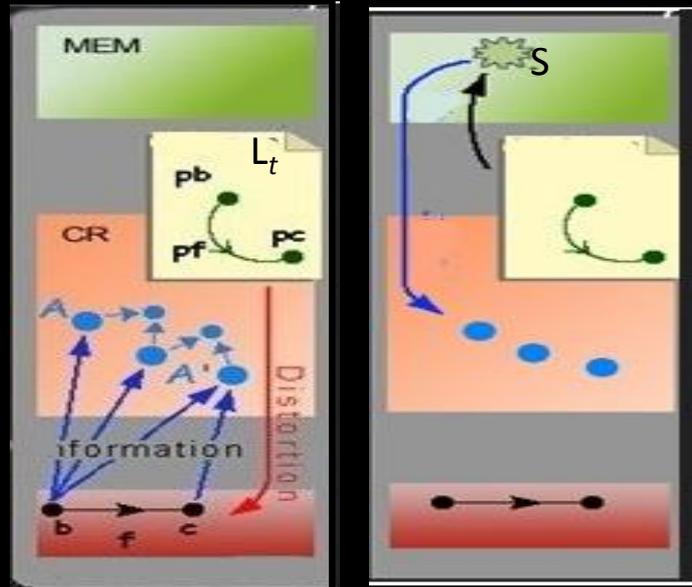
UNE ETAPE D'UN CO-REGULATEUR



CR opère par étapes, à son rythme et selon sa fonction. Une étape de t à t' se divise :

- (i) Formation du *paysage* L_t avec les informations partielles reçues de t à $t+l(t)$; elles y sont 'retenues' jusqu'à la fin de l'étape.

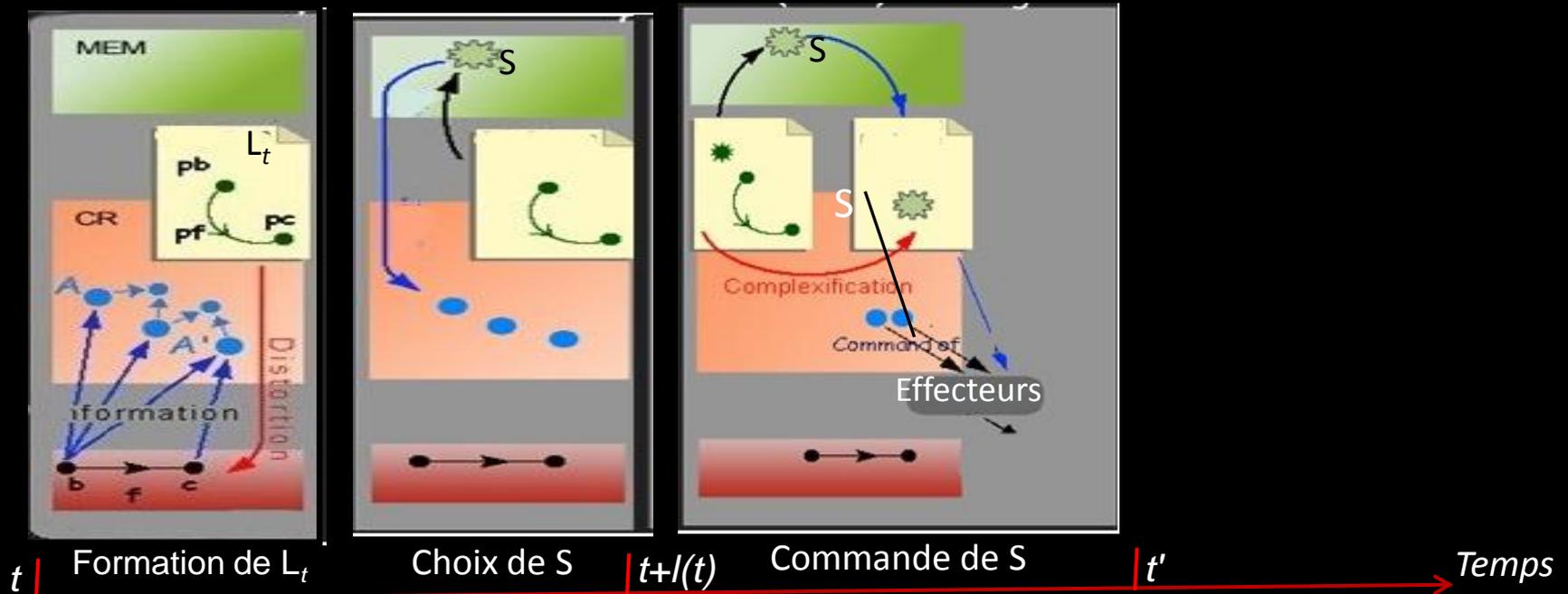
UNE ETAPE D'UN CO-REGULATEUR



t | Formation de L_t | Choix de S | $t+l(t)$ | t' | Temps

- CR opère par étapes, à son rythme et selon sa fonction. Une étape de t à t' se divise :
- (i) Formation du *paysage* L_t avec les informations partielles reçues de t à $t+l(t)$; elles y sont 'retenues' jusqu'à la fin de l'étape.
 - (ii) Choix d'une procédure admissible S (via **Proc**) ; les patterns P considérés dans S seront des patterns polychrones activés dans L_t (i.e. les dérivées en t des activités $n(P_i)$ sont > 0). *Paysage anticipé* AL = complexification de L_t relativement à S .

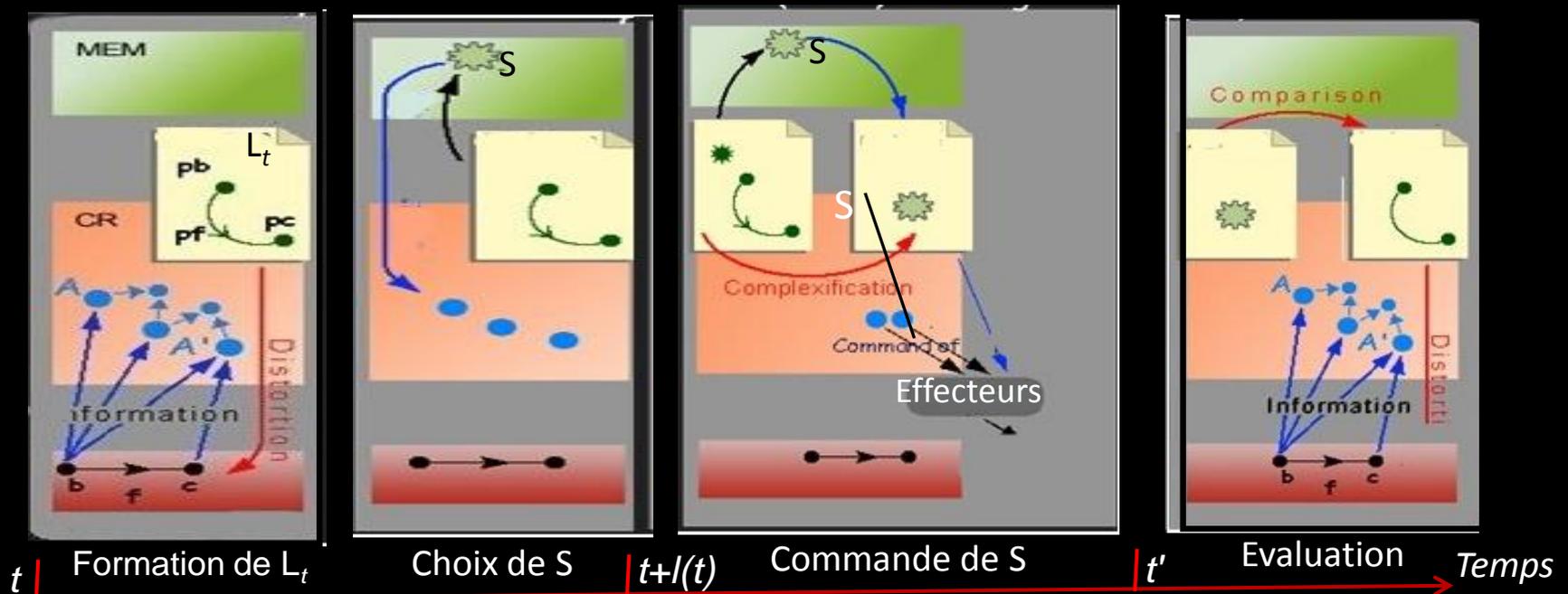
UNE ETAPE D'UN CO-REGULATEUR



CR opère par étapes, à son rythme et selon sa fonction. Une étape de t à t' se divise :

- Formation du *paysage* L_t avec les informations partielles reçues de t à $t+l(t)$; elles y sont 'retenues' jusqu'à la fin de l'étape.
- Choix d'une procédure admissible S (via **Proc**) ; les patterns P considérés dans S seront des patterns polychrones activés dans L_t (i.e. les dérivées en t des activités $n(P_i)$ sont > 0). *Paysage anticipé* AL = complexification de L_t relativement à S .
- Envoi des commandes de S aux effecteurs \implies processus dynamique s'étendant jusqu'à la fin t' de l'étape (calculable).

UNE ETAPE D'UN CO-REGULATEUR



- CR opère par étapes, à son rythme et selon sa fonction. Une étape de t à t' se divise :
- Formation du *paysage* L_t avec les informations partielles reçues de t à $t+1(t)$; elles y sont 'retenues' jusqu'à la fin de l'étape.
 - Choix d'une procédure admissible S (via **Proc**) ; les patterns P considérés dans S seront des patterns polychrones activés dans L_t (i.e. les dérivées en t des activités $n(P_i)$ sont > 0). *Paysage anticipé* AL = complexification de L_t relativement à S .
 - Envoi des commandes de S aux effecteurs \implies processus dynamique s'étendant jusqu'à la fin t' de l'étape (calculable).
 - Evaluation et mémorisation du résultat en t' par comparaison de AL avec L_t .

DYNAMIQUE DU CO-REGULATEUR

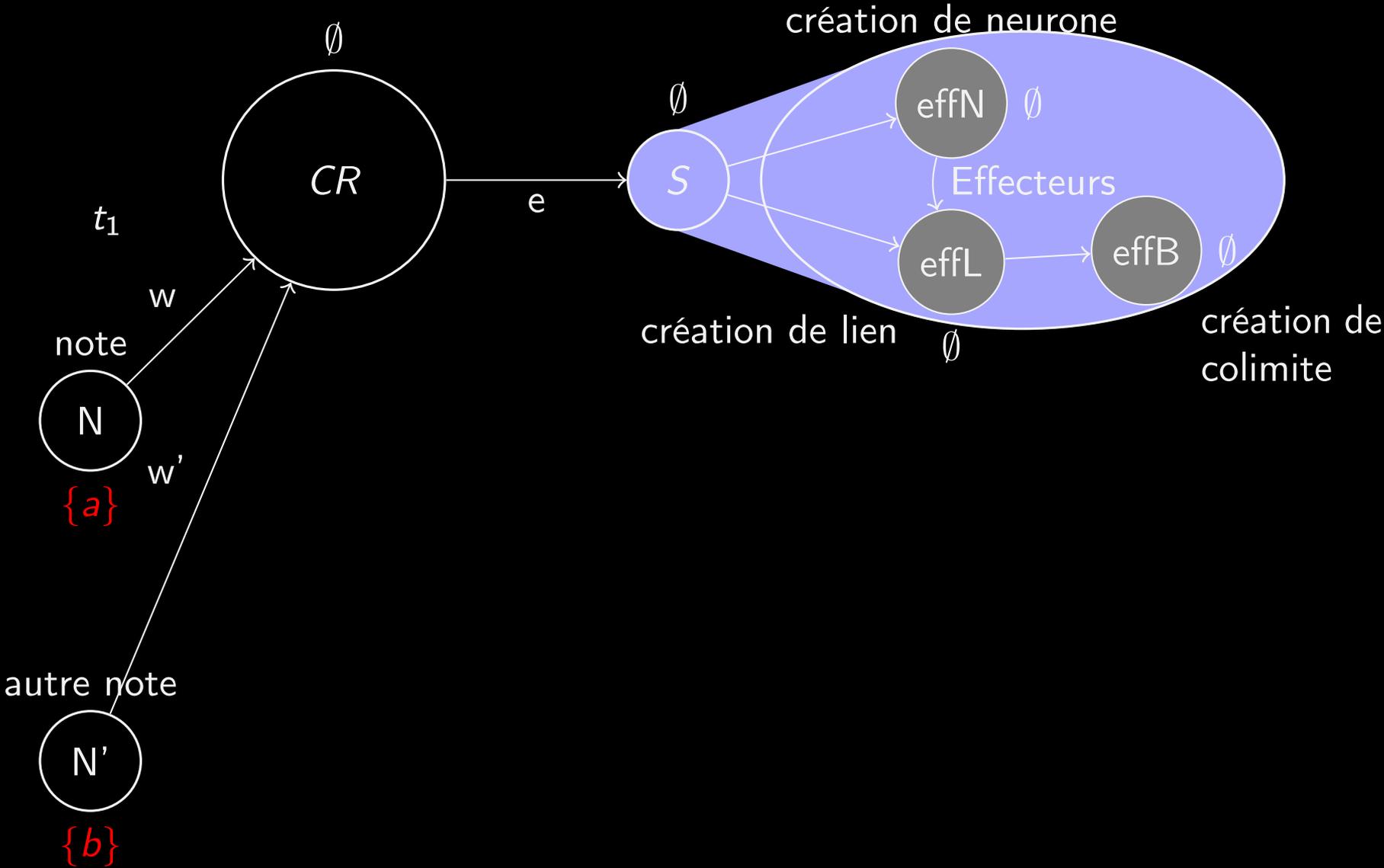
La dynamique pendant l'étape peut être modélisée en utilisant l'espace des phases associé à L_t : les coordonnées sont $(n_i, w_s)_{i,s}$ où les n_i sont les activités des différents (cat-)neurones et w_s les forces des liens s entre eux. Par exemple on peut utiliser un système d'équations différentielles du type "Cohen-Grossberg-Hopfield avec délais" :

$$\begin{aligned} \frac{dn_i(t)}{dt} &= -n_i(t) + \sum_{s: N_j \rightarrow N_i} w_s(t-d_s) n_j(t-d_s) + J_i(t) \\ \frac{dw_s}{dt} &= C \langle n_j n_i \rangle. \end{aligned}$$

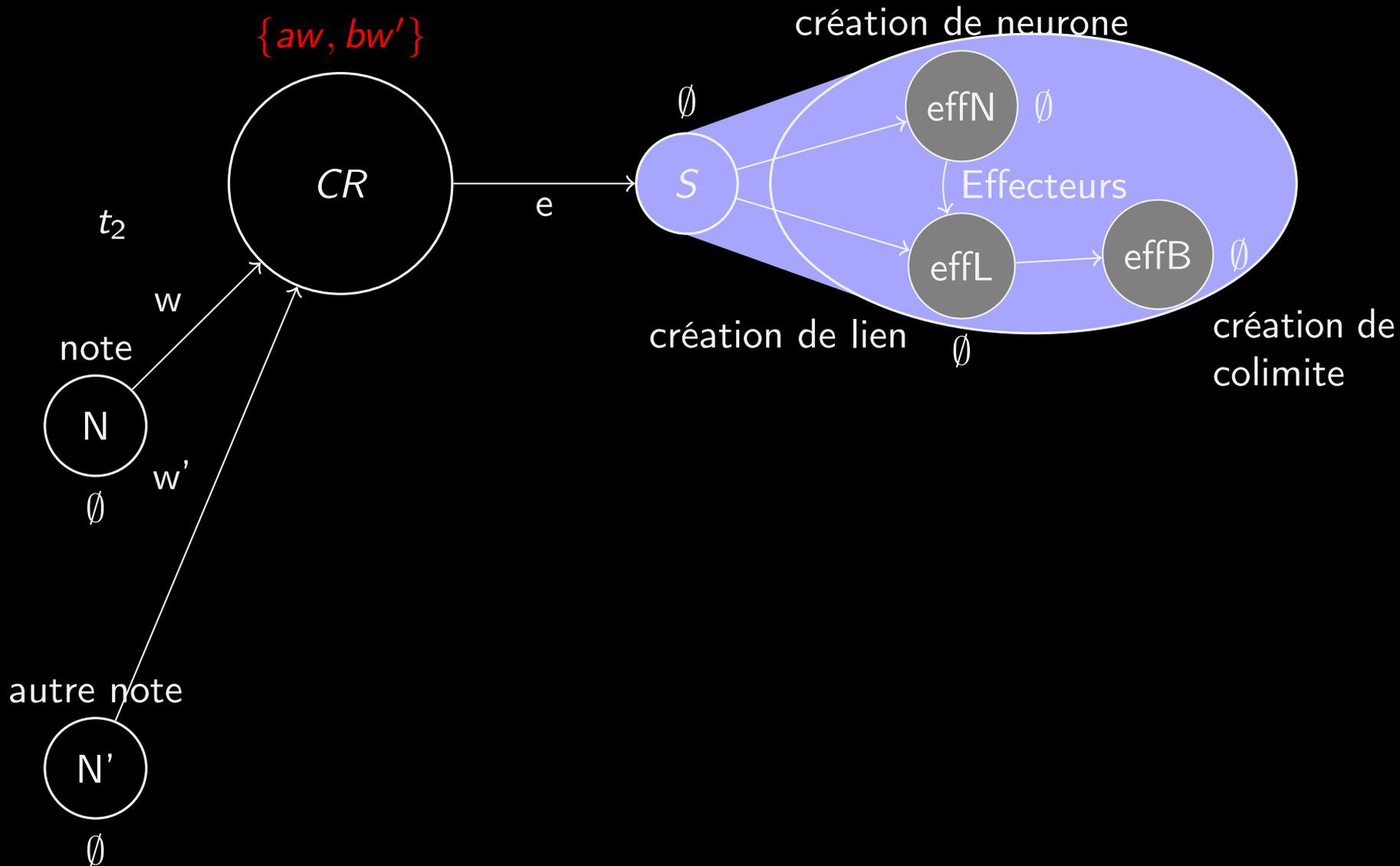
où J_i = input externe, C = constante, et $\langle n_j n_i \rangle$ = moyenne du produit $n_j(t') n_i(t')$ sur l'intervalle $]t, t']$. Le cat-neurone colimite de P modélise un attracteur de cette dynamique.

Si les objectifs de S ne sont pas réalisés (ce qui est vu par comparaison du paysage anticipé AL avec le paysage effectivement réalisé en t' , il y a une *fracture*. Celle-ci devient une *dyschronie* si elle persiste pendant plusieurs étapes.

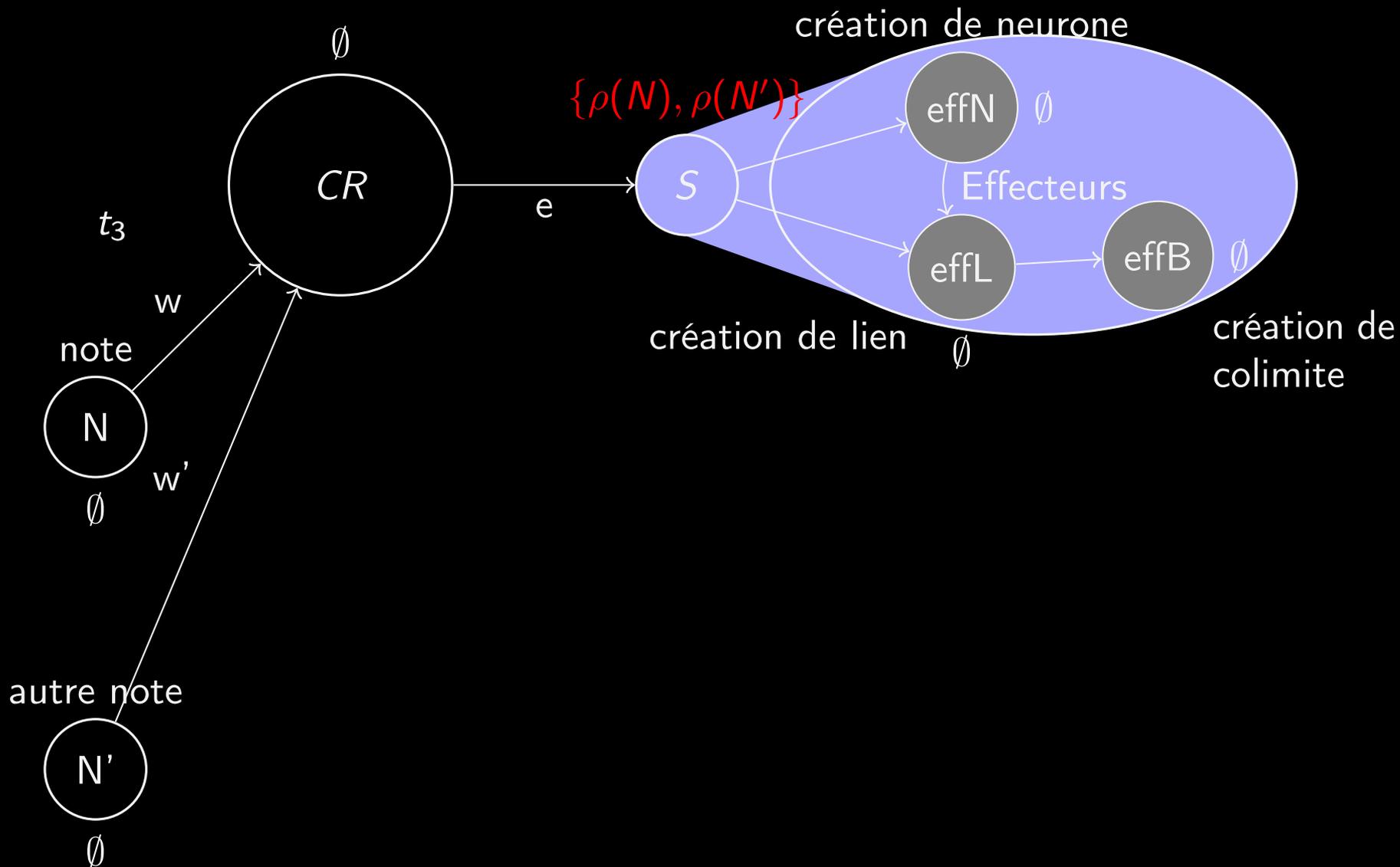
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



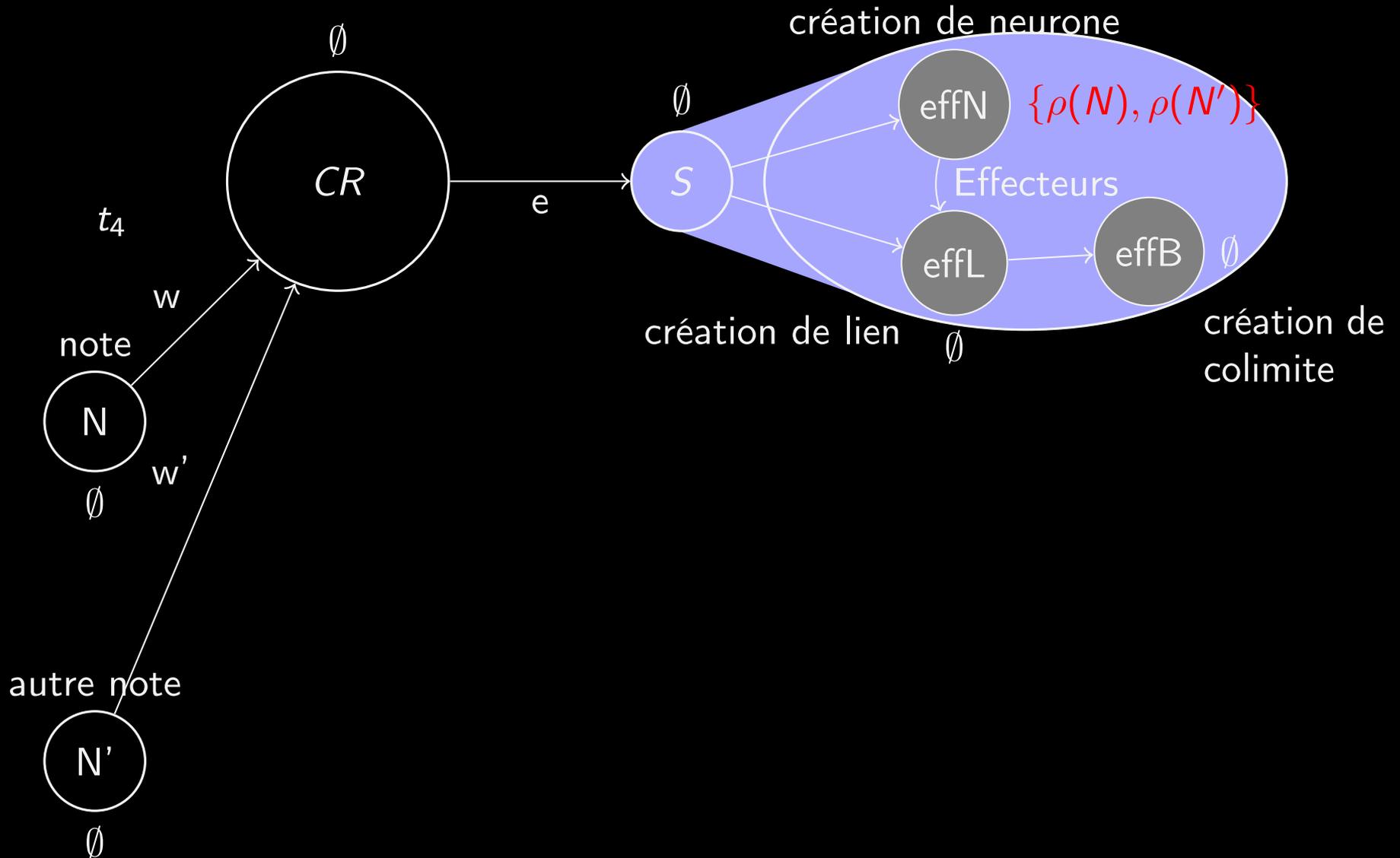
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



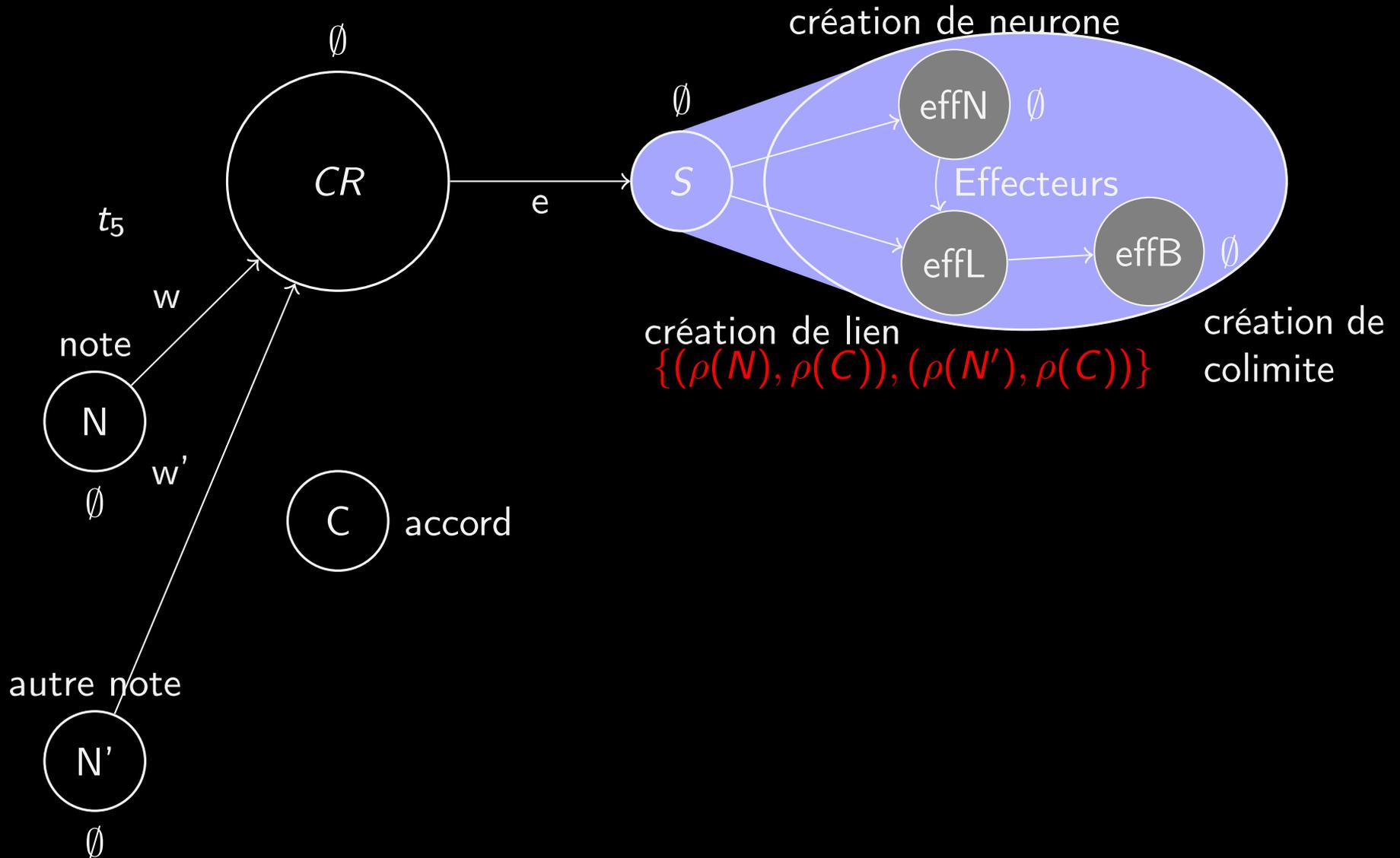
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



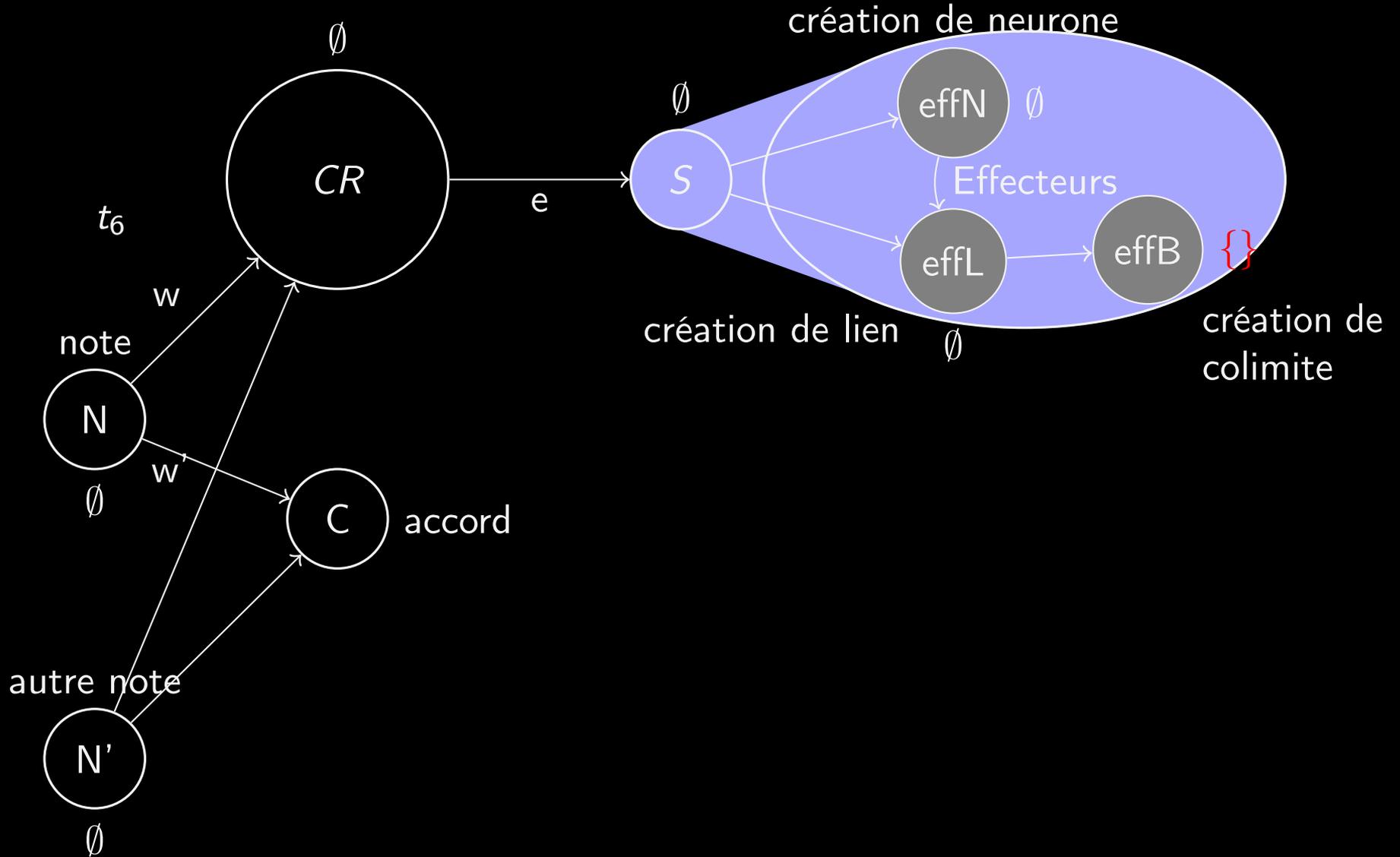
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



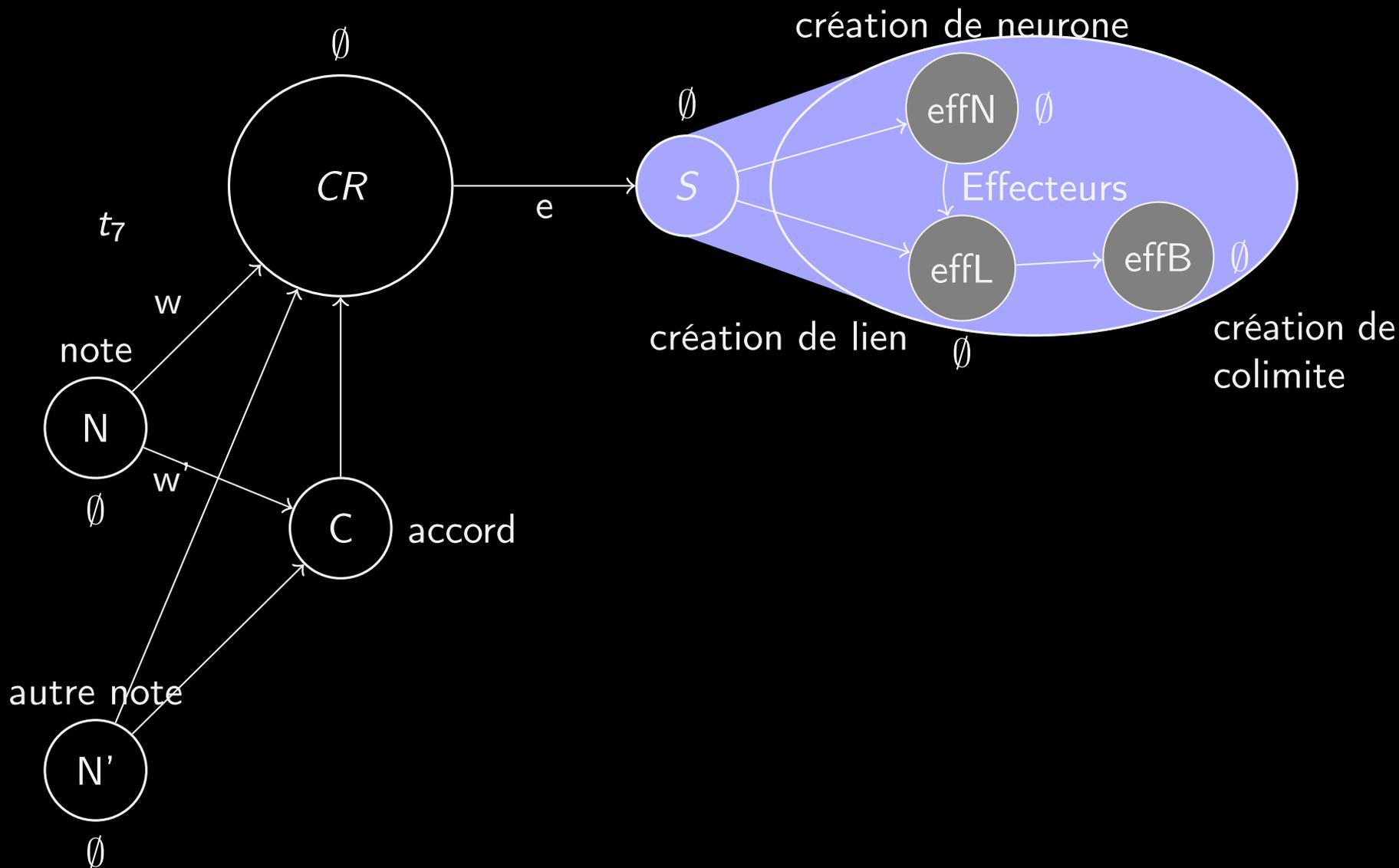
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



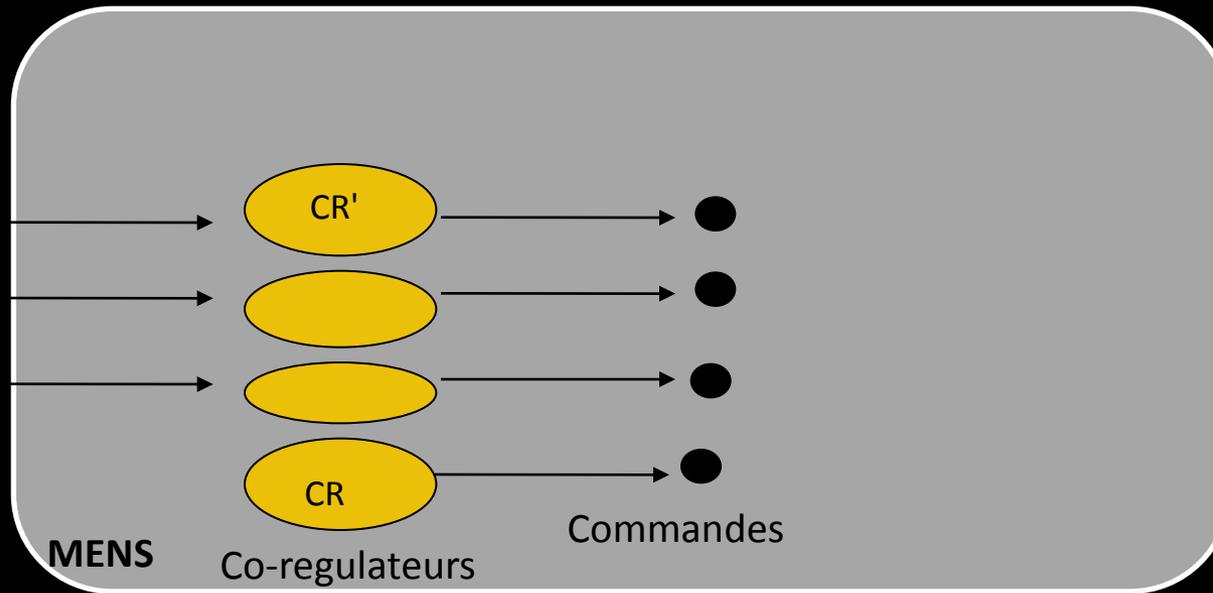
EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR



EXEMPLE : ÉTAPE D'UN CORÉGULATEUR

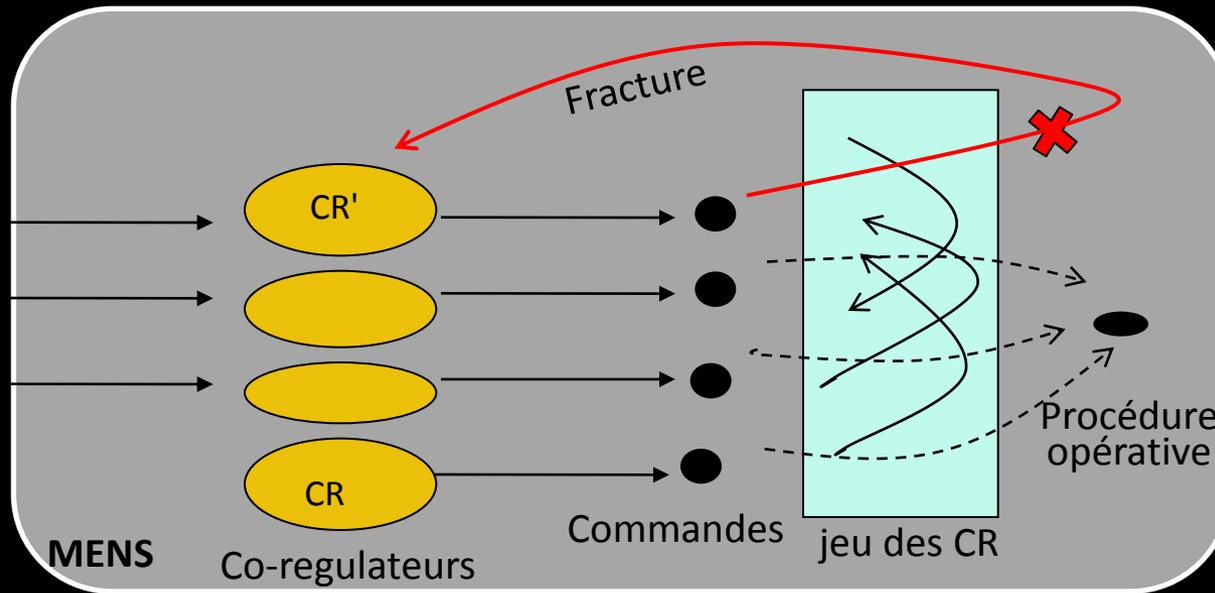


LA DYNAMIQUE MULTI-ECHELLES DE MENS



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

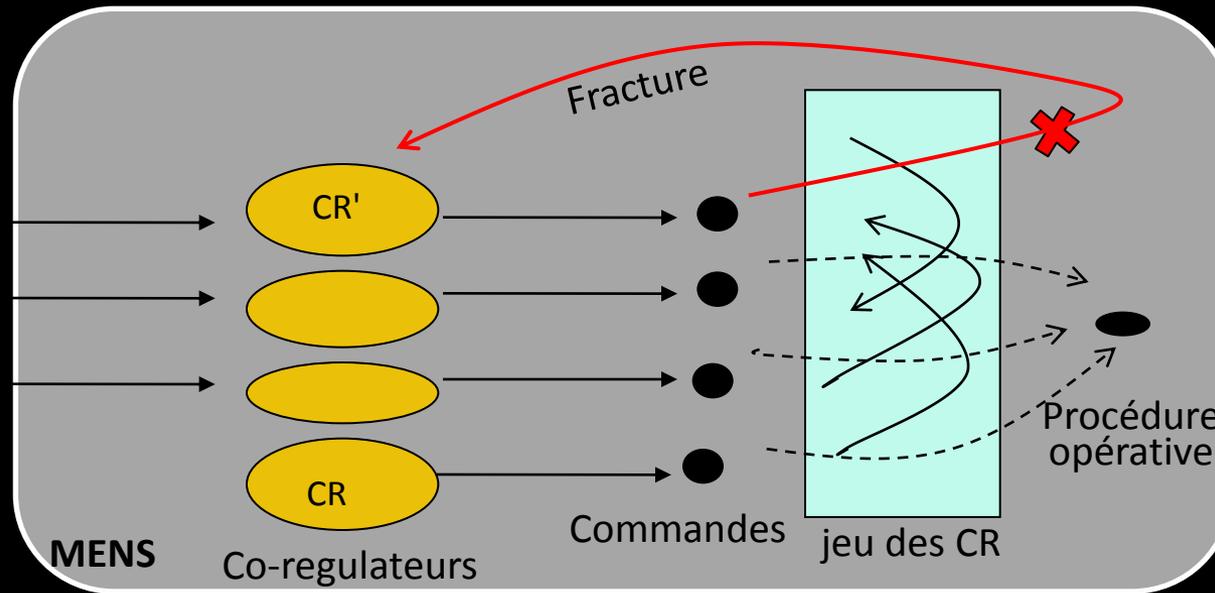
LA DYNAMIQUE MULTI-ECHELLES DE MENS



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

Les objectifs définissant la procédure opérative appliquée au système résultent d'un processus d'équilibration entre eux, le *jeu entre les co-régulateurs*, pouvant négliger les objectifs de certains co-régulateurs, ce qui leur cause une fracture.

LA DYNAMIQUE MULTI-ECHELLES DE MENS

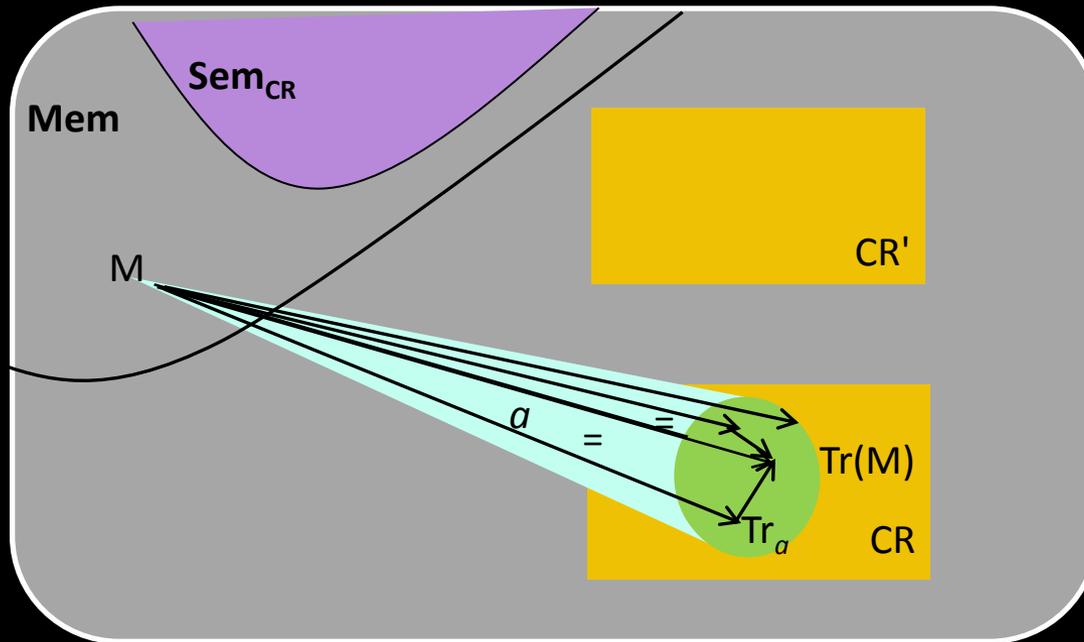


Les commandes envoyées aux effecteurs par les différents co-régulateurs en t peuvent ne pas être cohérentes, chaque CR ayant son propre rythme et sa logique.

Les objectifs définissant la procédure opérative appliquée au système résultent d'un processus d'équilibration entre eux, le *jeu entre les co-régulateurs*, pouvant négliger les objectifs de certains co-régulateurs, ce qui leur cause une fracture.

Ce jeu doit respecter les contraintes temporelles (*lois de synchronicité*) des co-régulateurs ; il a une certaine flexibilité venant de la possibilité de balancements entre ramifications des effecteurs (d'après MP).

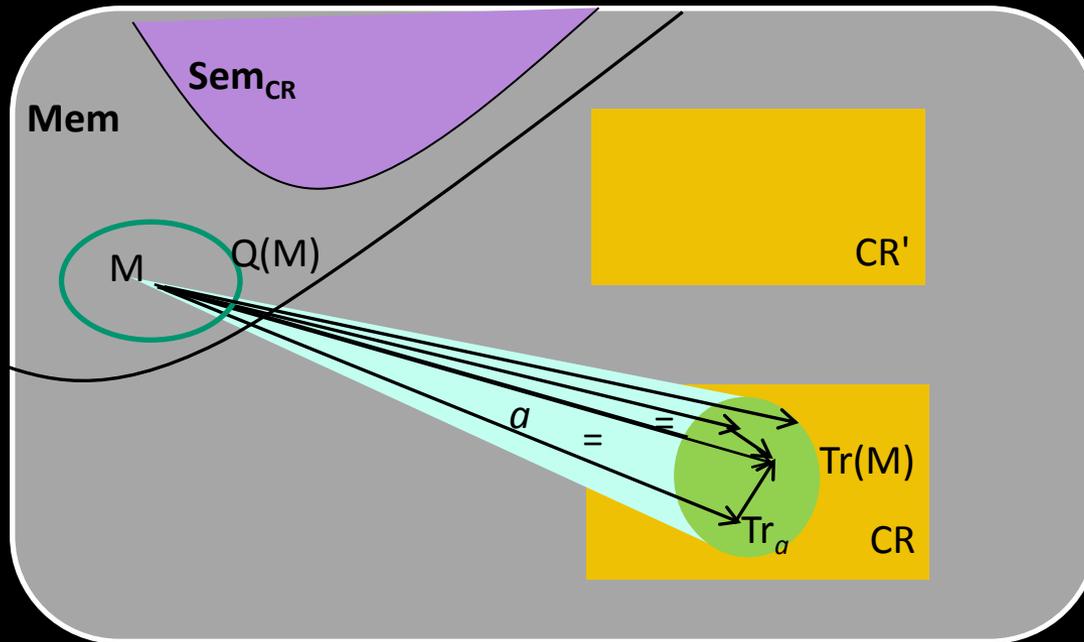
CLASSES DE CR-SIMILARITE



Sem est un sous-système évolutif de Mem développé en 3 étapes (sans langage) : classes de CR-similarité (sous-conceptuel), concept relatif à un CR-attribut, concepts généraux (symbolique).

Si CR est un co-régulateur (e.g., corps géniculé pour la couleur), la *CR-trace* d'une empreinte M est le pattern $Tr(M)$ de CR activé par M en t : il est indexé par les aspects $\alpha: M \rightarrow Tr_\alpha$ de M pour CR , et ses liens distingués les corrèlent.

CLASSES DE CR-SIMILARITE

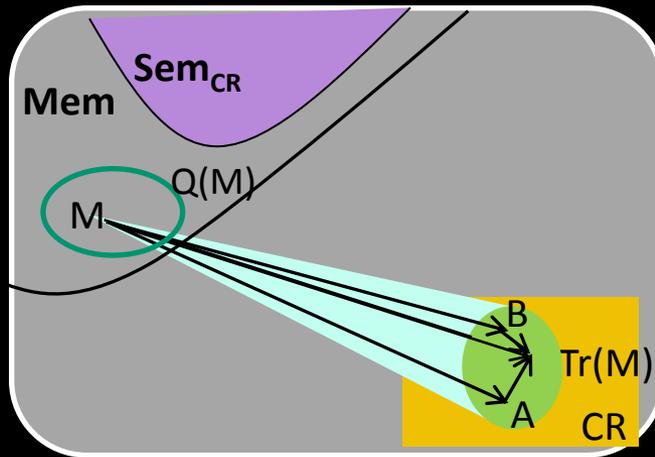


Sem est un sous-système évolutif de **Mem** développé en 3 étapes (sans langage) : classes de CR-similarité (sous-conceptuel), concept relatif à un CR-attribut, concepts généraux (symbolique).

Si **CR** est un co-régulateur (e.g., corps géniculé pour la couleur), la *CR-trace* d'une empreinte **M** est le pattern $Tr(M)$ de **CR** activé par **M** en t : il est indexé par les aspects $a: M \rightarrow Tr_a$ de **M** pour **CR**, et ses liens distingués les corrélient.

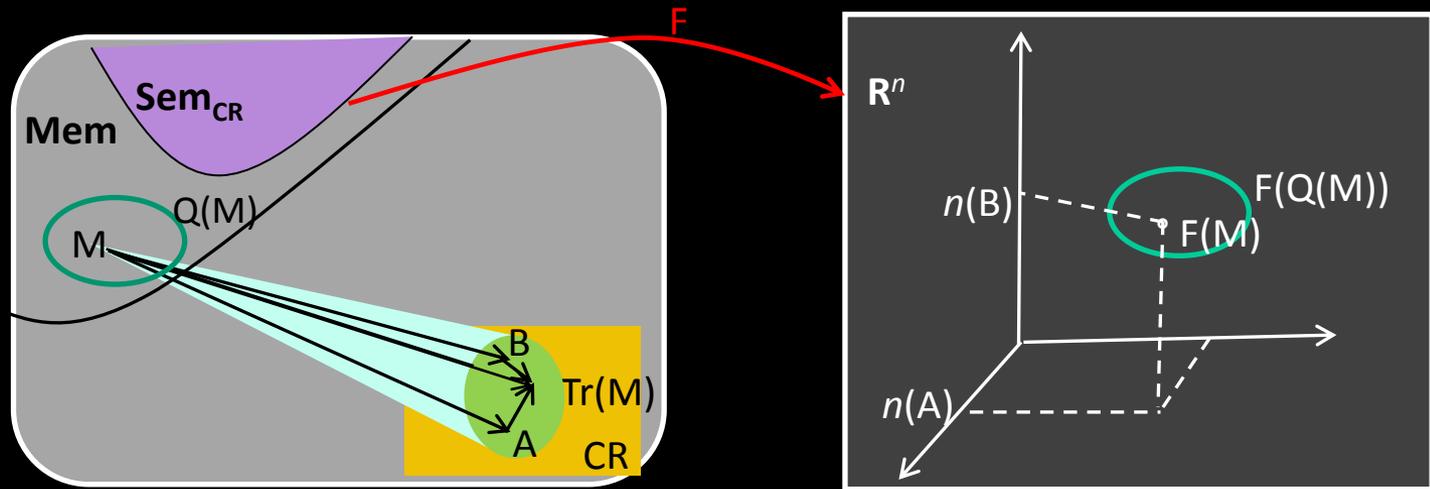
Des **M** ayant des CR-traces pro-homologues sont dits *CR-similaires*. Leur ensemble $Q(M)$ est la *classe de CR-similarité* de **M**. La CR-similarité n'est reconnue qu'au niveau de co-régulateurs de niveau $> CR$.

COMPARAISON AVEC GÄRDENFORS



Il définit un 'espace conceptuel' géométrique D associé à des "quality dimensions" où comparer 2 objets pour voir s'ils sont similaires et mesurer leur différence relativement à ces qualités. Un *concept naturel* est une région convexe de D .

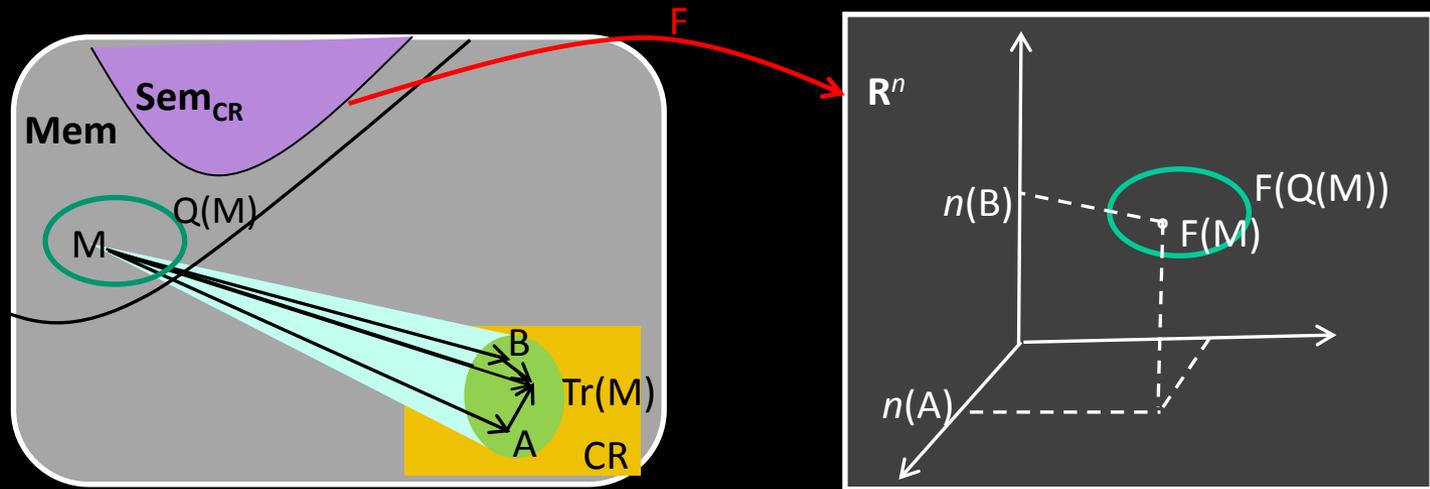
COMPARAISON AVEC GÄRDENFORS



Il définit un 'espace conceptuel' géométrique D associé à des "quality dimensions" où comparer 2 objets pour voir s'ils sont similaires et mesurer leur différence relativement à ces qualités. Un *concept naturel* est une région convexe de D .

A la 'qualité' relative à un CR, nous associons un tel espace conceptuel (indépendant du temps) : Si n est le nombre d'agents de CR, on définit une fonction partielle (non injective) F de **Mem** dans \mathbf{R}^n associant à M le vecteur $F(M)$ ayant pour coordonnées les activités des agents lorsque la trace $Tr(M)$ est activée. L'image par F de la classe de CR-similarité de M 'est' un tel "concept naturel".

COMPARAISON AVEC GÄRDENFORS

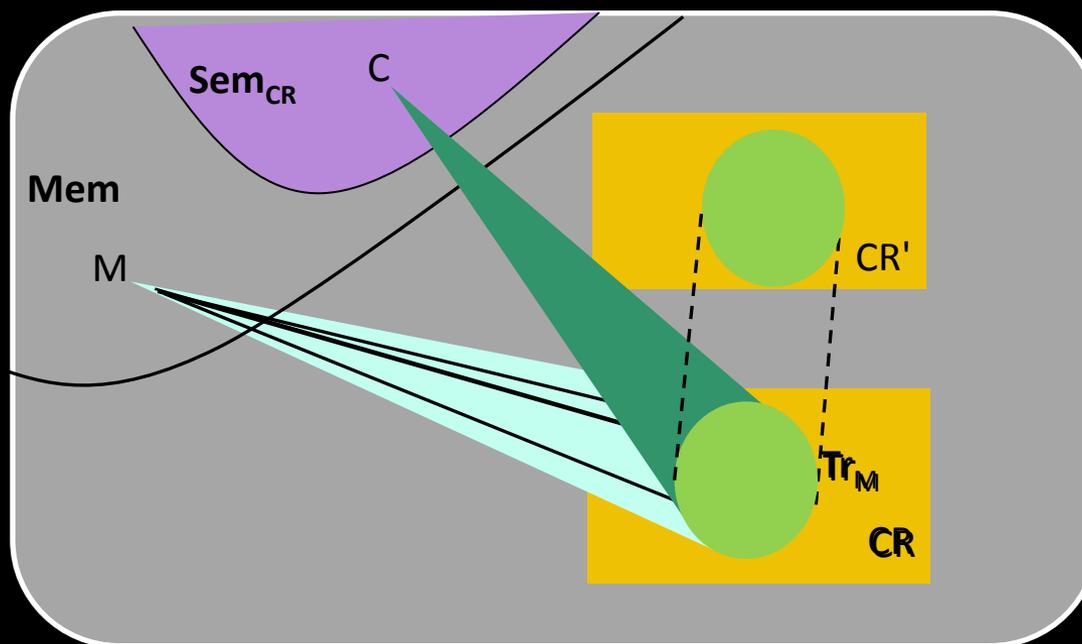


Il définit un 'espace conceptuel' géométrique D associé à des "quality dimensions" où comparer 2 objets pour voir s'ils sont similaires et mesurer leur différence relativement à ces qualités. Un *concept naturel* est une région convexe de D .

A la 'qualité' relative à un CR, nous associons un tel espace conceptuel (indépendant du temps) : Si n est le nombre d'agents de CR, on définit une fonction partielle (non injective) F de **Mem** dans \mathbf{R}^n associant à M le vecteur $F(M)$ ayant pour coordonnées les activités des agents lorsque la trace $Tr(M)$ est activée. L'image par F de la classe de CR-similarité de M 'est' un tel "concept naturel".

G. ne lui associe pas de 'symbole' (comme le sera notre CR-concept), et il n'a pas l'analogue de nos concepts plus abstraits obtenus par co/limite de CR-concepts. Mais sa notion de 'quality dimension', définie phénoménologiquement, est plus générale que celle de CR, et peut donc mener à certains concepts non 'basiques'.

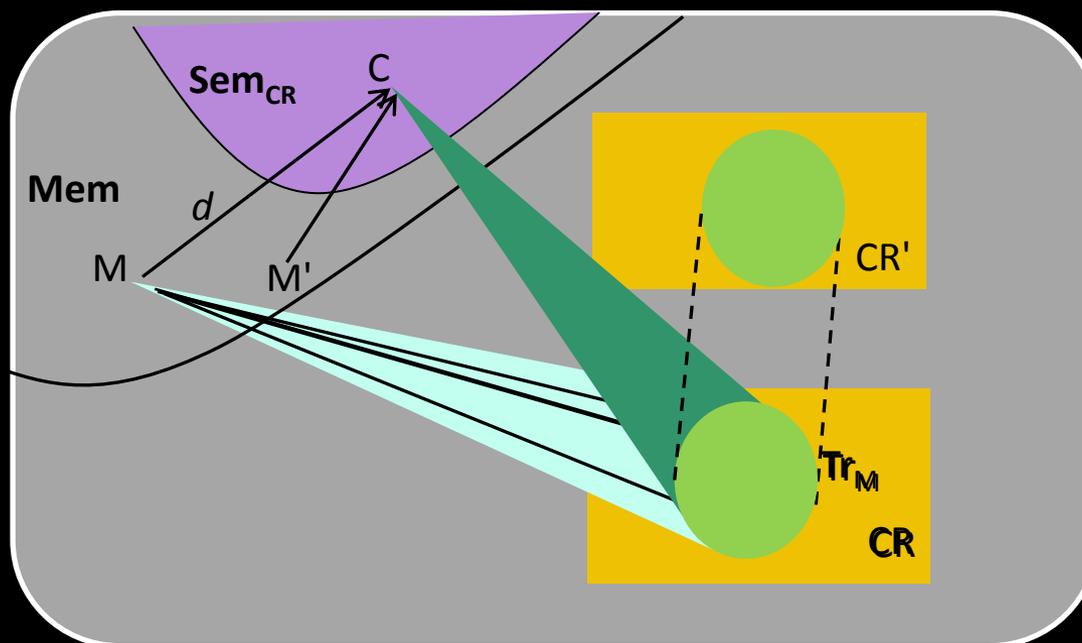
(CR-)CONCEPTS BASIQUES



CR-concept de M = limite projective C de la trace $Tr(M)$ de M .

Les CR-concepts et leurs liens forment un sous-système évolutif Sem_{CR} de Mem obtenu par complexifications 'projectives' (via des co-régulateurs supérieurs CR' qui 'observent' CR). La force des liens entre concepts mesure leur distance.

(CR-)CONCEPTS BASIQUES



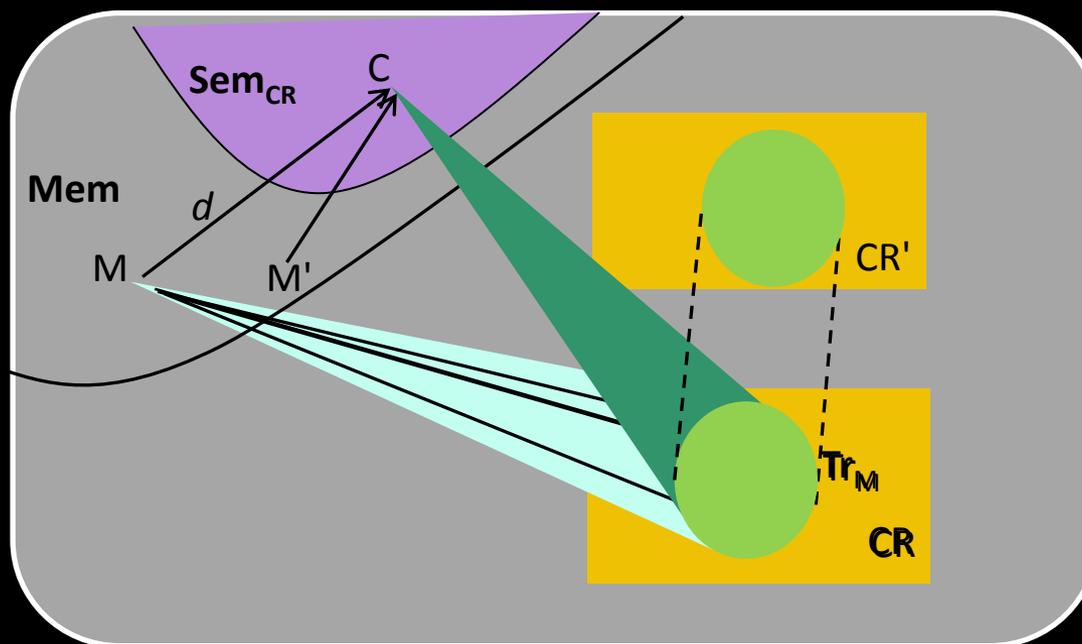
CR-concept de M = limite projective C de la trace $\text{Tr}(M)$ de M .

Les CR-concepts et leurs liens forment un sous-système évolutif Sem_{CR} de Mem obtenu par complexifications 'projectives' (via des co-régulateurs supérieurs CR' qui 'observent' CR). La force des liens entre concepts mesure leur distance.

Instance d'un CR-concept C = cat-neurone M ayant C pour réflexion dans Sem_{CR} .

C joue le rôle d'un *prototype* (au sens de Rosch) et la force du réflecteur $d: M \rightarrow C$ mesure l'écart de M avec C .

(CR-)CONCEPTS BASIQUES



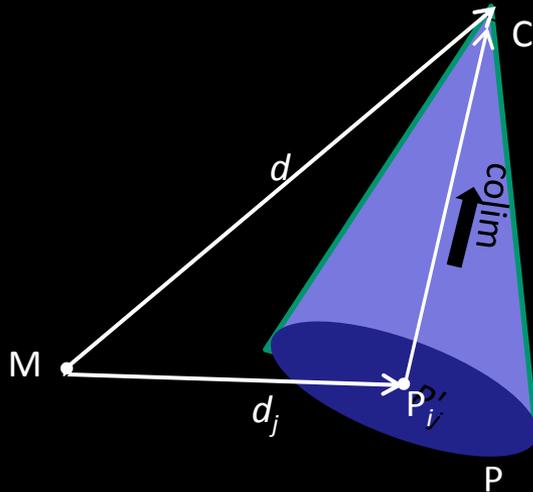
CR-concept de M = limite projective C de la trace $Tr(M)$ de M .

Les CR-concepts et leurs liens forment un sous-système évolutif Sem_{CR} de Mem obtenu par complexifications 'projectives' (via des co-régulateurs supérieurs CR' qui 'observent' CR). La force des liens entre concepts mesure leur distance.

Instance d'un CR-concept C = cat-neurone M ayant C pour réflexion dans Sem_{CR} .
 C joue le rôle d'un *prototype* (au sens de Rosch) et la force du réflecteur $d: M \rightarrow C$ mesure l'écart de M avec C .

Au cours du temps C prend sa propre identité et ses instances peuvent varier .

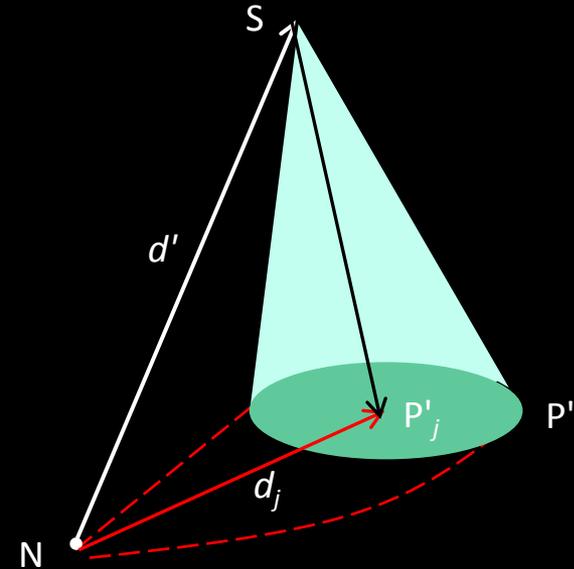
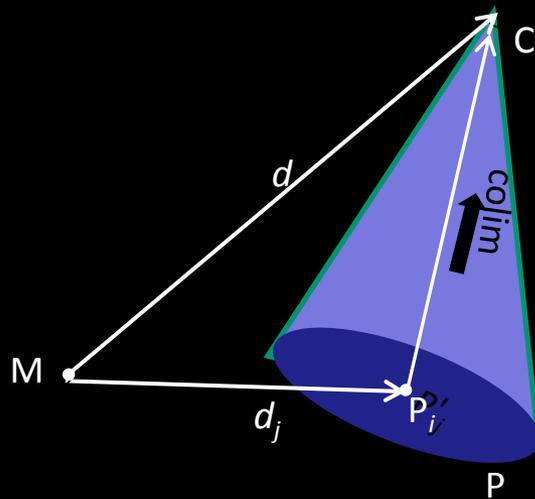
CONCEPTS GENERAUX



La *mémoire sémantique* **Sem** est construite par complexifications mixtes de l'union des \mathbf{Sem}_{CR} , ajoutant des *concepts* obtenus sous forme de colimite et/ou de limite projective de patterns psychrones de CR_j -concepts pour divers co-régulateurs CR_j .

Si $C = \text{colim}P$, où P est un pattern de concepts basiques, ses instances M sont toutes les instances des divers P_j .

CONCEPTS GENERAUX

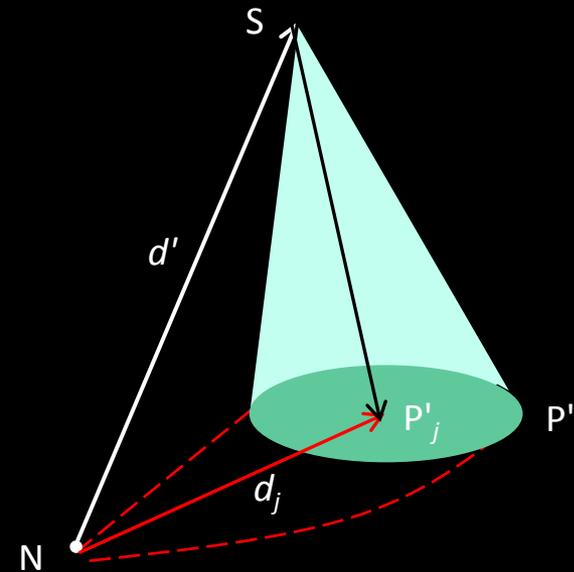
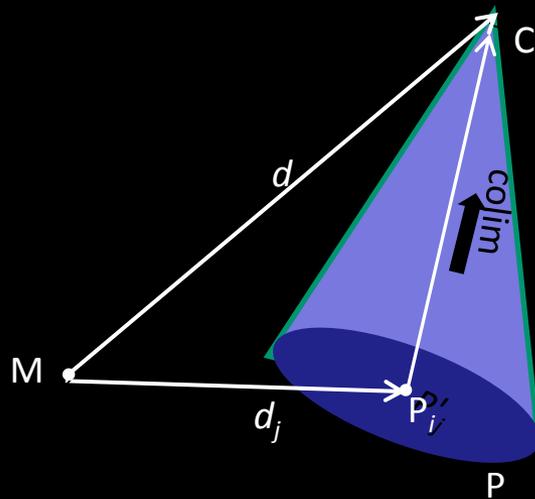


La *mémoire sémantique* **Sem** est construite par complexifications mixtes de l'union des **Sem**_{CR}, ajoutant des *concepts* obtenus sous forme de colimite et/ou de limite projective de patterns psychrones de CR_j-concepts pour divers co-régulateurs CR_j.

Si $C = \text{colim}P$, où P est un pattern de concepts basiques, ses instances M sont toutes les instances des divers P_j .

Si $S = \text{lim}P'$ une instance N de S est une instance de chaque P'_j dont les liens canoniques d_j vers P'_j forment un lien distribué vers P' , classifié par le lien canonique d' de N vers S .

CONCEPTS GENERAUX



La *mémoire sémantique* **Sem** est construite par complexifications mixtes de l'union des **Sem**_{CR}, ajoutant des *concepts* obtenus sous forme de colimite et/ou de limite projective de patterns psychrones de CR_j-concepts pour divers co-régulateurs CR_j.

Si $C = \text{colim}P$, où P est un pattern de concepts basiques, ses instances M sont toutes les instances des divers P_j .

Si $S = \text{lim}P'$ une instance N de S est une instance de chaque P'_j dont les liens canoniques d_j vers P'_j forment un lien distribué vers P' , classifié par le lien canonique d' de N vers S .

Les concepts prennent leur identité propre au cours du temps ; leur activation se fait via une de leurs instances, avec possibilité de va-et-vient entre instances.

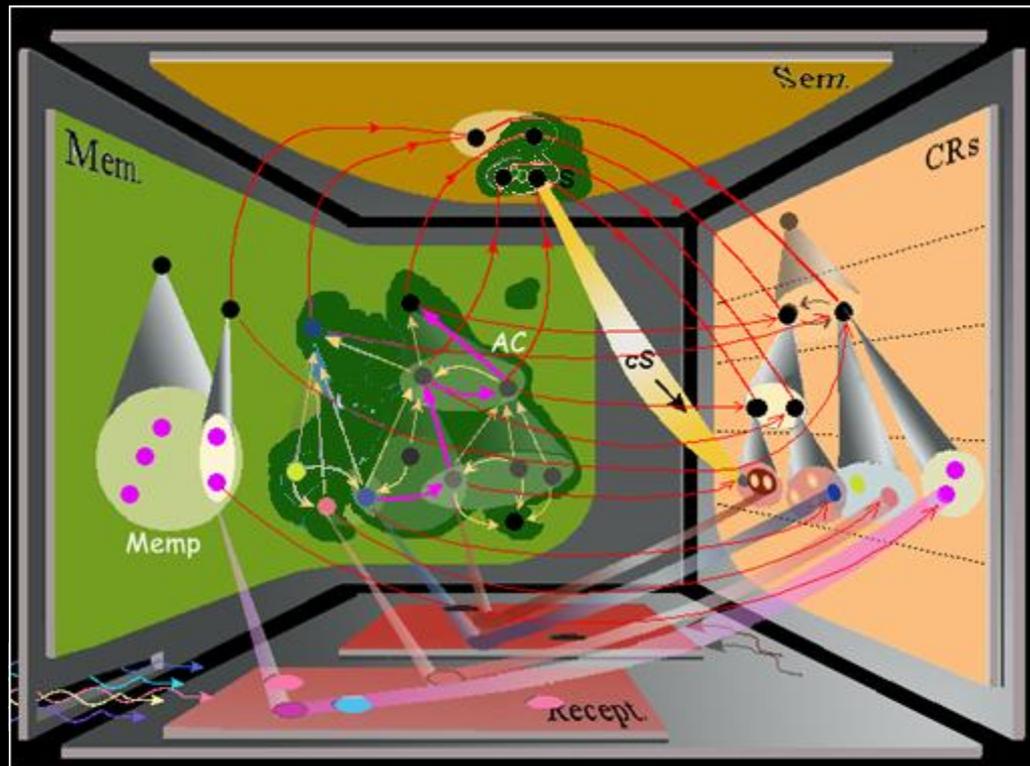
EXEMPLES MUSICAUX DE CONCEPTS

Le concept d'une œuvre musicale particulière, obtenu par colimite, a pour instances ses partitions — chaque copie de partition peut avoir ses propres annotations manuscrites, et il peut exister différentes mises en page — et ses interprétations.

En improvisation, l'entraînement entre des musiciens d'un groupe crée des concepts, obtenus par colimite de concepts élémentaires, pour des éléments de style (dont les instances sont des motifs ou enchaînements de motifs qui ont des caractères communs), éventuellement une grille harmonique (dont les instances sont les improvisations qui suivent cette grille).

Le concept de note de musique est obtenu par limite de ce concepts tels que la hauteur fondamentale, la durée, le timbre. . .

LE NOYAU ARCHETYPAL

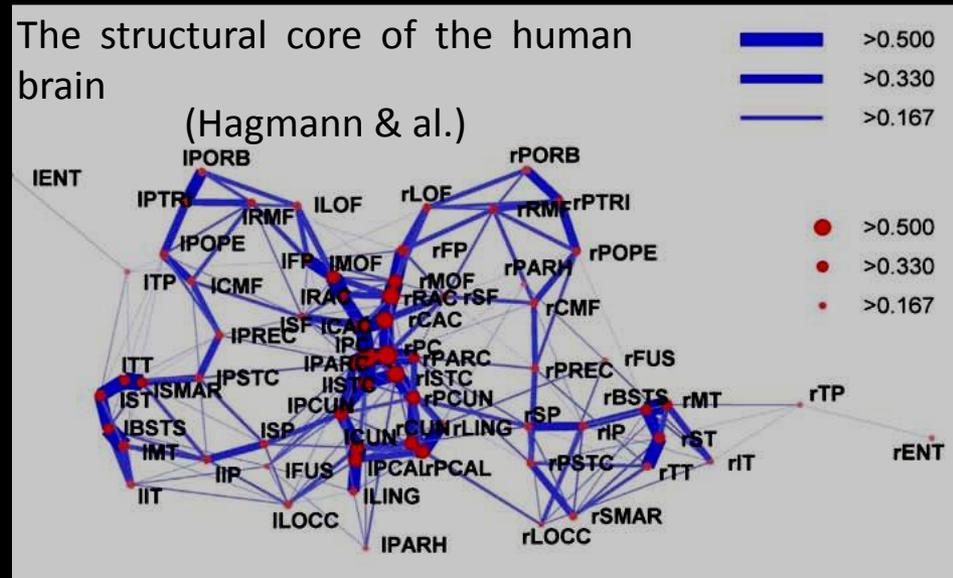


MP et **Sem** permettent le développement progressif du **Noyau Archetypal AC**.

AC = sous-système de **Mem** formé de cat-neurones d'ordres supérieurs intégrant des mémoires significatives de toutes modalités, avec nombreuses ramifications et possibilités de balancements. Leurs liens rapides et forts (via Hebb) forment des *boucles archétypales* qui maintiennent leur activation longtemps.

AC personnifie l'identité complexe de l'être ('Self'), et agit comme un *modèle interne flexible*.

LA BASE NEURALE DU NOYAU ARCHETYPAL

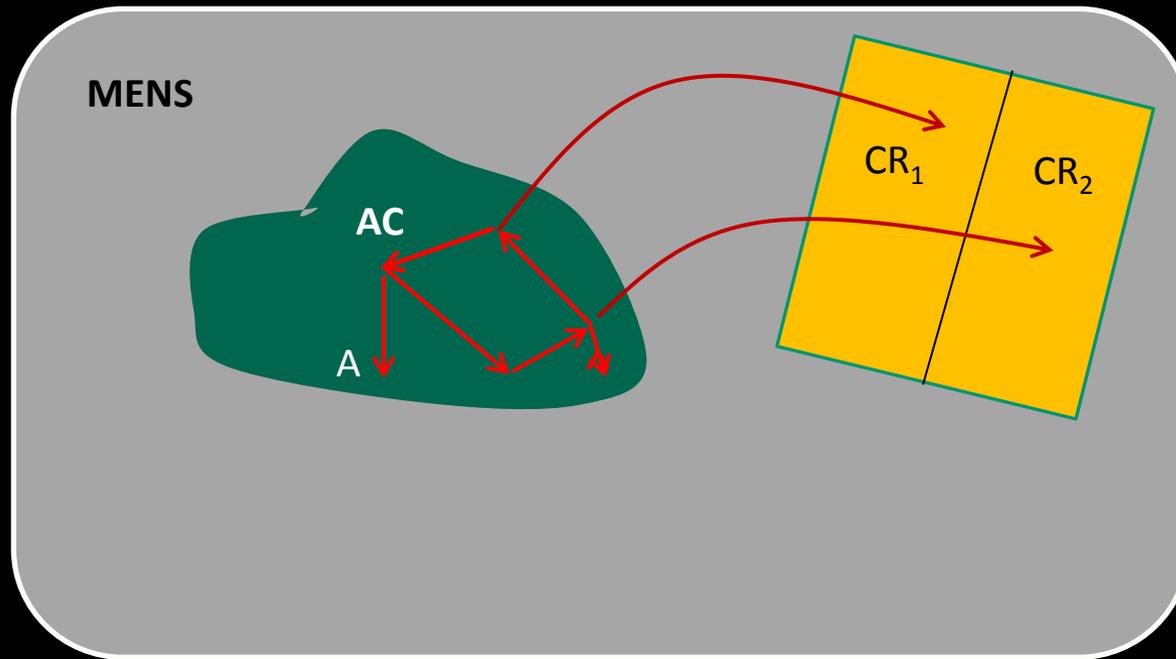


En 2008, Hagmann & al. ont découvert une partie intégrative du cerveau, le **noyau structural**, ayant les propriétés requises pour être la base de **AC**. Ils écrivent :

" Our data provide evidence for the existence of a structural core in human cerebral cortex [...] both spatially and topologically central within the brain. Its anatomical correspondence with regions of high metabolic activity and with some elements of the human default network suggests that the core may be an important structural basis for shaping large-scale brain dynamics. " *"linked to self-referential processing and consciousness. "*

Depuis on a montré que ce noyau structural forme un "rich club", avec des 'hubs' plus fortement reliés entre eux (van den Heuvels & Sporns, 2011).

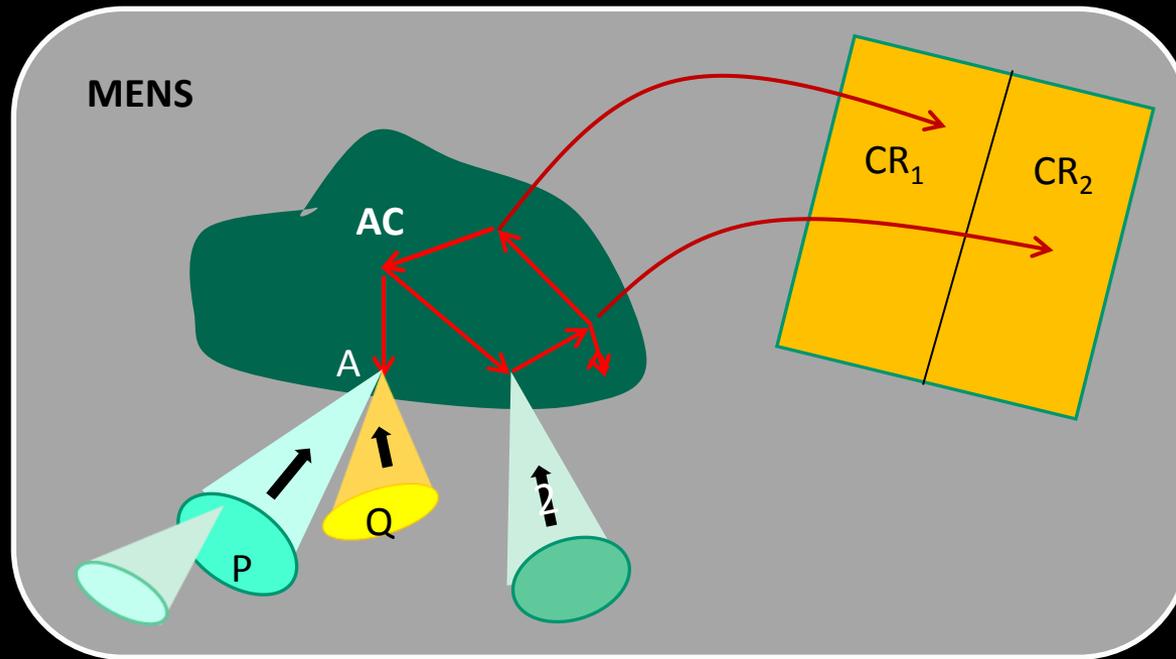
PAYSAGE GLOBAL



Co-régulateur Intentionnel = co-régulateur de haut niveau, basé sur le cortex associatif et lié à AC.

L'activation d'une partie de AC se diffuse par boucles archétypales auto-entretenues.

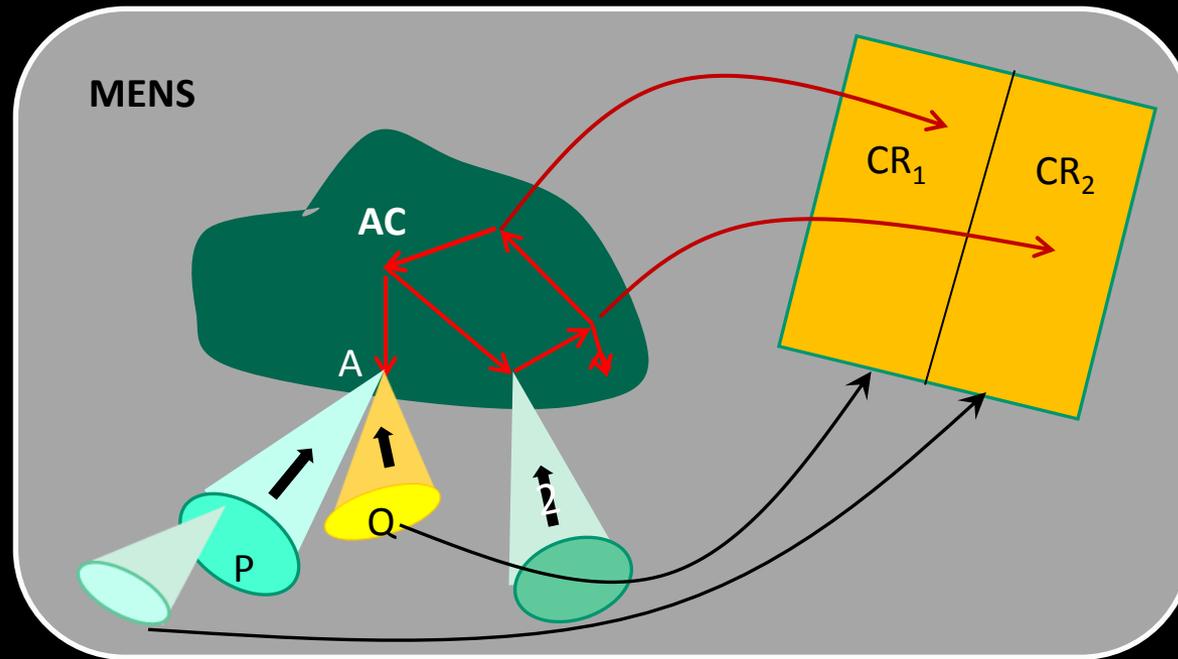
PAYSAGE GLOBAL



Co-régulateur Intentionnel = co-régulateur de haut niveau, basé sur le cortex associatif et lié à AC.

L'activation d'une partie de AC se diffuse par boucles archétypales auto-entretenues. Elle se propage à une décomposition P de A, puis, par balancement, à une autre Q, et plus bas via des ramifications qui 'rappellent' le proche passé de A.

PAYSAGE GLOBAL



Co-régulateur Intentionnel = co-régulateur de haut niveau, basé sur le cortex associatif et lié à AC.

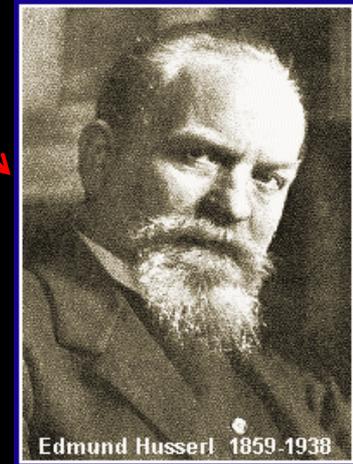
L'activation d'une partie de AC se diffuse par boucles archétypales auto-entretenues. Elle se propage à une décomposition P de A, puis, par balancement, à une autre Q, et plus bas via des ramifications qui 'rappellent' le proche passé de A.

Retransmise à des CR intentionnels, il se forme un *paysage global* GL unissant leurs paysages, les étendant à des niveaux inférieurs, "re-tenant" le proche passé, et durant plus longtemps. Ces GL 'glissent' dans le temps en se chevauchant.

REMARQUES SUR LE PAYSAGE GLOBAL

GL est le lieu où se déroulent les processus de rétention et protention décrits par Husserl :

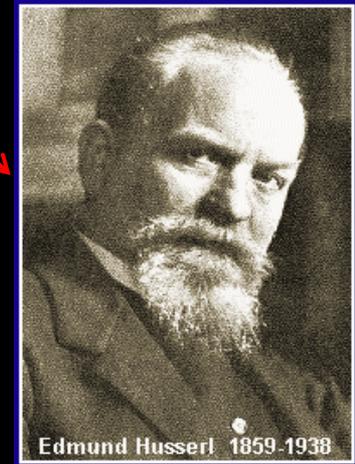
" À tout moment, il y a dans la conscience une présence des phénomènes passés tout comme il y a une anticipation ou une projection du futur. Il y a dans le présent une *rétention* du passé (rétention primaire si c'est un passé immédiat, rétention secondaire si c'est un souvenir plus lointain) et une *protention* du futur (de ce qui va immédiatement arriver). "



REMARQUES SUR LE PAYSAGE GLOBAL

GL est le lieu où se déroulent les processus de rétention et protention décrits par Husserl :

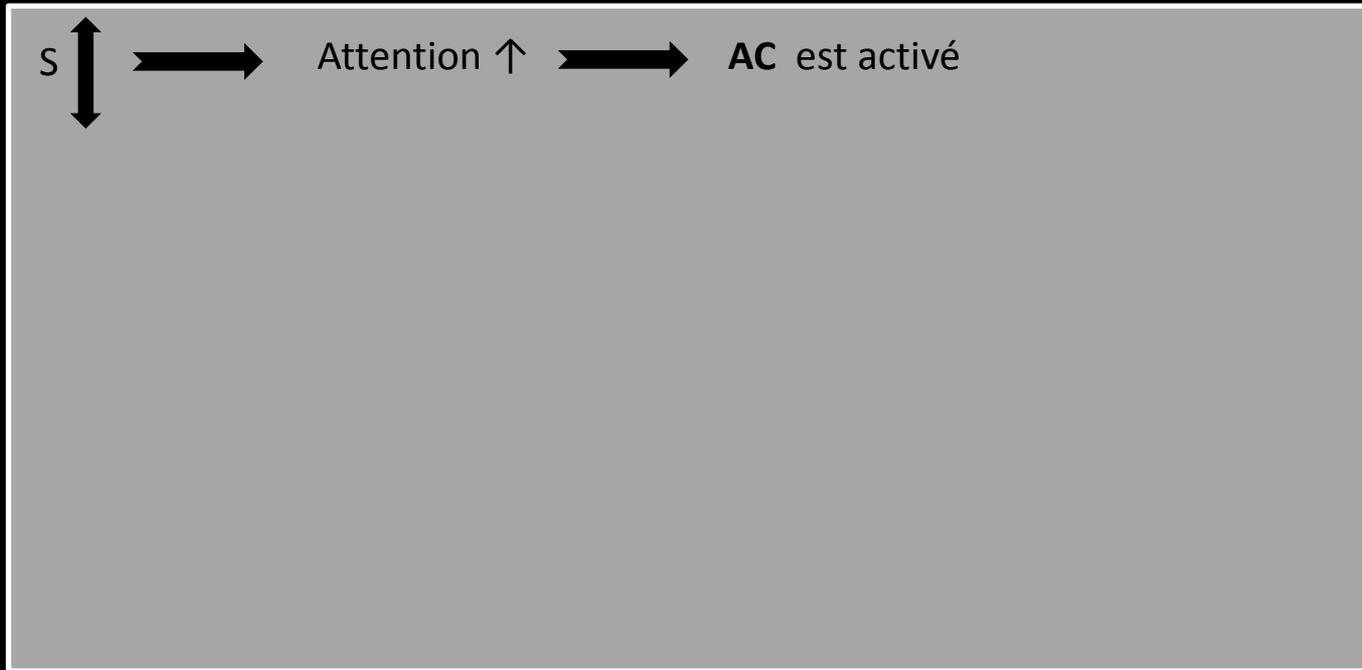
" À tout moment, il y a dans la conscience une présence des phénomènes passés tout comme il y a une anticipation ou une projection du futur. Il y a dans le présent une *rétention* du passé (rétention primaire si c'est un passé immédiat, rétention secondaire si c'est un souvenir plus lointain) et une *protention* du futur (de ce qui va immédiatement arriver). "



Le paysage global est à rapprocher du "Global Workspace" de Baars (1997) qui est " closely related to conscious experience, though not identical to it ", et illustré par la métaphore du "théâtre de la conscience". La théorie a été développée par d'autres auteurs (e.g. Dehaene, Sergent & Changeux, 2003).

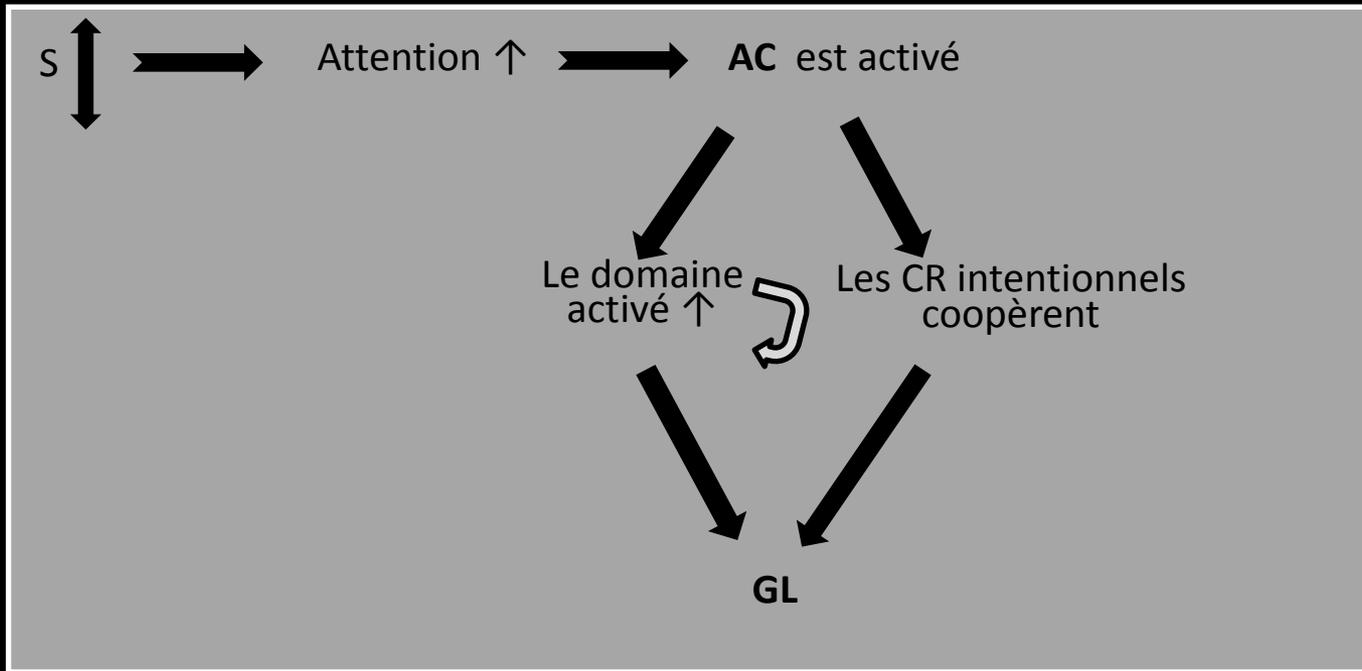
La différence avec ces auteurs est que **GL** est inclus dans **MENS**, donc construit par complexifications à partir de **NEUR**.

PROCESSUS CONSCIENTS ET/OU CRÉATIFS



Un évènement nouveau ou inattendu S ('novelty', 'surprise', cf. Boden) augmente l'attention , activant une partie de **AC**

PROCESSUS CONSCIENTS ET/OU CRÉATIFS

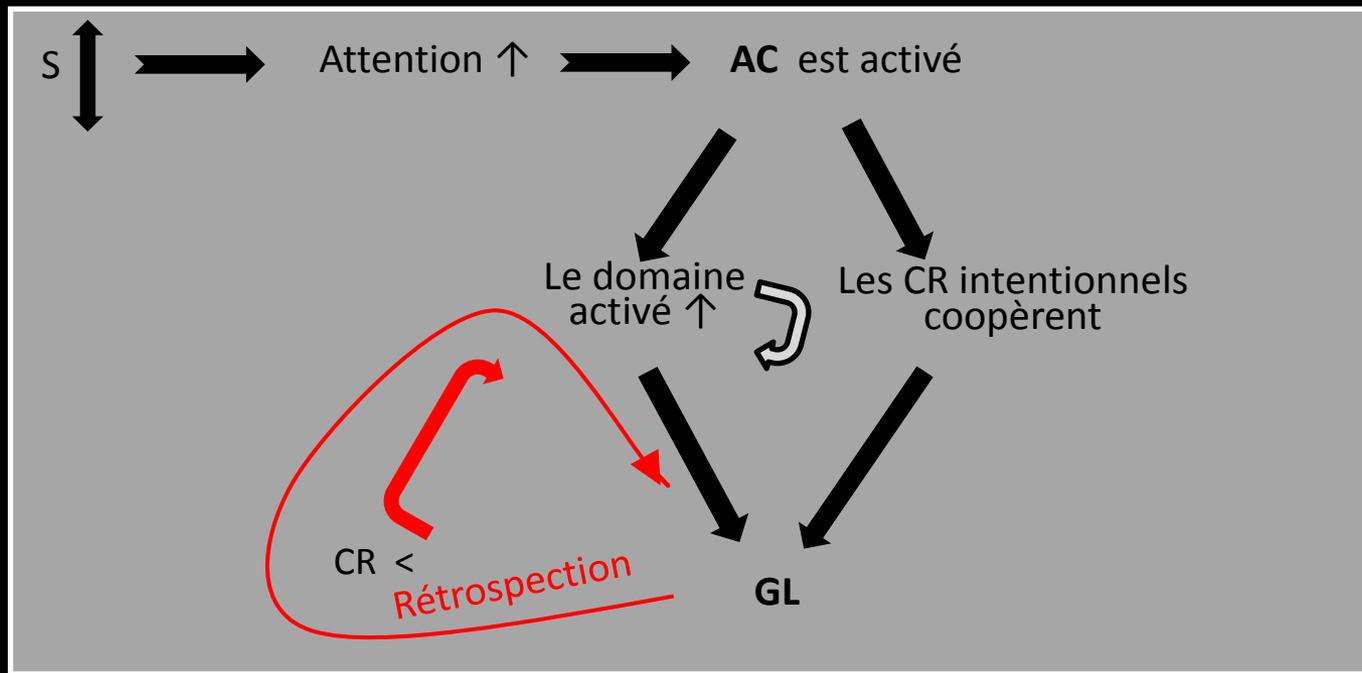


Un évènement nouveau ou inattendu S ('novelty', 'surprise', cf. Boden) augmente l'attention, activant une partie de **AC**

==> formation d'un paysage global **GL** à long terme, permettant des *processus conscients* par intégration de la dimension temporelle via des processus imbriqués :

1. **rétrospection** par analyse de la situation actuelle avec rappel du passé proche et recherche par abduction des causes possibles de S ("exploration" pour Boden). ;

PROCESSUS CONSCIENTS ET/OU CRÉATIFS

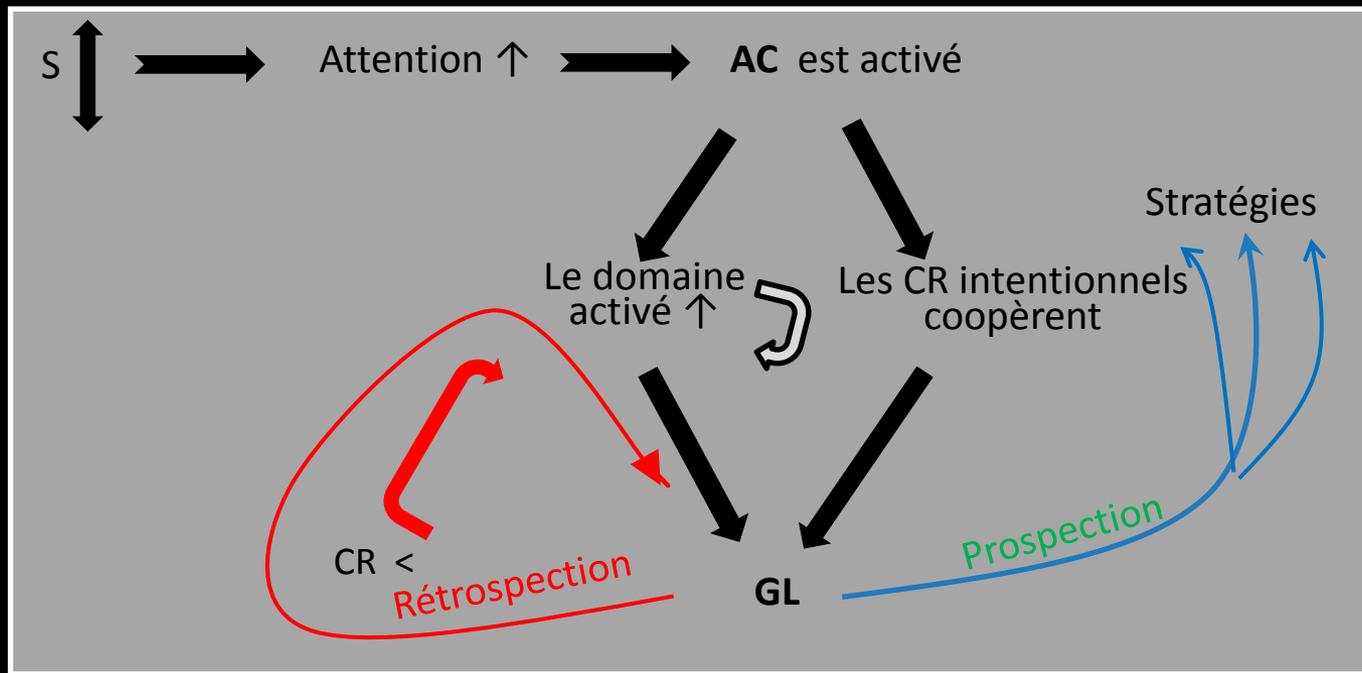


Un évènement nouveau ou inattendu S ('novelty', 'surprise', cf. Boden) augmente l'attention, activant une partie de AC

==> formation d'un paysage global GL à long terme, permettant des *processus conscients* par intégration de la dimension temporelle via des processus imbriqués :

1. **rétrospection** par analyse de la situation actuelle avec rappel du passé proche et recherche par abduction des causes possibles de S ("exploration" pour Boden). ;

PROCESSUS CONSCIENTS ET/OU CRÉATIFS



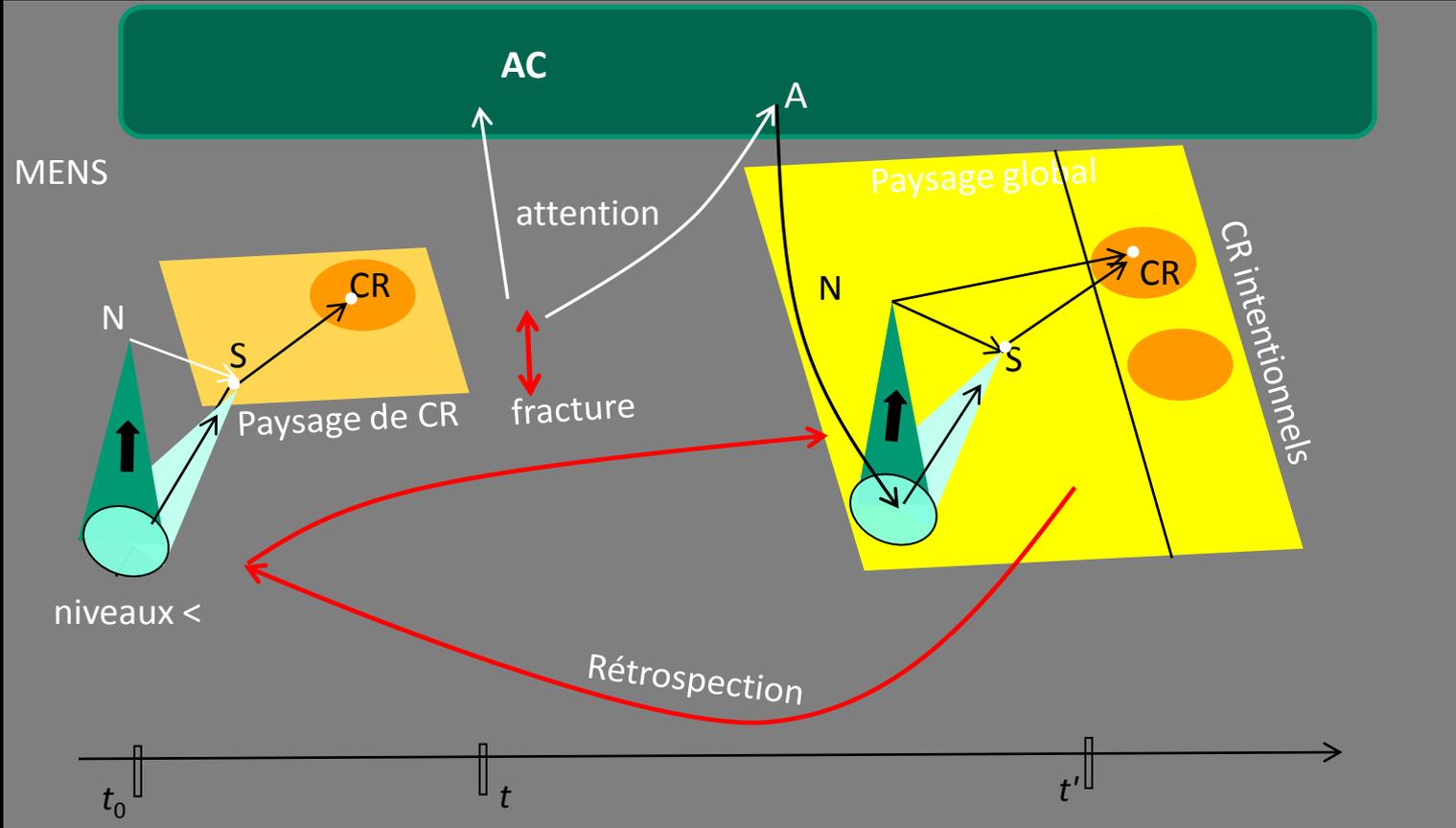
Un évènement nouveau ou inattendu S ('novelty', 'surprise', cf. Boden) augmente l'attention, activant une partie de AC

==> formation d'un paysage global GL à long terme, permettant des *processus conscients* par intégration de la dimension temporelle via des processus imbriqués :

1. **rétrospection** par analyse de la situation actuelle avec rappel du passé proche et recherche par abduction des causes possibles de S ("exploration" pour Boden). ;

2. **prospection** pour chercher des 'stratégies' possibles à long terme, les évaluer et en choisir une.

RETROSPECTION



Un stimulus inattendu S cause une fracture en t pour un corégulateur intentionnel CR . Celle-ci augmente l'attention, qui active AC et, par propagation de son activation, un paysage global est formé. Dans celui-ci des attributs de S seront activés par AC et leurs liens à S retrouvés par rétrospection, d'où activation de leur colimite N et de son lien à S , cause probable de S .

PROSPECTION

La prospection se développe à partir du paysage global **GL**, avec **AC** comme moteur. Elle consiste à construire à partir de **GL** par complexifications des paysages 'virtuels' plus ou moins complexes où des suites de procédures/stratégies à long terme sont simulées sans coût, et évaluées en tenant compte de ce qui a été mémorisé. Le processus peut se faire en plusieurs étapes, alternant rétrospection et prospection. Finalement une stratégie à long terme est choisie et réalisée.

PROSPECTION

La prospection se développe à partir du paysage global **GL**, avec **AC** comme moteur. Elle consiste à construire à partir de **GL** par complexifications des paysages 'virtuels' plus ou moins complexes où des suites de procédures/stratégies à long terme sont simulées sans coût, et évaluées en tenant compte de ce qui a été mémorisé. Le processus peut se faire en plusieurs étapes, alternant rétrospection et prospection. Finalement une stratégie à long terme est choisie et réalisée.

Exemple : "*Conceptual blending*" de Fauconnier et Turner :

" blending, a cognitive operation whereby elements of two or more "mental spaces" are integrated via projection into a new, blended space which has its own, unique structure. "

PROSPECTION

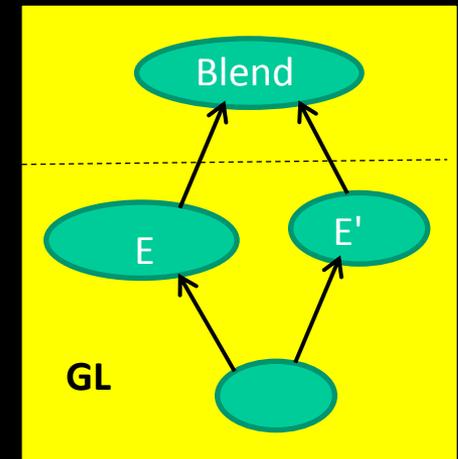
La prospection se développe à partir du paysage global **GL**, avec **AC** comme moteur. Elle consiste à construire à partir de **GL** par complexifications des paysages 'virtuels' plus ou moins complexes où des suites de procédures/stratégies à long terme sont simulées sans coût, et évaluées en tenant compte de ce qui a été mémorisé. Le processus peut se faire en plusieurs étapes, alternant rétrospection et prospection. Finalement une stratégie à long terme est choisie et réalisée.

Exemple : "*Conceptual blending*" de Fauconnier et Turner :

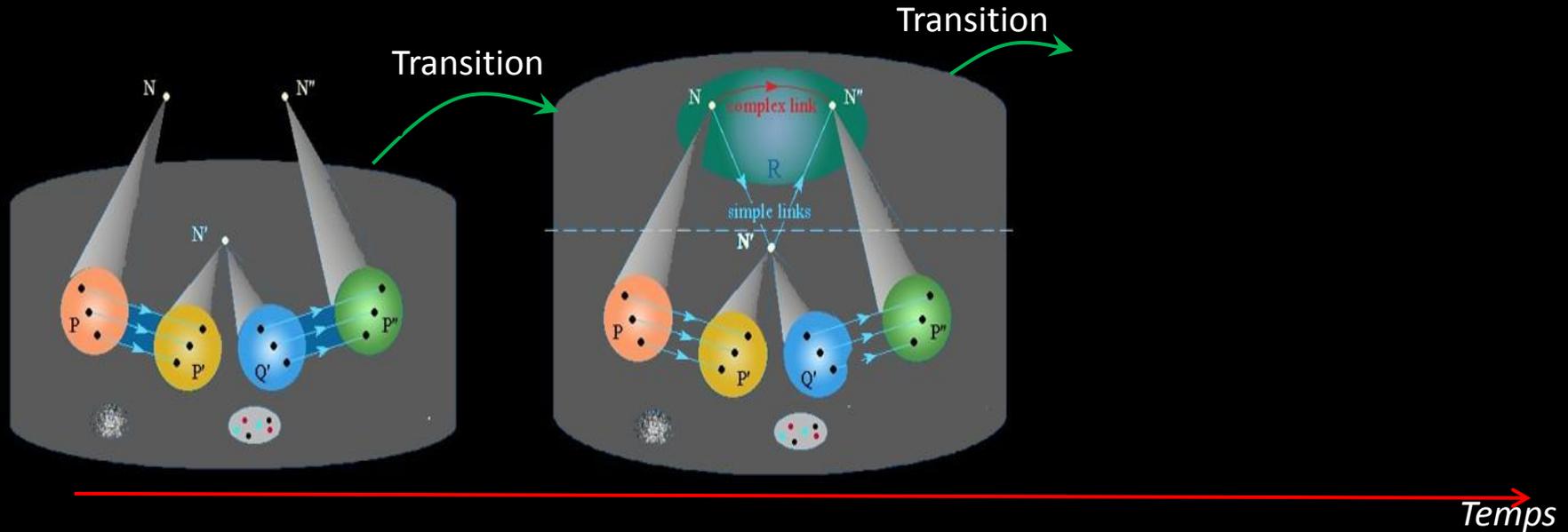
" blending, a cognitive operation whereby elements of two or more "mental spaces" are integrated via projection into a new, blended space which has its own, unique structure. "

2 parties E et E' de **GL** étant données, leur 'blending' B est un paysage virtuel obtenu par formation d'un 'push-out' des 2 identifiant leurs éléments analogues (déterminés par rétrospection). Les opérations de composition, complétion, élaboration, ... effectuées dans B correspondent à la construction de paysages virtuels successifs.

Certaines *métaphores* sont construites ainsi.

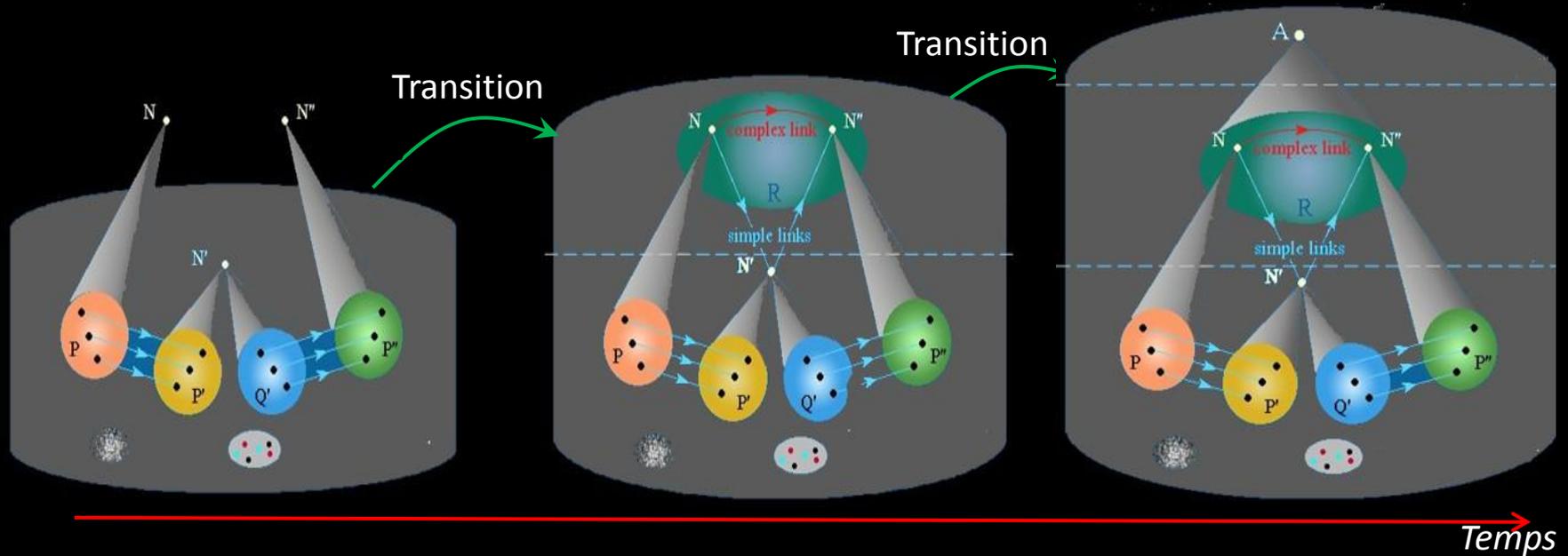


ANTICIPATION. PROCESSUS CRÉATIFS



Des scénarios directement inspirés par le présent, l'environnement contextuel et les tendances actuelles sont obtenus par complexifications de paysages virtuels dans **GL** qui ajoutent, suppriment ou/et combinent des composants et même des CRs ("composition" de Boden, "coherent blending" de Fauconnier & Turner).

ANTICIPATION. PROCESSUS CRÉATIFS



Des scénarios directement inspirés par le présent, l'environnement contextuel et les tendances actuelles sont obtenus par complexifications de paysages virtuels dans GL qui ajoutent, suppriment ou/et combinent des composants et même des CRs ("composition" de Boden, "coherent blending" de Fauconnier & Turner).

Des scénarios plus créatifs ou souhaités peuvent être réalisés via la formation de complexifications itérées dans des paysages virtuels successifs, menant à l'émergence d'éléments de complexité croissante, non directement déductibles de la situation actuelle (l'itération de complexifications n'étant pas réductible à une seule)

==> créativité "Transformationnelle" au sens de Boden.

EXEMPLE : RÉTROSPECTION LORS D'UNE RÉPÉTITION D'UN ENSEMBLE

Le noyau archétypal d'un ensemble de musiciens qui travaillent beaucoup ensemble contient le vécu de leurs expériences communes, des lieux de travail ou de concert fréquemment utilisés, des réflexes (inconscients) et conventions (conscientes) de communication.

Les fractures telles que les décalages ou attaques ratées peuvent demander de rejouer plusieurs fois le passage d'une pièce en essayant à chaque fois des stratégies différentes.

CONCLUSION



Changeux

ESPRIT	MENS	CERVEAU
Simple Objet Mental	(Cat)-neurone niveau 0 Cat-neuron de niveau 1	Neurone Classe d'assemblées neuronales polychrones
"Algèbre des objets mentaux"	Cat-neurone de niveau n	Classe de hyper-assemblées (= assemblées ⁿ) neuronales polychroness
Propriétés Emergentes	Objets multiformes, MP, Liens Complexes	Dégénérescence du code neural
Self	Noyau Archétypal Paysage Global	Structural core
Conscience Anticipation Créativité	Rétrospection/ Prospection dans paysages virtuels	Consciousness loop Dynamic core (Edelman & Baars)

MP est la caractéristique rendant possible l'émergence d'objets mentaux complexes et le développement du Noyau Archétypal à la base du Soi, de la conscience en tant qu'intégration du passé et du futur, et des processus cognitifs supérieurs (anticipation, créativité, ...)

POUR PLUS D'INFORMATIONS

Memory Evolutive Systems: Hierarchy, Emergence, Cognition,
Elsevier, 2007.

MENS, a mathematical model for cognitive systems, *JMT* 0-2,
2009.

Internet sites contenant la plupart de nos articles :

<http://ehres.pagesperso-orange.fr>

<http://vbm-ehr.pagesperso-orange.fr>

MERCI