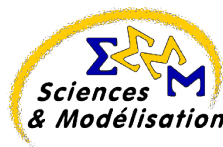


Modélisation des échanges d'informations entre l'hippocampe et le cortex

Ikram CHRAIBI KAADOUD



Directeur de Recherche :
Frédéric Alexandre

Date limite :
8 Janvier 2014

Sommaire

Introduction	1
I. Thème de recherche : L'hippocampe et ses interactions avec le cortex.....	2
A. Présentation du thème de recherche	2
B. Structures cérébrales et implication dans la mémoire	3
1. L'hippocampe	3
2. Le cortex cérébral.....	4
3. L'amygdale	5
II. Etat de l'art en modélisation.....	5
A. Base de la modélisation informatique	5
B. Hippocampe et Mémoire associative	6
C. Cortex cérébral et Perceptron multicouche	8
III. Boucle de circulation de l'information lors de l'apprentissage et du rappel.....	9
A. Fonctionnement.....	9
B. Gestion des données et entrées.....	10
C. Pattern de complétion, de séparation et limites connues.....	11
IV. Conclusion.....	13
Bibliographie	14

Introduction

Rassemblant 1 800 chercheurs de l'institut et près de 1 600 universitaires ou chercheurs, l'INRIA de Bordeaux, ou Institut National de Recherche en Informatique et en Automate, est un établissement de recherche à caractère scientifiques et technologiques. A l'origine de la publication de 5000 articles en 2011 et de la création de 110 start-ups la même année, l'INRIA est le berceau des nouvelles technologies. Organisé en équipe-projet, il couvre cinq domaines de recherches : le premier concerne les Sciences et Technologies pour l'Information et la Communication (STIC) pour les sciences de la vie et de l'environnement. Le second domaine traite des mathématiques appliquées avec calcul et simulation. Le troisième invite à se pencher sur la perception, la cognition et l'interaction avec le monde physique sous toutes ses formes. Le quatrième domaine aborde et étudie le domaine des réseaux, systèmes et services ainsi que celui du calcul distribué. Enfin le dernier domaine, concerne l'algorithmique, la programmation, les logiciels et leur architectures.

C'est au sein de l'équipe Mnemosyne de l'INRIA, sous la responsabilité de son directeur et chercheur Frédéric Alexandre, que j'ai l'opportunité de réaliser mon stage de deuxième année de master en sciences cognitives. L'Equipe-Projet, dont le thème est la médecine computationnelle et les neurosciences, cherche à modéliser le cerveau « comme un système de mémoires actives en synergie et en interaction avec les mondes interne et externe ».

Elle cherche donc à en comprendre le fonctionnement biologique, cognitif et chimique, afin de dégager des axes des modélisations et surtout réussir à proposer une approche intégrative innovante. Mnemosyne souhaite ainsi contribuer d'une part, aux neurosciences et à la médecine - science du vivant - et d'autre part, à l'informatique et l'intelligence artificielle, toutes deux sciences du numérique.

C'est ainsi, au sein de cette équipe, que j'ai entamé mon travail de recherche sur le cerveau et ses composants lors de processus d'acquisition et de restitution de souvenirs.

I. Thème de recherche : L'hippocampe et ses interactions avec le cortex

A. Présentation du thème de recherche

Sous le titre « Modélisation des échanges d'information entre l'hippocampe et le cortex », le stage a pour thématique principale l'hippocampe.

En effet, ce composant cérébral est un des centres d'intérêt de la communauté scientifique depuis longtemps. S'efforçant de l'étudier afin de le comprendre et de le modéliser, celle-ci s'intéresse particulièrement à ses capacités de mémoires associatives. Ainsi, différents modèles ont été proposés mais tous semblent aujourd'hui insuffisants, car difficilement exploitables, et cela pour deux raisons principales.

La première concerne les capacités de stockage limitées de ces modèles, et la seconde concerne la manière dont l'information circule dans l'hippocampe, à partir et vers le cortex entorhinal. En effet, cette dernière reste peu claire et laisse entendre qu'il reste encore beaucoup d'études possibles à réaliser dans ce domaine-là.

C'est cette dernière question qui sera le point central du stage : en s'y intéressant principalement, nous espérons ainsi mettre en évidence des solutions de codage plus efficaces entre l'hippocampe et le cortex. Nous pourrions, peut-être, ainsi participer à la résolution de la première question, à savoir l'amélioration des capacités de stockage des modèles.

C'est à ce niveau-là que la modélisation informatique intervient. À partir des avancées médicales, des neurosciences et des conclusions tirées des expérimentations, l'informatique va proposer des modèles visant d'une part à représenter artificiellement un cerveau et son fonctionnement standard. Et d'autre part, ces modèles vont permettre d'explorer des pistes pour résoudre des questions en suspens sans mettre des personnes en danger et sans se heurter aux limites humaines et sociales.

B. Structures cérébrales et implication dans la mémoire

1. L'hippocampe

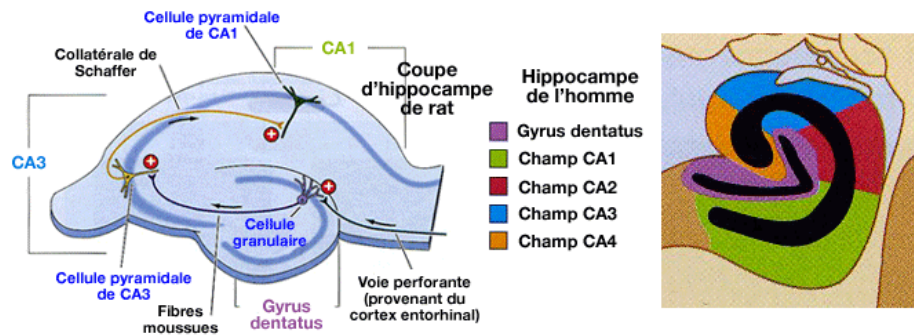


Figure 1 : L'hippocampe et ses sous-structures

L'hippocampe est une des structures principales du cerveau. En étroite relation avec le cortex, il est présent de manière symétrique dans chaque hémisphère.

Lieu de la mémoire épisodique [8, 19, 20], l'hippocampe est composé de sous structures – figure 1- ayant chacune un rôle déterminant dans la construction rapide, éventuellement en une seule fois, de la mémoire événementielle complexe.

Grace à la littérature scientifique de ces dernières années, il a été possible de dégager trois fonctions principales pour cette structure cérébrale : la navigation spatiale [14], l'inhibition du comportement [11] et la mémoire. C'est cette dernière fonction qui va nous intéresser.

L'implication de l'hippocampe dans la mémoire a été démontrée par le cas de Henry Gustav Molaison*[19]. A la suite d'une opération d'ablation de l'hippocampe, visant à diminuer ses crises épileptiques, ce patient présenta une sévère amnésie antérograde ainsi qu'une amnésie rétrograde partielle. En d'autre termes, H.M. était incapable de former de nouveaux souvenirs épisodiques et avait perdu la mémoire des événements précédents sa chirurgie. Chose surprenante cependant, il pouvait à l'époque, toujours se souvenir d'évènements plus anciens (comme les souvenirs d'enfance). L'hypothèse dégagée à l'époque soutient que lors de la consolidation des souvenirs, ceux-ci sont peu à peu transférés vers une autre mémoire.

Grace à ce cas et d'autres patients présentant des lésions hippocampiques (observations de Scoville et Brenda Milner) [7], il a été ainsi mis en évidence le rôle de l'hippocampe pour l'apprentissage d'épisodes, soit de cas particuliers dans la vie d'un individu.

2. *Le cortex cérébral*

Le terme cortex, désigne en fait le cortex cérébral qui correspond à la substance grise englobant les hémisphères cérébraux. C'est donc une structure paire, comme l'hippocampe, avec lequel elle est en étroite relation. Cette substance grise se distingue en plusieurs lobes ou aires cérébrales – zones fonctionnelles aux caractéristiques particulières - assurant chacune une fonction cognitive précise [18].

Si l'hippocampe apprend rapidement des épisodes, le cortex se caractérise par un apprentissage lent des régularités (généralités et concepts) [1].

Une fois un épisode enregistré, il sera possible de se le rappeler via l'activation de différentes régions corticales (car la mémoire est diffuse). L'activation répétée de ces régions va aboutir au bout d'un certain temps, à un renforcement des liens entre les neurones de ces zones. Cela permettra ainsi, progressivement, de moins en moins solliciter l'hippocampe comme agent de liaison jusqu'au point où ce dernier n'interviendra plus du tout pour le rappel.

Au niveau d'un individu, cela implique, qu'un seul élément permettra le rappel de toute une scène, et chacun des éléments de cette dernière pourra servir d'indice pour faire ressurgir à la conscience le reste.

Ce phénomène correspond au transfert progressif d'un souvenir - épisode – à un souvenir plus ancien [2]. L'incorporation de nouveaux détails aux anciens, aboutira à des abstractions. C'est pour cela que certains de nos souvenirs semblent s'emmêler de détails anciens et nouveaux.

Ce renforcement entre différentes zones corticales, correspond à l'apprentissage du cortex cérébral. Ce dernier apprend lentement grâce aux épisodes stockés dans l'hippocampe. Les scientifiques supposent que c'est notamment pendant les phases de repos ou de sommeil profond que l'hippocampe apprend un même souvenir des milliers de fois au cortex. Ainsi ce dernier, qui a besoin d'un grand volume d'exemples pour apprendre, dispose ainsi des éléments nécessaires afin d'extraire ses régularités.

En résumé, alors que l'hippocampe apprend des configurations particulières de traits perceptifs, le cortex va enregistrer des régularités perceptives.

Il est à noter cependant, que seule la mémoire des faits et des événements est « déléguée » au cortex. La mémoire spatiale reste confinée à l'hippocampe – en particulier le droit – car celui-ci aurait la capacité, grâce aux « cellules de lieu » de recréer une carte mentale de l'espace [17].

Enfin, le cortex cérébral, en particulier, le cortex moteur, intervient avec d'autres structures – cervelet et ganglions de la base - dans la mémoire procédurale, c'est-à-dire, celle du savoir-

faire. L'hippocampe n'intervient pas du tout à ce niveau-là. C'est ce qui explique que la mémoire des mouvements reste souvent intacte lors de lésions hippocampiques, mais est affectée lors de maladie neurodégénératives.

3. *L'amygdale*

L'amygdale est la structure essentielle à la prise de décision et de l'apprentissage. Elle reçoit deux types de stimuli : les stimuli conditionnels (Conditioned Stimuli ou CS en anglais) et les stimuli inconditionnels (Unconditioned Stimuli ou US en anglais). Les premiers sont annonceurs des seconds. Ces derniers peuvent être de deux types : Punition ou Récompense.

L'apprentissage de l'amygdale a pour but la correction et l'ajustement de son système de prédiction des US à partir des CS reçus, en fonction de l'erreur qu'elle a commise. Cela peut être assimilé à un apprentissage lent de régularités.

C'est grâce à cet apprentissage que l'amygdale est capable par la suite de faire de la prise de décision.

Néanmoins, elle n'est capable de traiter que des problèmes relativement simples. Pour les autres types de problèmes, elle sollicite le cortex et l'hippocampe.

Lorsqu'un problème complexe survient et que l'amygdale ne peut déterminer de solution, elle interagit alors avec le cortex et l'hippocampe. Elle peut alors se baser sur les régularités sensorielles du premier et sur les cas particulier appris par le second afin de prendre une décision et de solutionner la situation. [1]

Le modèle AGREL explicite comment l'émergence de catégorie au niveau du cortex permet à l'amygdale de continuer à prendre des décisions simples, en laissant au cortex la tâche de décomplexifier les problèmes. [5]

II. *Etat de l'art en modélisation*

A. *Base de la modélisation informatique*

Afin de reconstruire les concepts liés au cerveau, de les étudier et d'en simuler le fonctionnement, les chercheurs utilisent des réseaux de neurones artificiels. De nombreux types de réseaux existent aujourd'hui pour représenter les différents types de mémoires, on parle alors de modèle. L'unité minimale d'un modèle repose sur un neurone formel.

Il s'agit d'une représentation artificielle mathématique et informatique d'un neurone biologique :

Un neurone reçoit des entrées ou signaux transmis par d'autres neurones (interaction dendrites- synapse). Au niveau du corps (soma), il réalise les opérations nécessaires. Si le résultat obtenu est supérieur au seuil d'activation, le neurone décharge alors. Dans ces modèles, les neurones sont souvent binaires : ils ont pour sortie 1 si le seuil a été atteint, sinon 0.

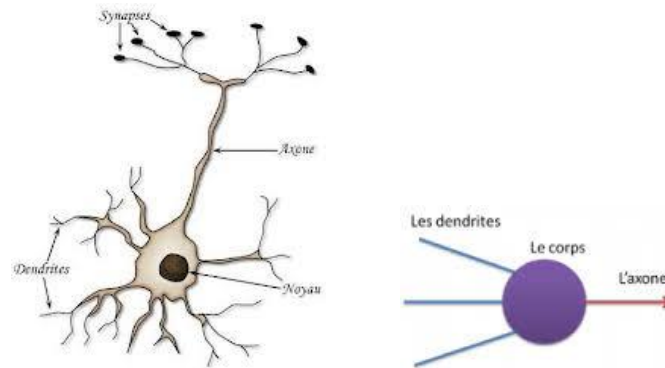


Figure 2: Un neurone biologique et un neurone formel

Loi de HEBB :

Cette loi est utilisée comme concept dans le domaine des neurosciences et modèle pour les représentations mathématiques et informatiques. Etablie par Donald HEBB en 1949, cette loi propose ce qui suit « Quand deux neurones s'activent simultanément au cours d'un événement donné, il se crée ou se renforce un lien les unissant » [12].

Ainsi mathématiquement, plus deux neurones seront stimulés ensemble, plus le poids entre ces deux unités va être modifié afin de faciliter par la suite la stimulation.

Ce postulat donnant lieu à une règle d'apprentissage permet l'étude d'ensemble de réseaux de neurones et notamment l'exploitation de réseaux de neurones artificiels.

B. Hippocampe et Mémoire associative

CA3 est le lieu supposé de stockage des informations reçues et des épisodes appris. Cette sous structure peut être modélisée par une mémoire auto-associative.

De manière générale, les mémoires associatives, correspondent à un ensemble de neurones connectés les uns avec les autres. Dans ce modèle, il n'y a pas de notion de couche organisée mais d'un ensemble interconnecté. Néanmoins, on appelle « couche d'entrée » les premiers neurones qui reçoivent les signaux et « couche de sorties » ceux qui fournissent la (ou les) sortie(s) du modèle. Dans une mémoire auto-associative, les neurones de la couche d'entrée sont ceux de la couche de sorties. Cela implique donc que tous les neurones sont

connectés les uns aux autres. La matrice – modèle mathématique – représentant cela, comprendra alors autant de lignes que de colonnes.

A contrario, une mémoire hétéro-associative, possédera un nombre de neurone de la couche d'entrée et de sortie différent. La matrice aura alors un nombre de ligne et de colonnes différents.

Ces mémoires stockent les informations en apprenant des corrélations entre des stimuli différents.

Ainsi si 2 stimuli sont fortement corrélés, cela implique que lorsqu'un est présenté en tant qu'indice, l'autre est susceptible d'être récupéré.

Ce type de mémoire est adressable par son contenu : ce n'est pas l'adresse qui est essentielle à la récupération d'un souvenir, mais la nature de l'indice. En effet, les connaissances mémorisées sont distribuées dans le système et non localisées à une adresse.

L'avantage de ce type de modèle réside d'une part, dans la possibilité de restituer une information, même si l'indice est incomplet ou non complètement correct. Et d'autre part, si une lésion d'une partie du circuit survient, alors l'information ne disparaît pas, elle est juste plus floue ou sujette à des erreurs.

Comme l'hippocampe apprend des épisodes rapidement, les mémoires auto-associatives se caractérisent par un apprentissage en un seul cycle (one shot learning), dit rapide.

Une situation (ou un petit nombre d'exemple) est présentée au modèle. Ce dernier va alors activer ses neurones d'entrées et de sorties en même temps. Les poids – valeur des liaisons entre deux neurones – vont alors varier selon la loi de HEBB. Ce sont ces poids qui vont permettre la conservation des exemples ou de l'évènement dans le réseau.

Il s'agit donc d'un apprentissage non supervisé, puisqu'il n'y a pas d'ajustement des poids en fonction d'une sortie attendue. En effet, lors de l'apprentissage de l'épisode ou événement, on ne connaît pas la sortie attendue.

La restitution d'un souvenir dans ce cas-là, est un processus lent.

A la présentation d'un indice (exemple incomplet, odeur, couleur, etc.), le modèle voit ses neurones s'activer. Il y a alors un processus de stabilisation qui entre en jeu, assez lent, afin d'atteindre la convergence entre l'exemple perçu et le prototype – souvenir mémorisé - connu le plus proche [16]. Cela permet ainsi un rappel approximatif.

Plus l'indice est détaillé, plus le rappel sera exact et rapide à restituer.

C. Cortex cérébral et Perceptron multicouche

Un perceptron est un modèle de réseau de neurones simple qui se caractérise par au minimum deux couches de neurones distinctes : une couche d'entrée et une couche de sortie. L'objectif d'un perceptron est de permettre la modélisation d'une stimulation d'un neurone (de la couche de sortie) par d'autres neurones (ceux de la couche d'entrée).

Chaque neurone possède un seuil d'activation, et comme vu précédemment, si celui-ci est atteint alors le neurone est activé avec une sortie égale à 1, sinon c'est 0. On parle alors de modèle de neurone binaire. La sortie peut aussi être un réel (non binaire), tout dépend du but recherché.

L'atteinte du seuil se fait par la somme des entrées et en prenant en compte le poids de chacune d'entre elles. Ainsi, le stimulus généré par une entrée est calculé selon la fonction de transfert établie (fonction mathématique faisant partie du traitement au niveau du soma). C'est ce résultat qui est comparé au seuil et qui détermine si le neurone considéré est activé ou non. Si un perceptron possède une ou plusieurs couches supplémentaires aux couches d'entrées et de sorties, il s'agit alors d'un perceptron multicouche et ces couches sont dites cachées. Avec le même but qu'un perceptron simple, il permet néanmoins de solutionner des problèmes plus complexes et non juste ceux qui sont linéairement séparables. C'est cela qui justifie l'utilisation d'un modèle de perceptron multicouche pour la modélisation du cortex cérébral.

Le perceptron est un modèle d'apprentissage dit « supervisé ». Cela implique qu'un superviseur intervient lors de l'apprentissage afin d'ajuster le perceptron pour qu'il apprenne ce qu'il faut. Cela s'illustre comme ce qui suit :

Le perceptron reçoit des entrées. En fonction des poids de chaque liaison et de la fonction de transfert, il génère une sortie dite obtenue. Ce résultat est comparé à la sortie attendue afin de déterminer une erreur. Cette dernière est alors utilisée, afin de réajuster les valeurs des poids (c'est la rétro propagation du gradient de l'erreur). L'expérience est répétée jusqu'à ce que la sortie attendue et obtenue soit tellement proche que l'erreur soit acceptable. Ainsi, le poids de chacune de ces liaisons est l'élément clef du fonctionnement du réseau.

Par ailleurs, un perceptron n'apprend jamais parfaitement, il faut donc fixer un seuil de tolérance de l'erreur dans le modèle. Une fois celui-ci atteint, le perceptron est considéré ayant bien appris.

Cette phase d'ajustement est la phase d'apprentissage. C'est ce que fait l'hippocampe en fournissant des épisodes au cortex lors des phases de sommeil ou de repos. Schématiquement, il permet d'ajuster les poids des liaisons les plus sollicitées en apportant le résultat attendu. Il peut ainsi être considéré comme le « superviseur » de l'apprentissage du cortex.

En raison de la lenteur et de la complexité des algorithmes en jeu, cette phase est la plus lente. Cependant, une fois calibrée, la réponse du réseau de neurones, et donc du cortex est quasi-immédiate.

Aujourd'hui le modèle informatique le plus proche de l'hippocampe est « la mémoire associative ». Celle-ci est un modèle qui permet de simuler le fonctionnement de la structure surtout au niveau de la mémoire et de son stockage. Quant au cortex, le modèle correspondant est le perceptron multicouche puisqu'il permet de reproduire son apprentissage lent et sa restitution rapide.

III. Boucle de circulation de l'information lors de l'apprentissage et du rappel

L'une des premières étapes du stage a été la compréhension de la gestion de l'hippocampe de ses entrées.

A. Fonctionnement

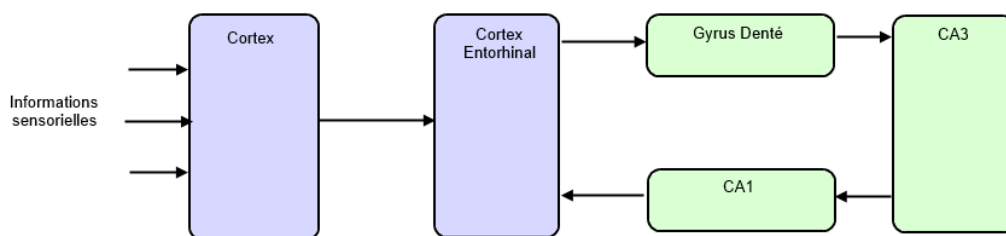


Figure 3: Boucle tri-synaptique

Le cortex entorhinal (EC) est la porte d'entrée de l'hippocampe. Les informations à traiter passent par cette structure. Le schéma général pour l'encodage de nouveaux souvenirs dans l'hippocampe, tel que représenté dans la figure 3, commence par le cortex.

Ce dernier lorsqu'il reçoit des informations – entrées - va envoyer un signal d'activation au système de l'EC qui va alors intégrer les entrées à l'hippocampe. Les signaux vont alors être transmis au Gyrus Denté (DG), puis à CA3. C'est à ce niveau-là, que l'apprentissage en une fois se fait, puisque cette sous-structure est assimilée à une mémoire auto-associative. Les neurones ou unités actives sont donc liés ensembles grâce à un apprentissage hebbien rapide. C'est l'apprentissage via ce chemin de pro action, dit feedforward pathway que la représentation, et l'information est encodée [16,6].

Une fois l'activation des unités faite au niveau de CA3, elle se propage rapidement vers CA1. Ce dernier à la réception de l'activation, va en réaliser sa propre représentation. C'est cette dernière qui sera ensuite transférée vers l'EC. Les deux représentations des informations de l'EC dans CA1 et CA3, bien que différentes, sont liées ensemble par un apprentissage interconnecté.

Cette boucle unidirectionnelle porte le nom de circuit tri-synaptique. Elle s'inscrit dans une boucle plus générale comprenant le cortex entorhinal, l'hippocampe et le subiculum.

Le mécanisme de rappel d'un souvenir utilise le même circuit. A partir d'une amorce (un indice sensoriel), un processus s'enclenche.

L'amorce transmise du cortex à l'EC fait l'objet d'une représentation de ce dernier qu'il transmet ensuite au DG. Ce dernier, comme pour un apprentissage, transmet l'information au CA3. A ce niveau-là, l'apprentissage préalable grâce au feedforward pathway et les connexions récurrentes de CA3 vont permettre de retrouver l'information encodée la plus proche et ainsi de compléter l'amorce. C'est ainsi que l'hippocampe pourra fournir la représentation originale complète. Cette dernière va ensuite activer la représentation de CA1 correspondante grâce à des connexions facilitées. Cette région étant réversible (ce qui sera détaillé par la suite), elle est alors capable de recréer la représentation originale complète de l'EC.

B. Gestion des données et entrées

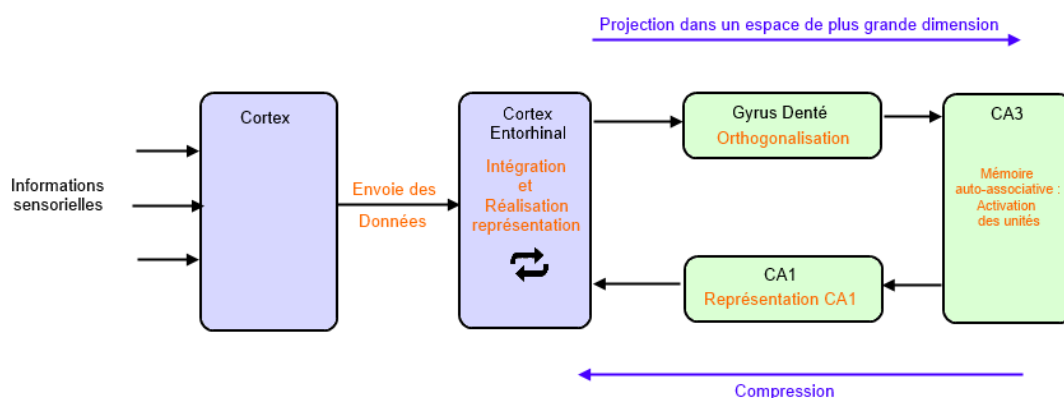


Figure 4: Gestion des données dans la boucle tri-synaptique

Nous allons reprendre les explications précédentes en incluant une nouvelle dimension : celle des modifications des entrées dans le circuit tri-synaptique, soit la gestion de données.

CA3 est une structure de réseau récurrent dont le principe d'association distribuée est capturé par le modèle de mémoire auto-associative. Or ce type de mémoire nécessite des entrées clairsemées et aussi différentes (orthogonales) que possibles pour éviter des recouvrements ou des effets de saturations. Ce processus d'orthogonalisation est réalisé à l'entrée de l'hippocampe par le Gyrus Denté : il s'agit de la projection des entrées (ici en l'occurrence les représentations EC) dans un espace de plus grande dimension avec un codage éparsé (sparsity) qui permet d'obtenir des entrées clairsemées.

Cela semble se justifier par le fait que les mémoires associatives apprennent certes vite, mais saturent très vite aussi. Orthogonaliser les entrées, permet de les différencier encore plus et ainsi minimiser le risque de confusion et de saturation lors de l'apprentissage.

Une fois ce dernier réalisé, l'activation des unités se propage à CA1. Or à ce niveau-là, l'information est dans un format différent de celui que peut traiter le cortex entorhinal. En effet, à ce stade, les représentations de CA3 et de l'EC sont différentes. Les chercheurs estiment que pour cela, CA1 permet en réalité de réaliser une représentation réversible de la représentation de l'EC.

En d'autres termes, CA3 renvoie l'état des neurones de la mémoire auto-associative à CA1. Cette dernière va donc « désorthogonaliser » (re-compresser) les données afin qu'elles reconstituent la représentation de l'EC, à l'origine du traitement.

Le mécanisme de la région CA1 est ainsi essentiel pour le processus de rappel d'information.

C. Pattern de complétion, de séparation et limites connues

Les deux explications précédentes sont en réalité incomplètes. Un élément déjà cité possède un rôle majeur pas encore explicité : le cortex entorhinal.

En réalité, lorsqu'une information lui est présentée, deux processus peuvent avoir lieu : un pattern complétion ou un pattern séparation [16].

Détaillons ces deux notions :

Le **pattern complétion** est un mécanisme qui prend en entrée une donnée partielle – sous-ensemble d'un souvenir stocké - et ainsi en complète les parties manquantes.

Le **pattern séparation** s'illustre d'une autre manière : à l'arrivée d'une entrée sensorielle sur le cortex entorhinal, ce dernier va déterminer un pourcentage de ressemblance avec ce qu'il connaît déjà (ce qui est déjà stocké). En fonction de cela et du seuil dit de vigilance, le DG va alors déterminer s'il s'agit d'une complétion ou d'une nouvelle entrée.

Si la comparaison aboutit à la conclusion qu'il faut un nouvel apprentissage, alors CA3 va enregistrer l'ensemble de la donnée (la partie qu'elle connaît et la nouvelle).

Ainsi, c'est le DG qui détermine le pattern à appliquer et cela est justement l'une des problématiques posées au monde de la recherche.

Selon l'entrée, le DG va devoir tantôt réaliser une complétion, tantôt une séparation. Il existe dans le schéma général, une dualité entre ces deux processus qui n'est pas encore totalement éclaircie et dont on ne connaît pas encore tous les rouages.

De plus, selon le seuil de vigilance, l'exigence du DG peut aboutir soit à un ajout massif de nouvelles entrées, soit à aucune entrée mais que des complétions.

Les nouveaux détails seront alors ajoutés aux prototypes déjà mémorisés et le risque de saturation et d'erreur sera alors plus important.

Par ailleurs, la question du seuil de vigilance se pose aussi puisqu'on ne connaît, pour l'instant toujours pas la structure responsable de sa valeur et du choix de celle-ci [\[3,4\]](#).

IV. Conclusion

A l'issue de cette première période de pré-stage, nous aurons été capables de nous approprier une partie des notions et concepts nécessaires. C'est ainsi que nous avons, d'une part, étudié l'hippocampe et le cortex au niveau anatomique, puis fonctionnel avant de réussir à déterminer les zones d'ombres. Et d'autres part, l'étude des différents modèles existants, nous a permis d'en comprendre le fonctionnement et les limites.

L'étude de la circulation des informations au niveau du cortex cérébral n'étant pas finie, elle n'a pas été présentée dans ce pré-mémoire. En effet, beaucoup de recherches sont encore nécessaires afin d'explicitier la gestion des données dans cette structure-là, et son interaction avec le cortex entorhinal qui semble être un élément clé dans les échanges avec l'hippocampe.

La prochaine étape sera, à partir de Janvier, de maîtriser les modèles existants abordés précédemment – les mémoires auto-associatives et le perceptron multicouche.

Parallèlement à cela, nous continuerons une veille informationnelle dans le domaine des neurosciences et l'exploration du cortex au niveau des données.

Nous planifions ensuite, dès le mois de Février, de participer à la conception d'un modèle comportant un hippocampe artificiel, un cortex artificiel et un système d'interaction entre les deux. A ce stade, la modélisation d'un système complet n'est pas le but recherché. En effet, cela prendrait trop de temps et est très complexe. Le but serait de se limiter à des fonctions précises – la mémoire - et d'essayer de déterminer le fonctionnement de l'ensemble dans ce cadre-là.

Ainsi nous espérons proposer des solutions de fonctionnement et des réponses aux deux problématiques de départ, à savoir l'amélioration des capacités de stockage des modèles, et une meilleure compréhension des interactions entre l'hippocampe et cortex cérébral.

Sur une période de 6 mois, nous espérons que 5 seront ainsi alloués à la modélisation informatique et à l'exploitation des résultats.

Bibliographie

- [1] Beati T. & Alexandre F. (2013). *Comment associer l'apprentissage de régularités et de cas particuliers ? Un modèle bio-inspiré*, Lors du CAP'13, Conférence Française d'Apprentissage Automatique (soumis)
- [2] Bontempi B., Laurent-Demir C., Destrade C. & Jaffard R. (1999) *Time-dependent reorganization of brain circuitry underlying long-term memory storage*, Nature, vol 400, p 671-675.
- [3] Carpenter, G.A. & Grossberg, S. (2003), *Adaptive Resonance Theory*, In Michael A. Arbib (Ed.), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, Second Edition, pp. 87-90
- [4] Carpenter G.A., Grossberg S., (2009). *Adaptive Resonance Theory*. Encyclopedia of Machine Learning, CAS/CNS Technical Report 2009-008.
- [5] Carrere M. & Alexandre F. (2013). *Emergence de catégories par interaction entre systèmes d'apprentissage*. In P. Preux and M. Tommasi, editors, Conférence Francophone sur l'Apprentissage Automatique (CAP), 2013.
- [6] Cohen, J.D. & O'Reilly, R.C. (1996). *A Preliminary Theory of the Interactions Between Prefrontal Cortex and Hippocampus that Contribute to Planning and Prospective Memory*. M. Brandimonte, G.O. Einstein & M.A. McDaniel (Eds) Prospective Memory: Theory and Applications, p.267-296
- [7] Draganski et al. (2006) *Temporal and Spatial Dynamics of Brain Structure Changes during Extensive Learning*, The Journal of Neuroscience
- [8] Eichenbaum, Cohen NJ (1993). *Memory, Amnesia, and the Hippocampal System*. MIT Press.
- [9] Eriksson PS, Perfilieva E, Bjork-Eriksson T, Alborn AM, Nordborg C, Peterson DA & Gage FH (1998) *Neurogenesis in the adult human hippocampus*. Nat. Med.
- [10] Gorojovsij R. & Alexandre F. (2013). *Models of Hippocampus for pavlovian learning*. RESEARCH REPORT, N° 8377, Project-Teams MNEMOSYNE

- [11] Gray JA, McNaughton N (2000). *The Neuropsychology of Anxiety: An Enquiry into the Functions of the Septo-Hippocampal System*. Oxford University Press.
- [12] HEBB Donald Olding (1949) *The Organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*, Wiley, New York
- [13] McClelland, J.L., McNaughton, B.L. & O'Reilly, R.C. (1995). *Why There are Complementary Learning Systems in the Hippocampus and Neocortex: Insights from the Successes and Failures of Connectionist Models of Learning and Memory*. *Psychological Review*, 102, 419-457.
- [14] O'Keefe J, Dostrovsky J (1971). *The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat*.
- [15] O'Reilly, R.C. & McClelland, J.L. (1994). *Hippocampal Conjunctive Encoding, Storage, and Recall: Avoiding a Tradeoff*. *Hippocampus*, 4, p.661-68
- [16] O'Reilly, R.C. & Rudy, J.W. (2001). *Conjunctive Representations in Learning and Memory: Principles of Cortical and Hippocampal Function*. *Psychological Review*, 108, p.311-345.
- [17] Poucet B. & Save E. (2001), *Le chef d'orchestre de la mémoire spatiale*. *La mémoire et l'oubli*, n°344, p.36
- [18] R. Saban (2002) *Conception de la physiologie cérébrale de François-Joseph Gall à Paul Broca : les localisations des fonctions cérébrales*, in *Biométrie humaine et anthropologie* - Tome 20, numéros 3-4, p. 195 à 203.
- [19] Scoville, WB, Milner B (1957). *Loss of Recent Memory After Bilateral Hippocampal Lesions* *J. Neurol. Neurosurg. Psych.*
- [20] Squire, LR; Schacter DL (2002). *The Neuropsychology of Memory*. Guilford Press.

Résumé

La compréhension du cerveau et de son fonctionnement sont des domaines de recherche des plus prisés. C'est notamment les échanges entre l'hippocampe, siège de la mémoire épisodique, et le cortex, siège de la mémoire sémantique, qui sollicitent le plus de questions. Différents modèles ont été proposés mais tous semblent aujourd'hui insuffisants car difficilement exploitables.

Ainsi, en réalisant une revue fonctionnelle des structures cérébrales au niveau de la mémoire, ainsi qu'une étude des modèles informatiques, ce pré-mémoire permet, d'une part, de donner les bases de la compréhension de ces structures et d'autre part, de mettre en exergue les zones d'ombres des échanges entre ces deux éléments.

Des axes d'études et de développements sont ainsi déterminés pour la conception ultérieure d'un nouveau modèle informatique.

Mots-clés :

Hippocampe – Cortex – Apprentissage – Mémoire épisodique – Mémoire sémantique
– Modélisation – Perceptron – Mémoire associative - Circuit tri-synaptique