



HAL
open science

Étude de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement : Approche expérimentale et modélisation

Jérôme Rodrigues

► **To cite this version:**

Jérôme Rodrigues. Étude de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement : Approche expérimentale et modélisation. domain_other. Université Victor Segalen - Bordeaux II, 2006. Français. NNT: . tel-00129664

HAL Id: tel-00129664

<https://theses.hal.science/tel-00129664>

Submitted on 8 Feb 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Victor Segalen Bordeaux 2
Institut de Cognitique
Laboratoire de Sciences Cognitives (EA 487)

Année : 2006

Thèse n° 1412

THESE
pour le
DOCTORAT DE L'UNIVERSITE BORDEAUX 2

Mention : Sciences Cognitives

Présentée et soutenue publiquement

Le 08/12/06

Par JÉRÔME RODRIGUES

Né le 23/03/1978 à Pessac (Gironde)

Titre de la Thèse

Étude de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux
de traitement : Approche expérimentale et modélisation

Membres du Jury

Président :	BERNARD CLAVERIE (PU 16)
Rapporteurs :	JEAN-PIERRE ROSSI (PU 16) RÉMY VERSACE (PU 16)
Examineurs :	MARC-MICHEL CORSINI (MCU 27) GUY TIBERGHIE (PU 16)
Directeur de Thèse :	BERNARD N'KAOUA (PU 16)

à mes parents et grands-parents . . .

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je tiens à remercier les membres du jury pour m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail. Je tiens particulièrement à remercier monsieur Bernard Claverie pour avoir présidé le jury, messieurs Jean-Pierre Rossi et Rémy Versace pour m'avoir fait le plaisir d'être mes rapporteurs et, enfin, monsieur Guy Tiberghien pour avoir fait le déplacement en tant que « simple » examinateur.

Je dois aussi remercier à nouveau monsieur Bernard Claverie pour m'avoir accueilli, depuis le DEA, dans son laboratoire.

Je ne peux maintenant que témoigner chaleureusement à mes deux encadrants, monsieur Bernard N'Kaoua et monsieur Marc-Michel Corsini, toute ma gratitude pour leur aide et leur soutien dans cette aventure. « *Special thanks* » à Bernard qui m'a largement subi au quotidien mais m'a toujours écouté, au moins d'une oreille, et soutenu. Son aide a été déterminante dans la qualité de ce travail. Je dois également prodiguer à Marc-Michel quelques remerciements spéciaux car je n'oublie pas qu'il m'a mis le pied à l'étrier des sciences cognitives et, sans lui, je n'aurais peut-être jamais intégré cette filière.

La suite de ces remerciements est dédiée à tous les gens qui ont participé de près ou de loin à ce travail. Ainsi, je salue titulaires, doctorants et autres étudiants de l'Institut de Cognitique avec qui j'ai eu le plaisir de travailler pendant mes années de doctorat. Ne pouvant pas citer nommément tout le monde, je remercie « en bloc » tous les occupants du bâtiment 2A RC de l'Université Bordeaux 2.

Je dois également souligner ici l'agréable collaboration avec l'Institut de Formation en Ergothérapie du CHU Pellegrin de Bordeaux. Je remercie amicalement Christian Bélio pour m'avoir confié des enseignements dans sa filière et m'avoir soutenu dans mon travail. J'en profite alors pour remercier sincèrement les étudiants d'ergothérapie et de la filière sciences cognitives pour avoir bénévolement participé à mes expériences.

Je finirai en remerciant tous mes proches, famille et amis, pour leurs encouragements. Une gratitude spéciale s'adresse à mes parents sans qui rien n'aurait été possible (biologiquement et financièrement).

Pour en terminer, un peu de romantisme, j'embrasse celle que j'aime : Aurélie.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	v
Table des matières	vii
Introduction	1
I <i>Cadre Théorique</i>	3
1 La notion de compensation en psychologie	5
1.1 Définir la compensation	8
1.2 Domaines d'étude	9
1.2.1 Non-déclaratif <i>vs.</i> déclaratif	10
1.2.2 Les mécanismes compensatoires	14
1.3 Le modèle de Bäckman et Dixon	25
1.3.1 Les origines	26
1.3.2 Les facteurs d'opportunité	29
1.3.3 Les mécanismes	29
1.3.4 Les conséquences	30
2 Le cadre des niveaux de traitement	33
2.1 Structuralisme <i>vs.</i> fonctionnalisme	36
2.1.1 Les approches structurales	36
2.1.2 Les approches fonctionnalistes	44
2.2 Profondeur de traitement et Élaboration	49
2.2.1 La profondeur de traitement	50
2.2.2 L'élaboration	55
2.2.3 L'interaction « Profondeur de traitement × Élaboration »	59
2.3 Adéquation <i>Encodage/Récupération</i>	61

2.3.1	La spécificité d'encodage	62
2.3.2	Le transfert approprié	64
2.4	Un cadre général de la mémoire	65
2.4.1	Profondeur de traitement et récupération	66
2.4.2	Élaboration et récupération	67
2.4.3	La triple interaction	68
2.4.4	La distinctibilité des traces	69
3	Modéliser la mémoire	73
3.1	La notion de <i>modèle</i>	76
3.1.1	Classification des modèles	76
3.1.2	Caractéristiques communes	79
3.1.3	Valider les modèles et les simulations	80
3.2	Cognitivisme et Connexionnisme	81
3.2.1	Illustration computo-symbolique : le modèle ACT*	84
3.2.2	Les réseaux de neurones artificiels	87
3.3	Les modèles d'appariement global	93
3.3.1	Présentation générale	94
3.3.2	CHARM : un modèle à trace unique	95
3.4	MINERVA 2 : un modèle à traces multiples	100
3.4.1	Présentation générale	100
3.4.2	Conceptions théoriques	100
3.4.3	Implémentations : Encodage, stockage et récupération	102
3.4.4	Domaines de compétence	107
4	Introduction aux travaux empiriques	113
4.1	Compensation et niveaux de traitement	115
4.1.1	Arguments issus du vieillissement cognitif	116
4.1.2	Des interactions comme support de la compensation	119
4.2	Hypothèses et objectifs	120

II	<i>Expérimentations & Modélisation</i>	123
5	Matériel et méthodologie générale	125
5.1	Expérimentations	127
5.1.1	Matériel expérimental	127
5.1.2	Manipulations dans le cadre des niveaux de traitement	127
5.1.3	Procédure expérimentale	129
5.1.4	Contrôles effectués	131
5.2	Modélisation et simulations informatiques	133
5.2.1	Implémentation du cadre des niveaux de traitement	133
5.2.2	Procédure générale de simulation	135
5.2.3	Analyse et présentation des résultats	137
6	Vers un modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement	141
6.1	Rappels théoriques	143
6.2	Expérimentation	145
6.2.1	Matériel et méthodes	145
6.2.2	Résultats expérimentaux	147
6.2.3	Discussion	149
6.3	Simulation	153
6.3.1	Implémentations et paramètres	154
6.3.2	Résultats et discussion	155
6.4	Conclusion générale	176
7	Compensation mnésique chez le sujet jeune	181
7.1	Durée de présentation	184
7.1.1	Sujets	184
7.1.2	Matériel et méthodes	184
7.1.3	Résultats	185
7.1.4	Discussion	186
7.2	Organisation du matériel	188
7.2.1	Sujets	188
7.2.2	Matériel et méthodes	189

7.2.3	Résultats	190
7.2.4	Discussion	191
7.3	Consignes de récupération	193
7.3.1	Sujets	194
7.3.2	Matériel et méthodes	194
7.3.3	Résultats	194
7.3.4	Discussion	196
7.4	Discussion générale	198
7.4.1	Compensation et cadre des niveaux de traitement	199
7.4.2	Performances de mémoire	200
8	Simuler le cadre des niveaux de traitement	205
8.1	Implémentations et paramètres	207
8.2	Résultats et discussions	208
8.2.1	Profondeur de traitement et élaboration : Rappels	209
8.2.2	La spécificité d'encodage	211
8.2.3	Les interactions	215
8.3	Conclusion générale	223
9	Simuler les facteurs de difficulté	227
9.1	Durée de présentation	229
9.1.1	Implémentations et paramètres	229
9.1.2	Résultats et discussion	231
9.2	Organisation du matériel	238
9.2.1	Implémentations et paramètres	238
9.2.2	Résultats et discussion	239
9.3	Consignes de récupération	246
9.3.1	Implémentations et paramètres	247
9.3.2	Résultats et discussion	248
9.4	Conclusion générale	255

III	<i>Conclusion</i>	259
10	Discussion générale et Perspectives	261
10.1	Discussion générale	265
10.1.1	Bilan des résultats	266
10.1.2	Un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement	271
10.1.3	Apport de la modélisation	278
10.2	Quelles perspectives ?	283
10.2.1	L'équilibre Implicite/Explicite	285
10.2.2	Les assistants informatiques	287
10.3	Conclusion générale	288
IV	<i>Références</i>	291
	Bibliographie	293
	Index des auteurs	308
	Table des figures	316
	Liste des tableaux	319
V	<i>Annexes</i>	323
	Matériel Expérimental : Expérience 1	327
	Listes sémantiques : Expériences 2 & 4	329
	Listes phonétiques : Expériences 2 & 4	331
	Questionnaire d'évaluation Subjective	333
	Catégories sémantiques : Expérience 3	335
	Catégories phonétiques : Expérience 3	337

INTRODUCTION

Comme le souligne Tiberghien (1997), la mémoire influence notre présent psychologique, oriente nos anticipations, module notre attention et modifie nos états de conscience. De fait, le rôle central de la mémoire dans l'activité cognitive a pour corrolaire qu'une atteinte des aptitudes mnésiques aura des conséquences importantes pour l'individu. La maladie d'Alzheimer est un exemple particulièrement illustratif des répercussions désastreuses d'une atteinte de la mémoire pour la personne, mais aussi pour son entourage. Les recherches sur la mémoire semblent alors cruciales dans la compréhension de la cognition humaine, aussi bien dans sa dimension fonctionnelle que comportementale et sociale. En outre, l'étude des processus mnésiques peut aboutir à la proposition d'aides à la mémorisation, permettant d'optimiser les performances de sujets jeunes mais aussi, dans une certaine mesure, de pallier le déclin ou le déficit de mémoire des sujets âgés ou de patients atteints de pathologies lésionnelles ou dégénératives.

Les travaux présentés dans cette thèse s'inscrivent précisément dans cet objectif. En effet, nos recherches ont porté sur le phénomène de *compensation mnésique*, référant à la réduction, voire l'annulation, d'une difficulté de mémorisation *via* l'utilisation d'aides de mémoire. Nous avons tenté de préciser la nature des processus cognitifs impliqués dans ce phénomène, en utilisant une approche expérimentale et des simulations informatiques. Cette double approche a permis de fournir un cadre d'analyse expérimental et formel de la compensation mnésique, inscrit dans les sciences de la cognition, qui vise non seulement à étudier et à tenter d'expliquer les phénomènes cognitifs, mais aussi à les simuler.

Concernant le document écrit, la première partie aborde successivement les thèmes de la *compensation*, de la *mémoire* et des *modèles de simulation* des processus mnésiques. A cette occasion, nous présentons particulièrement le modèle de compensation de Bäckman et Dixon (1992), l'approche des niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990) et le modèle formel MINERVA 2 (Hintzman, 1984), sur lesquels reposent nos recherches. Nous exposons également les travaux de Sauzéon *et al.* (2001) et de N'Kaoua *et al.* (2005), à partir desquels nous avons émis nos hypothèses de travail et défini nos objectifs.

La deuxième partie de cette thèse est consacrée, quant à elle, aux travaux empiriques. Nous y présentons une expérience menée dans le cadre du vieillissement cognitif, visant à déterminer l'efficacité des interactions entre des aides de mémoire, afin de compenser les baisses de performances mnésiques liées à l'âge. Ensuite, trois expérimentations effectuées chez le sujet jeune sont décrites, dont l'objectif était de compléter les résultats obtenus chez le sujet âgé, en étudiant l'efficacité des interactions entre les aides de mémoire en fonction de la difficulté de la tâche. Nous présentons également plusieurs séries de simulations qui reproduisent les résultats expérimentaux. L'ensemble des résultats nous a permis de proposer un modèle de la compensation mnésique dans le cadre de l'approche des niveaux de traitement que nous discutons en référence au modèle de compensation de Bäckman et Dixon (1992) et au degré d'automatisme des phénomènes compensatoires. Pour conclure, nous indiquons quelques perspectives à notre travail dans le domaine de la remédiation cognitive et des assistants informatiques à la mémorisation.

Première partie

Cadre Théorique

LA NOTION DE COMPENSATION EN PSYCHOLOGIE

Sommaire

- ❶ Définir la compensation (p. 8)
 - ❷ Domaines d'étude (p. 9)
 - ❸ Le modèle de Bäckman et Dixon (p. 25)
-

En introduction de ce chapitre, la première observation que nous pouvons faire est que le terme « compensation » est à la fois flou et ubiquitaire dans les domaines de la psychologie. En effet, le concept de *compensation* semble jouer un rôle majeur dans une grande variété de recherches, allant des neurosciences (*e.g.*, Chiarello, 1980; Luria, 1973) à la psychologie sociale (*e.g.*, Ferraro, 1984; Patterson, 1973), en passant par l'étude des handicaps sensoriels (*e.g.*, Rönnberg et Lyxell, 1986; Zubeck, 1969) ou du vieillissement cognitif (*e.g.*, Baltes et Baltes, 1990; Salthouse, 1984). L'étendue des travaux concernant la notion de compensation a pour corrolaire une grande variabilité dans sa définition et son utilisation. Ainsi, la compensation est souvent envisagée en fonction des aspects théoriques et empiriques propres à chaque domaine d'étude.

Dixon et Bäckman (1995) sont à l'origine d'un ouvrage entièrement consacré à la notion de compensation en psychologie (*Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, 1995). A ce jour, cet ouvrage constitue certainement la référence la plus complète à ce sujet. Par ailleurs, d'après une revue de la littérature, ces auteurs ont proposé un modèle visant à intégrer les différentes approches de la compensation (Bäckman et Dixon, 1992; Dixon et Bäckman, 2005).

L'objectif de ce premier chapitre est tout d'abord de définir le terme « compensation », puis nous présenterons un tour d'horizon de la littérature. Pour ce faire, nous nous appuierons sur les deux axes principaux définis par Bäckman et Dixon (1992), que sont le *degré d'automatisme* (*i.e.*, compensation non-déclarative *vs.* compensation déclarative) et le type de *mécanisme compensatoire* (*i.e.*, sélection, assimilation, accommodation, remédiation et substitution). Pour finir, nous présenterons spécifiquement le modèle de compensation de ces auteurs.

1.1 Définir la compensation

Ethymologiquement, le terme « compensation » vient du latin *compensare* qui signifie « peser ensemble pour comparer ». D'après le dictionnaire *Petit Larousse* (1999), le verbe *compenser* est défini par : « équilibrer un effet par un autre ; neutraliser un inconvénient par un avantage ». Comme l'indique cette définition, la notion d'*équilibre* est fortement liée à la notion de compensation et ce depuis les premières définitions du terme. Par exemple, Formey (1759, p. 381) a écrit : « Pour un homme, il n'y a jamais de gain sans perte, ou de perte sans gain... la compensation est partout ». Les idées de Formey ont été reprises au début du XX^e siècle par Emerson (1900) qui définit, selon ses termes, une « loi sublime » de la vie qu'il nomme « l'équilibre entre donner et reprendre »¹. Précisément, Emerson (1900, p. 85) suggère que : « chaque excès entraîne un déficit ; chaque déficit entraîne un excès... Pour chaque chose que vous avez manquée, vous avez gagné autre chose ; et pour chaque chose que vous gagnez, vous perdez quelque chose ». D'après cet auteur, le terme « compensation » peut ainsi être entendu aussi bien dans son acception positive (*i.e.*, un gain qui contrebalance une perte) que dans son acception négative (*i.e.*, une perte qui contrebalance un gain).

Cependant, les définitions classiques de la psychologie moderne, et du sens commun, se focalisent souvent sur les aspect positifs de la compensation en évacuant les aspects négatifs. Par exemple, selon l'*American Heritage Dictionary of the American Language* (2000), la compensation, telle qu'elle est définie en psychologie, réfère à : « un comportement qui se développe consciemment ou inconsciemment pour surmonter un déficit réel ou imaginaire ». Une définition plus spécifique indique que : « une compensation peut être évoquée lorsque un niveau égal ou supérieur d'efficacité est constaté dans une activité donnée, en dépit de déficiences dans une ou plusieurs des compétences nécessaires à cette activité ».

Bäckman et Dixon (1992) ont proposé une définition de la compensation qui intègre à la fois la notion d'équilibre et la possibilité de répercussions négatives :

« Une compensation peut être impliquée lorsqu'une inadéquation objective ou perçue entre les compétences accessibles et les demandes environnementales est contrebalancée (automatiquement ou consciemment) par un investissement supplémentaire en temps ou en effort (en utilisant les compétences habituelles), l'utilisation de com-

¹Dans le texte : « the balance of give and take ».

pétences latentes (mais normalement inutilisées) ou l'acquisition de nouvelles compétences, de telle façon qu'un changement apparaisse dans le comportement, soit dans le sens d'un maintien ou d'une augmentation du niveau normal d'efficacité, soit dans le sens de comportements ou de conséquences mal adaptés. » (Bäckman et Dixon, 1992, p. 272).

Les auteurs concèdent que cette définition est complexe mais, selon eux, elle reflète simplement la complexité du phénomène tel qu'il s'observe en psychologie (Dixon et Bäckman, 1995, p. 8). Il faut préciser que Bäckman et Dixon ont tenté de définir la compensation à partir d'une large revue de la littérature afin de proposer une approche intégrée du phénomène, mais la généralité de cette définition est à la fois une force et une faiblesse. En effet, elle n'est sûrement pas adaptée à l'ensemble des travaux sur la compensation, certaines études nécessitant des conceptions et des modèles très spécifiques. Cependant, l'avantage est que cette définition doit pouvoir s'appliquer aussi bien à l'étude du normal que du pathologique et chez le sujet jeune ou âgé, c'est-à-dire tout au long de la vie. Dès à présent, nous pouvons indiquer que les travaux présentés dans cette thèse abordent la compensation dans le cadre défini par Bäckman et Dixon (1992)(voir aussi Dixon et Bäckman, 1995, 2005).

1.2 Domaines d'étude

Comme évoqué en introduction, le concept de compensation est au coeur d'un grand nombre de travaux en psychologie. Les premières études scientifiques sur le sujet datent principalement des années 1920-1930 (*e.g.*, Adler, 1927; Hayes, 1933), bien que la majorité des recherches semble avoir émergé à partir des années 1960-1970 (*e.g.*, Luria, 1973; Patterson, 1973; Zubeck, 1969). Depuis 40 ans environ, les phénomènes compensatoires sont ainsi abordés dans différents champs d'investigation, comme les handicaps sensoriels, les déficits cognitifs, les relations sociales et inter-personnelles ou encore les atteintes cérébrales.

Bäckman et Dixon (1992) (voir aussi, Dixon et Bäckman, 1995, 2005) proposent d'envisager la compensation selon trois dimensions : (1) le *degré d'automatisme* (*i.e.*, compensation non-déclarative *vs.* compensation déclarative) ; (2) le type de *mécanisme compensatoire* (*i.e.*, sélection, assimilation, accommodation, remédiation et substitution) ; et (3) les *conséquences* de la compensation (*i.e.*, compensation positive *vs.* compensation négative).

Dans cette section, cette dernière dimension ne sera pas abordée, mais les deux premières nous serviront de guide pour une présentation de la littérature sur la compensation.

1.2.1 Non-déclaratif *vs.* déclaratif

En psychologie cognitive, la compensation peut être abordée *via* la distinction entre les phénomènes compensatoires non-déclaratifs et déclaratifs. Les recherches sur la *mémoire* sont alors particulièrement illustratives.

En effet, la mémoire à long terme peut être l'objet d'une dichotomie entre mémoire *déclarative* (*i.e.*, explicite) et *non-déclarative* (*i.e.*, implicite), reflétant deux aspects de son fonctionnement (*e.g.*, Squire, 1992; pour revue voir, Squire, 2004)². La mémoire déclarative correspond à un apprentissage conscient. Elle réfère à l'acquisition et la rétention d'informations relatives à des faits ou des événements et elle est évaluée par des tests de rappel ou de reconnaissance. Au niveau cérébral, les régions diencéphaliques et médio-temporales, notamment l'hippocampe, semblent particulièrement impliquées dans ce type de mémoire (*e.g.*, Squire, 1992). La mémoire non-déclarative correspond, quand à elle, à un apprentissage non conscient et elle est évaluée par des changements de performance. La mémoire non-déclarative est impliquée dans une variété de phénomènes cognitifs tels que les effets d'amorçage³, l'acquisition et la rétention de capacités perceptivo-motrices, le conditionnement classique (type pavlovien) et l'apprentissage non associatif. Différents systèmes cérébraux sous-tendent la mémoire non-déclarative, tels que les ganglions de la base pour les facultés perceptivo-motrices.

Ici, nous allons tout d'abord présenter quelques exemples illustrant les possibilités de compensation mnésique par sollicitation des facultés non-déclaratives. Nous indiquerons ensuite comment l'utilisation d'aides de mémoire externes (*i.e.*, compensation déclarative) peut permettre aux patients amnésiques de compenser leurs difficultés dans la vie quotidienne.

²Nous reviendrons sur ces notions au chapitre suivant (voir § 2.1.1, p. 42).

³L'amorçage concerne l'effet d'un premier événement sur le traitement cognitif de l'événement suivant. Par exemple, le mot « infirmière » sera reconnu plus rapidement par un sujet si ce mot est précédé du mot « docteur » que du mot « voiture ». Dans ce cas, l'effet d'amorçage est positif (*i.e.*, facilitation du traitement), mais il existe aussi des effets d'amorçage négatifs (*i.e.*, interférence dans le traitement de la seconde information).

COMPENSATION NON-DÉCLARATIVE

La compensation mnésique non-déclarative renvoie à des phénomènes compensatoires non-conscients, c'est-à-dire initiés *involontairement* par une personne. Ce type de compensation concerne la sollicitation des compétences préservées chez un sujet déficient, qu'elles soient de type perceptivo-motrices ou cognitives. En conséquence, le phénomène de compensation non-déclarative est fortement dépendant de l'entraînement du sujet sur la tâche à effectuer et/ou du type d'aide fourni, afin de solliciter et de faciliter de façon automatique ses processus de traitement.

Concernant les affections de la mémoire à long terme (*e.g.*, vieillissement, amnésies, maladies neurodégénératives, *etc.*), il est classique de constater que la mémoire déclarative est spécifiquement touchée, alors que la mémoire non-déclarative semble relativement épargnée. Ainsi, des personnes étant incapables de récupérer consciemment des informations arrivent cependant à acquérir de nouvelles connaissances et à développer de nouvelles compétences, évaluées par des améliorations de performance. En termes de remédiation cognitive, l'enjeu des recherches en psychologie et en neuropsychologie est alors de déterminer dans quelle mesure solliciter la mémoire non-déclarative permet de compenser les déficits de mémoire déclarative.

Le cas du patient H.M. est un exemple célèbre en neuropsychologie (*e.g.*, Corkin, 1965, 1968; Milner, 1965). H.M. était un patient souffrant d'une épilepsie sévère et pharmaco-résistante. Afin de résoudre ses troubles épileptiques, H.M. a subi une résection chirurgicale bilatérale de la quasi-totalité de ses lobes médio-temporaux. L'opération fut lourde de conséquences puisque H.M. se réveilla guéri mais atteint d'une amnésie rétrograde partielle (*i.e.*, incapacité partielle à récupérer des souvenirs anciens) et, surtout, d'une forte amnésie antérograde (*i.e.*, incapacité quasi-totale à encoder de nouveaux souvenirs).

Corkin (1968) entraîna H.M. à effectuer une variété de tâches motrices, comme des tâches de coordination de mouvements. Bien que H.M. était incapable de se souvenir de cet entraînement (il ne se souvenait même pas des tâches en elles-mêmes), il démontrait cependant une progression normale de session en session. Ainsi, H.M. n'avait aucun souvenir conscient de son apprentissage, mais il démontrait une amélioration de performance identique à des sujets normaux ayant des régions médio-temporales intactes.

De nombreux autres résultats ont montré que des patients amnésiques étaient capables d'acquérir des capacités motrices robustes (*e.g.*, Starr et Phillips, 1970), aussi bien que des

capacités perceptuelles, voire même cognitives (*e.g.*, Cohen et Squire, 1980). Par exemple, Warrington et Weiskrantz (1974; 1978) ont démontré une rétention normale d'une liste de mots chez des patients amnésiques, lorsque les tâches de récupération étaient des tests implicites (*e.g.*, complètement de mots ⁴). Par contre, les patients étaient incapables de fournir une performance correcte lorsque des tâches de rappel ou de reconnaissance étaient utilisées.

La compensation non-déclarative s'avère par ailleurs très efficace pour pallier les difficultés de mémorisation inhérentes au déclin cognitif dû au vieillissement, qu'il soit normal (*e.g.*, Howard, 1988; Mitchell, 1989; Moscovitch, 1982; Moscovitch *et al.*, 1986) ou pathologique (*e.g.*, Nebes *et al.*, 1986). Par exemple, après un apprentissage implicite, les patients Alzheimer semblent toujours performants sur une tâche de décision lexicale ⁵ avec amorçage (*e.g.*, Cherkow *et al.*, 1989) ou une tâche de prédiction de réponse par rapport à un indice (*e.g.*, Knopman et Nissen, 1987). De même, l'apprentissage de procédures motrices semble préservé chez ces patients (*e.g.*, Salmon *et al.*, 1988).

COMPENSATION DÉCLARATIVE

Contrairement à la compensation non-déclarative, la compensation déclarative réfère à une implication *volontaire* du sujet dans le processus compensatoire. Dans ce cas, le sujet peut, par exemple, utiliser des aides de mémoire dites « internes » (*e.g.*, stratégies, moyens mnémotechniques, *etc.*) mais aussi des aides de mémoires dites « externes » (*e.g.*, carnet de notes, dictaphone, *etc.*). Ici, nous n'illustrerons la compensation déclarative que par l'utilisation des aides de mémoire externes. Cependant, le lecteur peut se référer, par exemple, à Lieury (2005) pour une revue sur les méthodes mnémotechniques.

Selon Wilson (1995), l'utilisation des aides de mémoire externes est probablement le type de compensation le plus efficace pour la majorité des personnes ayant des troubles de la mémoire. Des données confortant cette affirmation ont par ailleurs été reportées, indiquant que les aides externes sont le type de stratégies compensatoires le plus utilisé,

⁴Les tâches de complètement de mots consistent à donner une partie des lettres d'un mot et le sujet doit le compléter de la façon la plus automatique possible, c'est-à-dire sans réfléchir à sa réponse. Par exemple, on peut donner « C_I_N » ou « CHI__ » pour récupérer le mot « CHIEN », on parlera alors de complètement de fragments ou de souches, respectivement.

⁵La décision lexicale est une tâche dans laquelle le sujet doit dire si l'item présenté est un « vrai » mot (*e.g.*, CHIEN) ou un non-mot (*e.g.*, TARPI).

dans la vie quotidienne, par des patients ayant des difficultés de mémorisation (Wilson, 1991). Précisément, 66% de ces sujets indiquent qu'ils utilisent régulièrement des outils de prise de notes (*e.g.*, carnets de notes, « post it », *etc.*).

Wilson (1995) rapporte le cas d'un étudiant en droit devenu sévèrement amnésique à la suite d'une hémorragie cérébrale. Après une période de rééducation, il a été capable de vivre seul à nouveau et de trouver un emploi. Cependant, il a dû fortement s'adapter à ses problèmes cognitifs et, notamment, revoir ses objectifs de carrière professionnelle. Il n'avait en effet plus les capacités cognitives suffisantes pour devenir avocat, comme il le souhaitait avant son accident. Selon Wilson (1995), cet individu est une personne particulièrement motivée pour compenser son handicap de mémoire et il s'est créé un véritable réseau compensatoire grâce à l'utilisation de plusieurs aides externes. Ces trois aides principales sont un dictaphone, un agenda électronique et une montre à alarme programmable. Ces rendez-vous sont ainsi enregistrés dans le dictaphone, notés dans l'agenda électronique et programmés dans sa montre. En plus de toutes ces précautions, il transcrit tous les jours dans un carnet de notes les informations contenues dans le dictaphone et use abondamment de notes volantes de type « post it ». Toutes ces aides lui sont devenues indispensables et le patient arrive ainsi à mener une vie normale. Wilson (1995) souligne cependant que ce cas est exceptionnel et que, si les aides sont aussi efficaces chez cette personne, c'est qu'elle a pris conscience de son handicap, qu'elle l'a accepté et qu'elle montre une grande motivation à vouloir le compenser. Les aides de mémoire externes peuvent ainsi être d'un grand soutien pour les sujets ayant des difficultés de mémorisation, mais la prise de conscience du déficit et la volonté de compenser le handicap sont cruciales dans le bénéfice de ces aides (voir Kapur, 1995, pour une revue sur les aides de mémoire externes).

Par ailleurs, concernant l'utilisation d'aides à la mémorisation, Cavanaugh *et al.* (1983) ont démontré que l'utilisation d'aides internes ou externes était plus profitable à des sujets âgés que jeunes. Dixon et Hultsch (1983), ainsi que Loewen *et al.* (1990), ont rapporté des résultats similaires, mais uniquement concernant l'utilisation d'aides externes. Dixon (1992) explique ces résultats par un investissement plus important des sujets âgés dans l'utilisation des aides, démontrant une réelle motivation à compenser les difficultés de mémorisation, objectives ou perçues.

A titre d'exemple supplémentaire, Morrow *et al.* (2003) ont montré que l'utilisation de prises de notes chez des pilotes d'avion permettait de réduire les différences d'âge dans la restitution d'informations échangées avec la tour de contrôle, lors d'un vol simulé. La prise de notes semble d'autant plus efficace lorsqu'elle est facilitée par une intégration pertinente du système de notes dans l'environnement du pilote (*i.e.*, utilisation d'un carnet de notes électronique ajouté au tableau de bord) (Morrow *et al.*, 2005). Une intégration pertinente de l'aide permet un support environnemental de meilleure qualité en réduisant la consommation de ressources cognitives, lors du partage d'activité entre prise de notes et pilotage. Ce dernier point est crucial dans l'efficacité de l'aide, la réduction des ressources cognitives étant caractéristique du vieillissement (*e.g.*, Craik et Jennings, 1992).

En conclusion : Les phénomènes compensatoires peuvent être envisagés dans la dichotomie *Déclaratif/Non-déclaratif*. En effet, un sujet peut compenser un déficit de façon involontaire grâce à l'apport d'une aide pertinente qui va faciliter ses traitements cognitifs ou d'un entraînement dans la tâche considérée. Cependant, bien qu'une compensation non-déclarative soit possible, l'implication volontaire du sujet dans le processus de compensation (*i.e.*, compensation déclarative) semble toujours offrir de meilleurs résultats.

1.2.2 Les mécanismes compensatoires

Une autre approche de la compensation est celle des *mécanismes compensatoires*. En psychologie, selon Dixon et Bäckman (1995), un concept peut être imaginé comme occupant un certain « espace conceptuel ». Cet espace est parfois homogène, parfois hétérogène. Ainsi, un concept peut être clairement défini ou, au contraire, référer à un ensemble de définitions pouvant se recouper sur certains aspects théoriques ou empiriques.

Comme évoqué en introduction, le concept de *compensation* est très hétérogène. Dixon et Bäckman (1995) proposent alors de considérer la compensation comme un « méta-concept » regroupant, dans son espace conceptuel, cinq sous-concepts : (1) la sélection ; (2) l'accommodation ; (3) l'assimilation ; (4) la remédiation ; et (5) la substitution. La Figure 1.1 représente, de façon schématique, l'espace conceptuel de la compensation. Les traits pointillés évoquent les limites parfois floues entre les différents types de phénomènes compensatoires, que l'on peut regrouper sous le terme « compensation ». Par rapport à ce terme générique, les concepts liés peuvent être considérés soit comme des instances

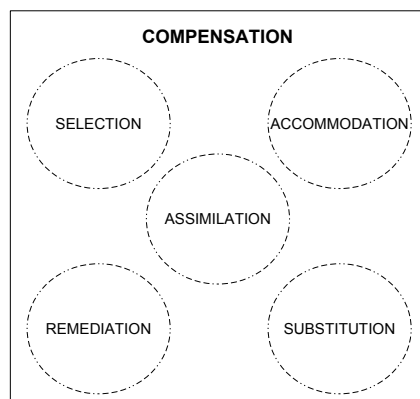


FIG. 1.1 – Représentation schématique de l'espace conceptuel de la compensation (d'après Dixon et Bäckman, 1995).

spécifiques, soit comme des concepts alternatifs. Quoiqu'il en soit, chacun de ces concepts renvoie à un mécanisme spécifique de compensation.

LA SÉLECTION

La notion de *sélection* s'inscrit dans des phénomènes compensatoires liés aux comportements d'une personne ⁶, notamment à ses *comportement sociaux*. En effet, cette notion réfère particulièrement aux activités de substitution dans lesquelles peut s'engager un individu, afin de compenser une perte personnelle.

A l'âge adulte, Carstensen *et al.* (*e.g.*, 1995) indiquent que le divorce et le veuvage sont les deux événements négatifs qui entraînent le plus de phénomènes compensatoires. Les personnes divorcées ou veuves adaptent alors leurs comportements et sélectionnent leurs activités, afin de trouver du réconfort auprès de leur famille et, plus généralement, de leur entourage. Par exemple, dans les premières années suivant la mort de leurs époux, plusieurs auteurs ont rapporté des interactions sociales augmentées entre des veuves et leurs enfants (*e.g.*, Lopata, 1973) ou d'autres membres de leur famille (*e.g.*, Philblad et Adams, 1972). Par ailleurs, une augmentation a également été constatée dans la quasi-totalité de leurs interactions sociales, comme les relations amicales (*e.g.*, Ferraro, 1981), les relations de voisinage (*e.g.*, Kohen, 1983) ou encore l'implication dans des activités bénévoles ou religieuses (*e.g.*, Ferraro, 1981). Lopata (1973) évoque particulièrement la

⁶Voir par exemple Baltes et Baltes (*e.g.*, 1990) pour un modèle, dit d'*optimisation sélective avec compensation*, dans lequel les processus de sélection sont centraux.

tendance des veuves à se regrouper, ce qu'elle nomme « les sociétés de veuves », afin de s'apporter un soutien et un réconfort mutuels autour d'une difficulté commune.

ASSIMILATION ET ACCOMMODATION

Comme pour le mécanisme de sélection, l'*assimilation* et l'*accommodation* s'inscrivent dans des phénomènes compensatoires de type *comportementaux*. Précisément, les processus d'assimilation renvoient à une tentative d'ajustement du comportement (ou de l'environnement) afin de maintenir des objectifs, malgré une diminution des ressources ou des capacités. L'accommodation réfère, quant à elle, à la révision des objectifs personnels. Les processus d'assimilation et d'accommodation sont ainsi mutuellement exclusifs par nature, les premiers concernant le maintien d'une activité, les seconds concernant la révision, voire l'abandon, de l'activité.

Brandtstädter et Wentura (1995) proposent un modèle de compensation dans lequel l'assimilation et l'accommodation sont antagonistes, mais successives (voir Figure 1.2). En effet, une personne peut initialement fournir un effort afin d'augmenter ses ressources et, ainsi, maintenir une activité. Cependant, il est probable que cet effort ne puisse être engagé que sur une période limitée, au bout de laquelle les efforts deviendront eux-mêmes trop consommateurs en ressources. Dans un tel cas de figure, il apparaît fréquemment chez la personne des émotions négatives, comme le sentiment d'échec ou de désespoir. Selon Brandtstädter et Wentura (1995), ces sentiments négatifs vont être déterminants dans la stratégie compensatoire que les individus vont adopter face à la difficulté. Quand les processus d'assimilation deviennent inefficaces, la stratégie compensatoire se tourne alors vers des processus d'accommodation. Par ailleurs, comme nous pouvons le voir sur la Figure 1.2, les processus d'assimilation et d'accommodation peuvent être influencés par différents facteurs. Précisément, selon le modèle de Brandtstädter et Wentura (1995), les facteurs de modération ont généralement des effets antagonistes sur l'assimilation et l'accommodation et c'est pourquoi ces deux types de compensation sont opposés dans leur modèle. Par exemple, la quantité de ressources disponibles, afin de prévenir ou corriger le déficit, aura un effet facilitateur sur le mécanisme d'assimilation alors qu'il sera inhibiteur du mécanisme d'accommodation.

A titre d'exemple, nous pouvons citer à nouveau le cas rapporté par Wilson (1995). Pour rappel, un étudiant en droit est devenu amnésique à la suite d'une hémorragie cé-

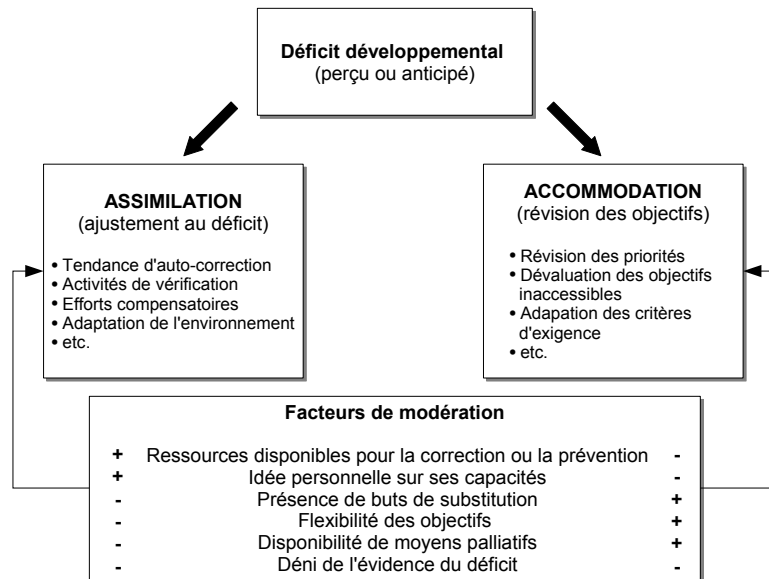


FIG. 1.2 – Illustration des processus d'assimilation et d'accommodation en tant que mécanismes antagonistes mais complémentaires, afin de neutraliser une difficulté dans le développement de l'individu. Les signes « + » et « - » indiquent, respectivement, des effets positifs ou négatifs des facteurs de modération sur l'assimilation et l'accommodation (d'après Brandtstädter et Wentura, 1995).

rébrale. Après une période de rééducation, il a été capable de vivre seul et de trouver un emploi. Cependant, il a dû fortement s'adapter à ses problèmes cognitifs et, notamment, revoir ses objectifs de carrière professionnelle. En effet, malgré de gros efforts pour continuer ses études de droit (*i.e.*, tentative d'assimilation), le jeune homme n'avait plus les capacités cognitives suffisantes pour mener sa formation à termes. En conséquence, il dû revoir ses ambitions à la baisse et accepter de ne jamais devenir avocat (*i.e.*, accommodation).

REMÉDIATION ET SUBSTITUTION

Les processus de *remédiation* et de *substitution* sont les deux acceptations majeures de la compensation utilisées en psychologie cognitive (*e.g.*, Bäckman et Dixon, 1992; Salthouse, 1995). La remédiation réfère à un surinvestissement en temps et/ou en effort dans la compétence affectée, afin de maintenir un certain niveau de performance. La substitution est le mécanisme de compensation par excellence, celui qui est admis dans le sens commun et dans la majorité des définitions (voir section 1.1, p. 8), c'est-à-dire l'utilisation d'une

ou plusieurs compétences afin de contrebalancer un processus déficient et maintenir la performance.

La remédiation

Le mécanisme de remédiation peut, par exemple, être illustré par les travaux de Stanovich (*e.g.*, 1986; 1993) ou de Cohen (*e.g.*, 1985), concernant les troubles de l'apprentissage de la lecture.

Tout d'abord, Stanovich et ses collègues (*e.g.*, Stanovich, 1986, 1993; Stanovich et Cunningham, 1993) ont rapporté plusieurs études indiquant qu'une déficience de vocabulaire peut être compensée par une suractivité de lecture. L'acquisition et l'expansion du vocabulaire dépendent de certaines capacités à établir des relations, comparer des caractéristiques sémantiques (*e.g.*, Sternberg, 1985) et maintenir des informations en mémoire à court terme (Gathercole et Baddeley, 1989). Des déficiences dans ces capacités seront alors délétères dans l'apprentissage de la lecture. En conséquence, un enfant présentant ce type de déficience aura besoin d'un plus grand nombre d'expositions aux mots afin qu'il se crée des représentations intégrées et pertinentes en mémoire sémantique. Une activité de lecture augmentée pourra alors être envisagée comme une solution compensatoire, puisqu'elle augmentera à la fois le nombre d'expositions aux mots mais aussi leurs contextes d'apparition. La signification des mots pourra ainsi être induite à partir d'une plus grande variété de contextes (*e.g.*, Stanovich, 1986, 1993). Par ailleurs, Stanovich et Cunningham (1993) ont confirmé les biens-faits de la lecture intensive, en tant qu'aide cognitive, en démontrant que de faibles capacités de compréhension ne sont pas nécessairement corrélées à un faible niveau de connaissances, tant qu'un grand nombre d'expositions à l'information est proposé.

Cohen (*e.g.*, 1985) a rapporté, quant à lui, un cas de compensation auto-initiée par des enfants atteints de troubles de l'apprentissage. Certains d'entre eux, ayant particulièrement des difficultés de lecture, s'adaptaient à leur condition en travaillant plus lentement et en utilisant des processus hypervigilants de vérification répétée. Un surinvestissement en temps et en effort dans l'activité de lecture a alors permis de compenser les difficultés. Cohen a également indiqué que les processus compensatoires, délibérément initiés au départ, pouvaient s'automatiser, voire se généraliser (*i.e.*, s'appliquer à d'autres activités de la vie quotidienne), à mesure que les enfants grandissaient.

La substitution

Selon Salthouse (1995), la substitution est le seul mécanisme de compensation qui doit être considéré. Pour cet auteur, la remédiation et l'accommodation ne sont pas des mécanismes compensatoires mais seulement des étapes pouvant mener à la compensation.

La Figure 1.3 illustre, de façon schématique, les suggestions de Salthouse (1995). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, lorsqu'une personne rencontre une difficulté, elle peut tout d'abord choisir de réviser ses objectifs. Dans ce cas, elle s'engage dans un mécanisme d'*accommodation*. Si elle choisit de maintenir ses objectifs initiaux, elle peut s'investir davantage en temps et/ou en effort dans l'activité. Elle utilise alors une stratégie de *remédiation*. A la suite de la remédiation, deux issues sont possibles. Premièrement, le surinvestissement dans l'activité s'avère efficace et le déficit n'est plus un handicap pour la réalisation d'une tâche. Dans ce cas, bien que le déficit soit toujours présent, il n'est plus critique pour l'activité. Salthouse (1995) parle alors d'*élimination* (ou *compilation*). Deuxièmement, au contraire, le surinvestissement n'est pas assez efficace. La personne doit alors s'engager dans des stratégies de *substitution* pouvant mener éventuellement à une compensation du déficit.

Les illustrations les plus typiques du mécanisme de substitution sont sans aucun doute celles rencontrées dans les domaines des handicaps sensoriels et du vieillissement cognitif.

Les handicaps sensoriels : L'étude des handicaps sensoriels est certainement un des domaines majeurs dont sont issus les travaux pionniers sur les phénomènes compensatoires (*e.g.*, Hartmann, 1933; Hayes, 1933). Dans la littérature, deux systèmes sensoriels ont particulièrement été étudiés : la vision et l'audition (pour revue, voir Rönnberg, 1995).

La compensation d'un handicap visuel semble possible par une augmentation des capacités auditives ou tactiles. Par exemple, il a été démontré que des sujets aveugles peuvent obtenir de meilleures performances que des sujets contrôles sur des tâches auditives, telles que des tests de vigilance (Benedetti et Loeb, 1972) ou d'identification sonore (Witkin *et al.*, 1971). Similairement, Pitman (1965) a observé que des enfants aveugles possèdent de meilleures aptitudes musicales que des enfants voyants. Concernant les aptitudes tactiles chez des sujets aveugles, de nombreuses tâches ont été étudiées, telles des tâches de discrimination de poids (Ahmad, 1971) ou de taille (Duran et Tufenkjian, 1970), ou encore des tâches de localisation cutanée (Jones, 1972). Par exemple, Ohlsson (1986) a

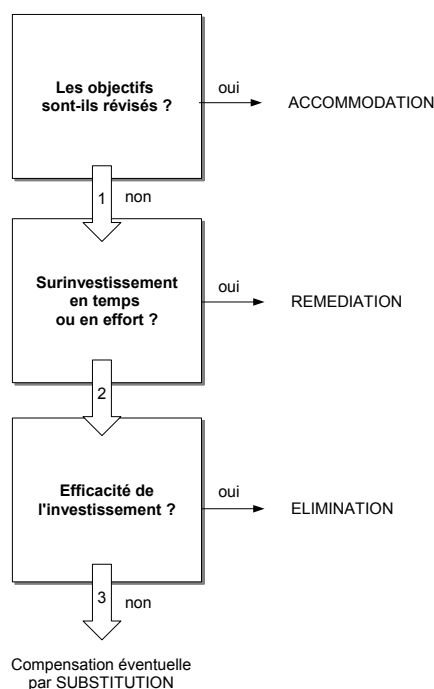


FIG. 1.3 – Représentation schématisée du modèle de compensation de Salthouse (adapté de Salthouse, 1995).

examiné la reconnaissance tactile de configurations des pièces d'un jeu d'échec, chez des joueurs aveugles ou voyants. Les résultats indiquent alors de meilleures performances chez les aveugles que chez les voyants et ce résultat s'avère particulièrement vrai lorsque les joueurs sont expérimentés.

Dans le domaine de la compensation auditive, les recherches concernent généralement l'évaluation d'aptitudes visuelles ou tactiles augmentées. Par exemple, les résultats en faveur d'une compensation indiquent que des sujets sourds sont plus performants que des sujets entendants lorsque des indices vibrotactiles sont fournis lors des tests (Bach-y Rita, 1982; Blank et Bridger, 1966). Similairement, Dittmar *et al.* (1982) ont montré, quant à eux, que la surdité pouvait entraîner chez certains sujets une augmentation de vigilance visuelle.

Tous ces travaux tendent à indiquer que lorsqu'une personne est déficiente dans une modalité sensorielle, les autres modalités tendent à se développer afin de compenser le déficit. Ici, l'augmentation sensorielle dans les compétences préservées résulte alors essentiellement d'un entraînement et non d'une amélioration spontanée.

Le vieillissement cognitif : Le vieillissement cognitif est un sujet largement traité en psychologie, notamment dans le cadre des phénomènes compensatoires (*e.g.*, Birren et Warner Schaie, 2001; Craik et Salthouse, 2000; Hill *et al.*, 2000). Les recherches dans ce domaine indiquent que des sujets âgés peuvent compenser un certain nombre de déficits dans les aptitudes cognitives dites « primaires » (*e.g.*, capacités attentionnelles et mnésiques) par des habiletés de substitution.

Par exemple, Charness (1981) a démontré que des joueurs d'échec âgés peuvent obtenir d'aussi bons résultats que des joueurs jeunes, sur des tâches de type « choisir un mouvement », malgré une mémoire moins performante. Charness indiquent que les bons résultats des joueurs âgés peuvent être expliqués par une meilleure analyse du problème et une meilleure évaluation de la position des pions. Ces capacités peuvent être attribuées à une plus grande expérience des joueurs âgés qui leur permet de compenser leur déficit de mémorisation. Similairement, Salthouse (1984) n'a reporté aucune différence dans le taux de transcription d'un texte, entre des dactylographes jeunes ou âgés, malgré une vitesse de traitement plus faible chez les âgés. L'auteur explique alors le maintien de performance par un empan visuel (*i.e.*, nombre de caractères analysés simultanément) et une anticipation augmentés, permettant de pallier une moindre vitesse de traitement.

Généralement, l'*expertise* des sujets âgés est souvent cité en exemple en tant que moyen de substitution (*e.g.*, Lemaire et Bherer, 2005). Dans ce cadre, l'effet de l'expérience professionnelle sur le vieillissement cognitif a beaucoup été étudiée chez les pilotes d'avion. Par exemple, Tsang et Shanner (1998) ont analysé l'effet modérateur de l'expertise sur le déclin lié à l'âge, en attention partagée. Précisément, les auteurs ont voulu savoir si les pilotes d'avion, qui doivent constamment partager leur attention entre diverses tâches impliquant de nombreux stimuli et de nombreuses associations stimulus-réponse, ont de meilleures performances que des sujets contrôles en attention divisée et, le cas échéant, si cet avantage se maintient avec l'âge. Dans l'expérience de Tsang et Shanner (1998), des sujets âgés de 20 à 79 ans devaient effectuer deux tâches concurrentes. La tâche principale était une tâche dite « de poursuite », consistant à maintenir, au centre d'un écran d'ordinateur, un curseur en perpétuel mouvement à l'aide d'une manette. La tâche secondaire pouvait être l'une des trois tâches suivantes : (1) une autre tâche de poursuite ; (2) une tâche d'identification dans laquelle le participant devait dire si un symbole présenté à l'écran était l'aile de droite ou de gauche d'un avion (l'aile apparaissait

dans diverses orientations de sorte que la tâche exigeait une rotation mentale) ; ou (3) une tâche de recherche en mémoire dans laquelle il fallait indiquer si une consonne présentée précédemment, et maintenue en mémoire à court terme, était présente dans un ensemble d'items.

Le premier résultat démontré par les auteurs est que plus les tâches concurrentes sont similaires (*e.g.*, deux tâches de poursuite), plus il est difficile de les réaliser en même temps. Par ailleurs, les performances des sujets âgés étaient toujours moins bonnes que celles des sujets jeunes. Les deux résultats importants démontrés par Tsang et Shanner (1998) sont que : (1) les pilotes ont toujours obtenus de meilleures performances que les sujets contrôles, quel que soit leur âge et quelle que soit la nature de la tâche secondaire ; et (2) lorsque la tâche secondaire était une tâche de détection visuelle (impliquant des rotations mentales), les performances des pilotes déclinaient peu avec l'âge contrairement aux sujets contrôles.

Ces résultats indiquent ainsi que les sujets âgés sont naturellement moins performants que les sujets jeunes dans une tâche d'attention divisée et que l'habitude de ce type de tâche rend les pilotes plus performants que les sujets contrôles, indépendamment de leur âge. D'autre part, lorsque des tâches concurrentes sont des tâches spécifiquement associées dans un domaine professionnel (*e.g.*, pilotage + détection visuelle, chez les pilotes d'avion), l'effet modérateur de l'expertise sur le vieillissement cognitif est d'autant plus efficace. En conséquence, l'expertise des pilotes âgés leur permet de compenser la baisse de capacités attentionnelles inhérente au vieillissement.

Le bénéfice de l'expertise sur le vieillissement cognitif pourrait être illustré par de nombreux autres travaux (*e.g.*, pour revue, voir Lemaire et Bherer, 2005). A titre d'exemple supplémentaire, nous pouvons citer les études de Clarkson-Smith et Hartley (1990) ou de Krampe et Ericsson (1996) démontrant, respectivement, que le déficit de mémoire de travail classiquement observé chez la personne âgée est diminué chez des joueurs de bridge expérimentés ou que la baisse de vitesse d'exécution inhérente au vieillissement est beaucoup plus faible chez des musiciens professionnels.

Du neuronal au comportemental : Jusqu'à présent, nous n'avons exposé que la dimension *comportementale* de la compensation. Afin d'élargir la présentation des phénomènes compensatoires, nous allons aborder ici la compensation *neuronale* permettant d'illustrer le mécanisme de substitution dans sa dimension biologique.

Les notions de réorganisation, de substitution de fonctions, ou de compensation ont une longue histoire dans les recherches sur les atteintes et les récupérations neurologiques à la suite de traumatismes cérébraux (*e.g.*, Luria, 1963). L'idée principale est que le cerveau est physiologiquement capable de restaurer une fonction, ou une partie de son fonctionnement, en utilisant des voies neuronales ou des structures cérébrales de substitution (*e.g.*, Laurence et Stein, 1978). Cette capacité d'adaptation est appelée *plasticité* cérébrale. Précisément, les phénomènes compensatoires peuvent impliquer soit des structures homologues, soit des structures cérébrales entièrement différentes (*e.g.*, Luria, 1963). En outre, la réorganisation des fonctions cérébrales peut impliquer aussi bien des fonctions préservées dans l'hémisphère cérébral atteint, que des fonctions intactes dans l'autre hémisphère (*e.g.*, Rothi et Horner, 1983).

Par exemple, DeKosky et Scheff (1990) ont démontré une certaine plasticité synaptique chez des patients Alzheimer. Bien que le nombre de synapses tend à diminuer chez ce type de sujets, la taille des synapses restantes tend, quant à elle, à augmenter. Cette augmentation en taille permet ainsi de compenser le nombre amoindri de communications nerveuses et de maintenir temporairement le flux d'informations.

Similairement, un certain nombre de recherches utilisant les techniques d'imagerie cérébrale indiquent de possibles mécanismes de compensation fonctionnelle, suggérant une probable réorganisation des réseaux neuronaux impliqués dans les tâches cognitives. En utilisant la tomographie par émission de positrons, Grady *et al.* (1994) ont étudié l'activité cérébrale de sujets jeunes et âgés lors de tâches visuo-spatiales. Premièrement, les résultats indiquent que, bien que les temps de réaction des sujets âgés étaient plus longs que ceux des sujets jeunes, les performances étaient égales chez les deux groupes de sujets. D'autre part, pour la même tâche, l'activation cérébrale était fortement augmentée au niveau du cortex occipital extrastrifié chez les sujets jeunes, alors que l'augmentation d'activité cérébrale était particulièrement observée dans le cortex occipito-temporal et préfrontal chez les âgés. La même tâche était donc effectuée avec le même niveau de performance chez les deux groupes de sujets, mais en utilisant différents réseaux cérébraux. Des résultats comparables ont été rapportés par Grady *et al.* (1993), indiquant également une compensation fonctionnelle possible chez les sujets Alzheimer.

Aborder la compensation neuronale permet de souligner à nouveau l'importance d'une implication volontaire du sujet dans le processus de compensation, comme évoqué dans la

section précédente (§ 1.2.1, p. 12). Par exemple, chez les traumatisés crâniens, bien que des compensations spontanées (neuroanatomiques ou neurophysiologiques) puissent être constatées, les compensations comportementales observées résultent essentiellement d'un effort délibéré de la part des sujets. A la suite d'une atteinte cérébrale, une hypothèse pouvant expliquer le lien entre compensation neuronale et comportementale pourrait être qu'une compensation biologique automatique se met en place et sert de base à une possible compensation comportementale délibérée. Cette compensation comportementale délibérée pourrait en retour augmenter l'efficacité des mécanismes neuronaux de substitution qui, eux même, potentialiseraient les comportements compensatoires et ainsi de suite. Cette hypothèse est supportée à la fois par des données obtenues chez l'animal (*e.g.*, Whishaw et Kolb, 1988) et chez l'homme (Kolb, 1990), indiquant qu'un entraînement systématique permet d'augmenter la probabilité de récupération neuronale (*e.g.*, Bach-y Rita, 1990). Une illustration schématique du lien hypothétique entre compensation neuronale et comportementale est présentée sur la Figure 1.4. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, il est possible d'envisager l'efficacité d'une compensation comportementale comme résultant en premier lieu d'une réponse organique et automatique du cerveau, puis d'un surplus d'efficacité induit par une potentialisation mutuelle des processus neuronaux de substitution et de l'entraînement comportemental.

En conclusion : Nous venons de présenter un rapide tour d'horizon de la littérature sur la compensation en nous appuyant sur les deux dimensions principales proposées par Bäckman et Dixon (*e.g.*, 1992) (*i.e.*, le degré d'automatisme et le type de mécanisme compensatoire). A travers les exemples exposés, cinq mécanismes compensatoires ont été abordés : la sélection, l'assimilation, l'accommodation, la remédiation et la substitution ⁷. Par ailleurs, en psychologie cognitive, la remédiation et la substitution sont les principaux concepts utilisés. De cette section, deux conclusions principales peuvent être proposées : (1) la substitution est le mécanisme compensatoire dominant ; et (2) les résultats sont plus efficaces lorsque le sujet est consciemment impliqué dans le processus de compensation.

⁷Une discussion plus approfondie sur les relations entre ces sous-concepts est proposée dans l'ouvrage de Dixon et Bäckman (1995, p. 14).

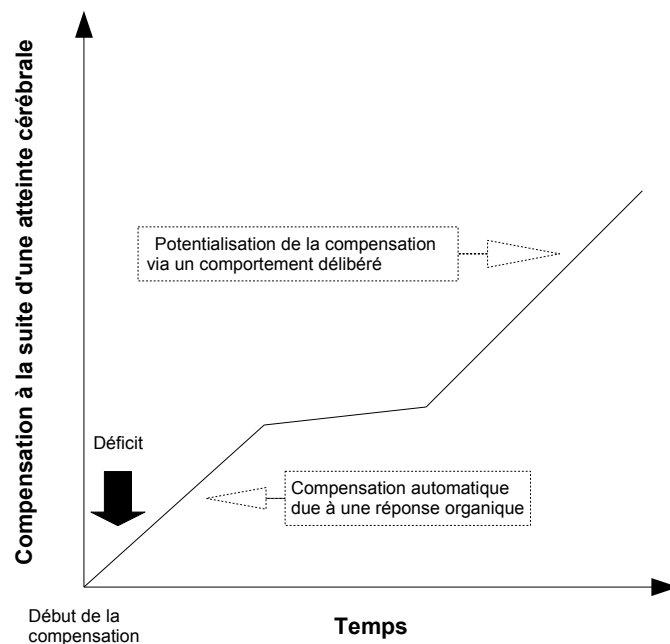


FIG. 1.4 – Illustration de la relation hypothétique entre compensation neuronale et comportementale à la suite d'une atteinte cérébrale (d'après Bäckman et Dixon, 1992).

1.3 Le modèle de Bäckman et Dixon

Dans la section 1.1 (p. 8), nous avons vu que Bäckman et Dixon (1992, p. 272) proposent de définir la compensation de la façon suivante :

« Une compensation peut être impliquée lorsqu'une inadéquation objective ou perçue entre les compétences accessibles et les demandes environnementales est contrebalancée (automatiquement ou consciemment) par un investissement supplémentaire en temps ou en effort (en utilisant les compétences habituelles), l'utilisation de compétences latentes (mais normalement inutilisées) ou l'acquisition de nouvelles compétences, de telle façon qu'un changement apparaisse dans le comportement, soit dans le sens d'un maintien ou d'une augmentation du niveau normal d'efficacité, soit dans le sens de comportements ou de conséquences mal adaptés. »

Sur les bases de cette définition, les auteurs identifient quatre éléments fondamentaux dans la compensation : (1) les origines ; (2) les facteurs d'opportunité (*i.e.*, niveau de conscience et degré d'automatisme) ; (3) les mécanismes ; et (4) les conséquences. Le modèle de Dixon et Bäckman (2005) est représenté sur la Figure 1.5. Comme nous pou-

vons le constater sur cette figure, les quatre points mentionnés sont successifs dans le phénomène compensatoire. Si une difficulté apparaît, le sujet peut en avoir conscience ou non. Si une compensation automatique est possible, des mécanismes compensatoires pourront être engagés même sans prise de conscience de la part du sujet. Sinon, la prise de décision sera déterminante dans l'initiation des mécanismes compensatoires. Quels que soient les mécanismes de compensation utilisés, les conséquences pourront être positives ou négatives et mener à une compensation totale ou partielle du déficit.

1.3.1 Les origines

La condition *sine qua non* pour qu'un phénomène compensatoire soit observé est l'apparition d'une incompatibilité, ou d'une inadéquation, entre les compétences et/ou les attentes d'un individu et les contraintes imposées par son environnement. En conséquence, la compensation ne peut avoir que deux origines : soit (1) un déficit apparaît dans les compétences d'une personne alors que ses contraintes environnementales et ses exigences de performance restent relativement stables ; soit (2) il apparaît une augmentation des contraintes environnementales ou de l'exigence de performance alors que les capacités de la personne restent inchangées.

Classiquement, d'après les travaux exposés dans la section précédente, il semble qu'une inadéquation engendrée par un déficit dans les compétences du sujet soit l'origine de compensation la plus répandue. Un point important soulevé par Bäckman et Dixon (1992) est que l'apparition d'une telle inadéquation n'entraîne pas systématiquement un phénomène compensatoire. Selon ces auteurs, la probabilité de compensation à la suite d'une inadéquation Sujet/Tâche dépend, d'une part, du *niveau de support contextuel* disponible et, d'autre part, du *niveau de difficulté*.

NIVEAU DE SUPPORT CONTEXTUEL

Généralement, il est constaté que lorsque la situation fournit en elle-même une certaine quantité de soutien, le sujet n'initiera pas de processus compensatoire car il n'en aura pas besoin pour effectuer correctement la tâche, malgré son déficit. Expérimentalement, la probabilité de compensation tend ainsi à diminuer avec l'augmentation des supports environnementaux, bien que le niveau de performance puisse augmenter. En conséquence, bien que la présence d'un minimum de soutien contextuel soit généralement nécessaire

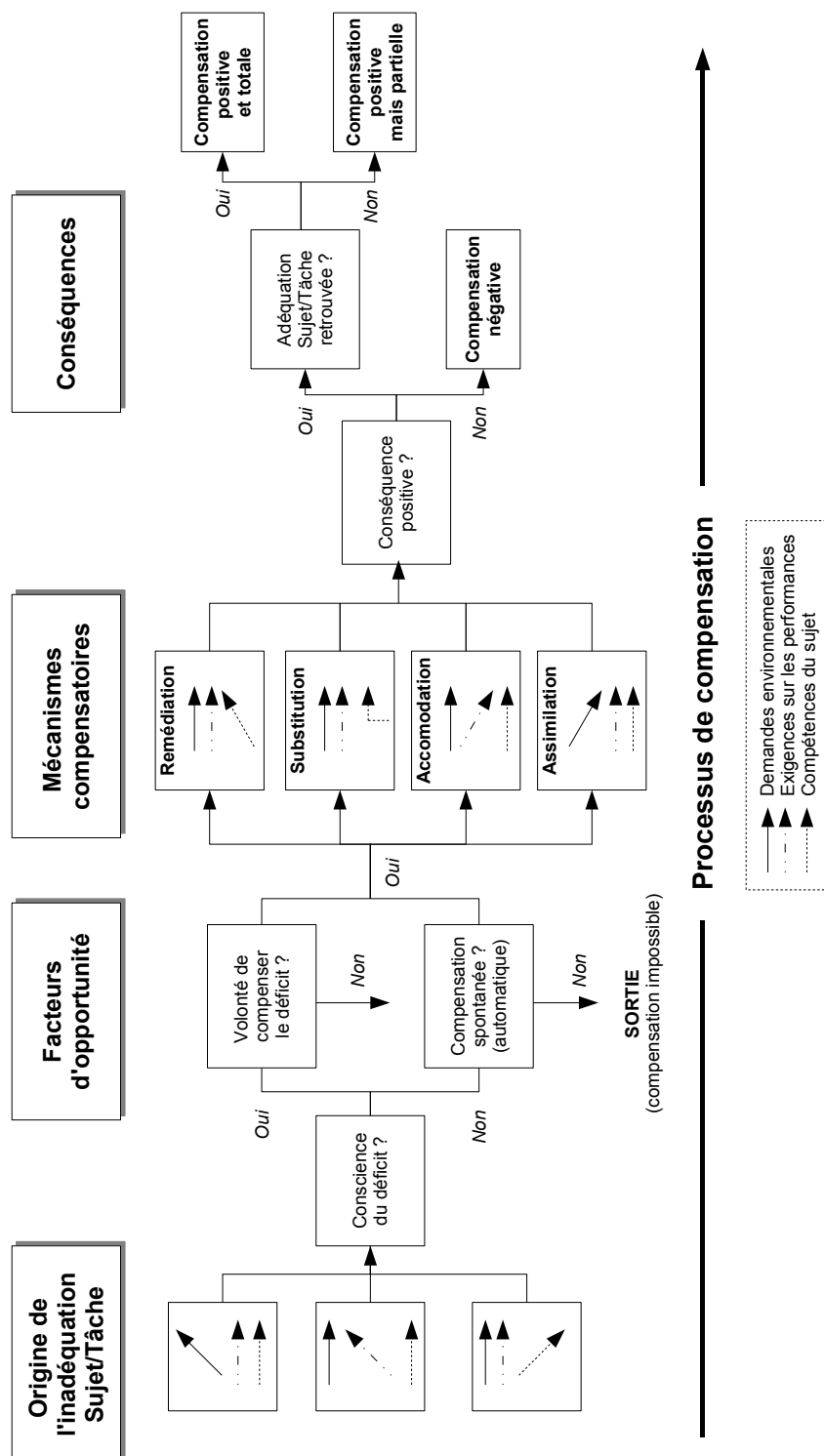


FIG. 1.5 – Illustration du modèle de compensation de Bäckman et Dixon (adapté de Bäckman et Dixon, 1992 et Dixon et Bäckman, 2005)

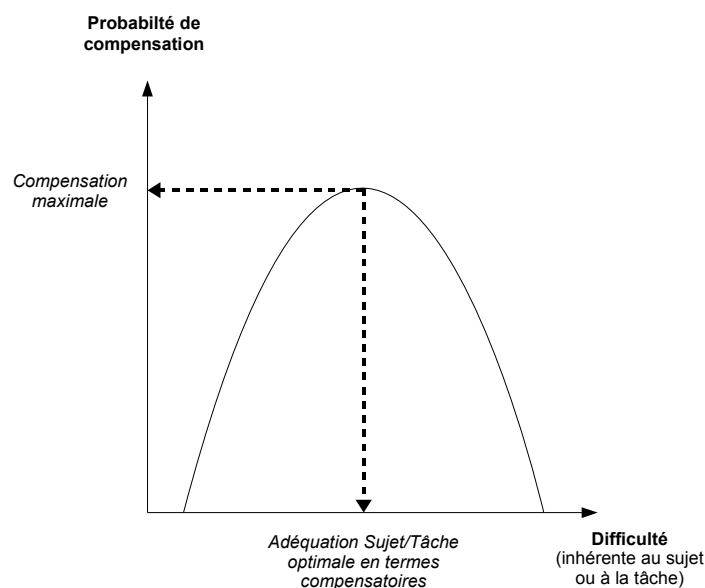


FIG. 1.6 – Illustration de la relation entre la probabilité de compensation et le niveau de difficulté (d'après Bäckman et Dixon, 1992).

pour engendrer une compensation, un soutien trop important minimisera les phénomènes compensatoires, indépendamment de la performance.

Divers travaux confirment ce résultat dans les domaines d'étude des handicaps sensoriels (*e.g.*, Simon *et al.*, 1982), des troubles de l'apprentissage (*e.g.*, Gaonac'h, 1984) et des déficits cognitifs (*e.g.*, Bäckman, 1985).

NIVEAU DE DIFFICULTÉ

Le deuxième facteur déterminant dans la relation inadéquation Sujet/Tâche et compensation est le *niveau de difficulté*. En effet, il est généralement constaté que la relation entre la probabilité de compensation et la difficulté peut être représentée par une courbe en U inversé (voir Figure 1.6). En d'autres termes, un sujet ayant un déficit modéré va être plus enclin aux phénomènes compensatoires qu'un sujet ayant un déficit léger ou, au contraire, trop lourd. De même, un sujet sera plus à même d'initier une compensation si la tâche est modérément difficile que si elle est trop facile ou trop dure.

Par exemple, la compensation mnésique *via* l'utilisation d'aides « internes » ou « externes » est plus probable chez le sujet âgé sain, que chez le sujet jeune ou le patient souffrant de la maladie d'Alzheimer (*e.g.*, Bäckman, 1989).

1.3.2 Les facteurs d'opportunité

Selon Bäckman et Dixon (1992), le facteur d'opportunité majeur dans la compensation va être la prise de conscience du déficit. En effet, comme nous l'avons vu précédemment (§ 1.2.1, p. 11), une compensation non-déclarative est envisageable dans certaines situations. Cependant, bien qu'une telle compensation soit possible, la prise de conscience du déficit potentialise fortement les chances de succès.

Concernant le degré de conscience, Bäckman et Dixon (1992) envisagent la compensation comme un continuum allant de processus purement automatiques, à des processus entièrement délibérés, ce continuum étant bi-directionnel. En effet, bien que les auteurs considèrent que la prise de conscience du déficit soit cruciale dans la possibilité de compensation, ils envisagent également que l'état de conscience puisse changer au cours du processus de compensation. A mesure que des efforts compensatoires sont fournis par le sujet, ses compétences peuvent ainsi devenir plus automatisées et moins consommatrices en ressources. Par exemple, une personne qui s'entraîne régulièrement à utiliser des astuces mnémotechniques pourra les appliquer de plus en plus facilement et systématiquement. Il est à noter cependant que deux situations particulières rendent impossible « l'automatisation » de la compensation : (1) le déficit tend à s'aggraver au cours du temps (*e.g.*, maladies neurodégénératives); ou (2) le sujet ne contrôle pas son comportement (*e.g.*, maladies psychiatriques).

Pour finir, la prise de conscience est cruciale dans le phénomène de compensation car elle va déterminer la possibilité de choix dans la stratégie compensatoire et, donc, les mécanismes utilisés.

1.3.3 Les mécanismes

Quelle que soit l'origine de la compensation, la finalité est toujours de réduire l'écart entre, d'une part, les compétences du sujet et, d'autre part, ses contraintes environnementales ou ses exigences de performance. Dans leur modèle, Bäckman et Dixon (1992) focalisent leur approche sur trois mécanismes principaux, initiés pour pallier l'inadéquation Sujet/Tâche : (1) un surinvestissement en temps et/ou en effort dans la compétence affectée (*i.e.*, remédiation); (2) l'utilisation d'une compétence de substitution déjà présente dans le répertoire du sujet, mais inutilisée ou à l'état latent (*i.e.*, substitution par

compétence latente); ou (3) développement d'une nouvelle compétence de substitution (*i.e.*, substitution par compétence nouvelle).

Par ailleurs, ces trois mécanismes peuvent être utilisés successivement dans la stratégie compensatoire du sujet. En effet, si un surinvestissement dans la compétence affectée n'est pas suffisamment efficace, l'individu pourra alors choisir de s'investir dans une compétence de substitution non utilisée jusqu'à présent. Si malgré ses efforts aucune des compétences de son répertoire ne s'avère utile, il pourra alors tenter d'acquérir de nouvelles compétences pour pallier son déficit (*e.g.*, apprendre la lecture du braille pour un malvoyant, ou la langue des signes pour un malentendant)

Dans les domaines d'étude des déficits cognitifs, ces trois mécanismes sont particulièrement pris en compte. Cependant, comme nous pouvons le constater sur la Figure 1.5, Dixon et Bäckman (2005) identifient également deux autres mécanismes compensatoires : (1) la restriction ou la révision des objectifs afin de diminuer les exigences de la tâche et, ainsi, retrouver une certaine satisfaction associée à la performance (*i.e.*, accommodation); et (2) l'ajustement du comportement, ou des conditions environnementales, afin également de réduire l'écart entre les compétences et les demandes (*i.e.*, assimilation).

Selon ces auteurs, l'analyse de ces différentes formes de compensation est un point important, car elle permet de déterminer dans quelle mesure un sujet déficient peut utiliser, ou non, les mêmes compétences qu'un sujet normal pour compenser.

1.3.4 Les conséquences

Dans notre tour d'horizon de la littérature sur la compensation, nous avons vu que les phénomènes compensatoires sont souvent fonctionnels et adaptatifs. Cependant, comme le propose le modèle de Bäckman et Dixon (1992), il convient de signaler que le processus de compensation n'aboutit pas toujours à des conséquences positives (*e.g.*, LeVere et LeVere, 1982; Süllwod, 1982; Wasserman *et al.*, 1985).

A titre d'exemple, Eaves et Klonoff (1970) ont démontré que, chez des personnes malvoyantes, un effort important dans la préservation des capacités résiduelles de vision gênait l'utilisation et le développement des autres modalités sensorielles.

En conclusion : En psychologie, le modèle de Bäckman et Dixon (1992) offre un cadre intégré de la compensation par rapport à la littérature du domaine. Ce modèle permet

d'analyser les phénomènes compensatoires selon leur origine et leur opportunité d'apparition mais aussi selon les mécanismes utilisés et les conséquences engendrées. Ce modèle permet particulièrement d'aborder la compensation selon son caractère automatique ou délibéré et de déterminer les formes de la compensation, c'est-à-dire dans quelle mesure un sujet déficient peut utiliser les mêmes compétences qu'un sujet normal afin de compenser son déficit. La notion d'adéquation, entre les capacités du sujet et les contraintes de la tâche considérée, est centrale dans ce modèle et c'est pourquoi nous avons choisi d'inscrire notre travail dans ce cadre théorique.

Après avoir abordé le thème de la compensation, le chapitre suivant présentera l'approche de la mémoire que nous avons considérée lors de nos investigations.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ En psychologie, la notion de *compensation* renvoie généralement à un ensemble de processus visant à réduire, voire annuler, un déficit ou une difficulté. Cette notion peut être envisagée comme un méta-concept regroupant cinq sous-concepts liés (*i.e.*, sélection, accommodation, assimilation, remédiation et substitution).
- ❑ Les phénomènes compensatoires sont présents dans une variété de domaines de recherche, tels les handicaps sensoriels ou le vieillissement cognitif. De l'ensemble des travaux sur la compensation, deux points importants semblent se dégager : (1) la substitution est le mécanisme compensatoire dominant ; et (2) les résultats sont meilleurs lorsque le sujet est consciemment impliqué dans le processus de compensation.
- ❑ Par rapport à la littérature, le modèle de Bäckman et Dixon (1992) propose une approche intégrée de la compensation en prenant en compte les origines, les opportunités d'apparition, les mécanismes et les conséquences des phénomènes compensatoires.
- ❑ La notion d'*adéquation*, entre les capacités du sujet et les contraintes de la tâche considérée, est centrale dans ce modèle qui définit deux origines possibles de la compensation : (1) une inadéquation Sujet/Tâche induite par un déficit dans les compétences du sujet, les contraintes environnementales restant relativement stables ; (2) une inadéquation Sujet/Tâche induite par des contraintes environnementales augmentées, les capacités du sujet restant relativement stables.
- ❑ Afin de palier l'inadéquation Sujet/Tâche, trois mécanismes compensatoires sont particulièrement décrits dans le modèle de Bäckman et Dixon (1992) : (1) un surinvestissement en temps et/ou en effort dans la compétence affectée (*i.e.*, remédiation) ; (2) l'utilisation d'une compétence de substitution déjà présente dans le répertoire du sujet, mais inutilisée ou à l'état latent (*i.e.*, substitution par compétence latente) ; ou (3) développement d'une nouvelle compétence de substitution (*i.e.*, substitution par compétence nouvelle).

LES RÉFÉRENCES CLEFS

- ❑ Bäckman, L et Dixon, R.A. (1992). Psychological compensation : A theoretical framework. *Psychological Bulletin*, 112, 259-283.
- ❑ Dixon, R.A. et Bäckman, L (Eds.) (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

LE CADRE DES NIVEAUX DE TRAITEMENT

Sommaire

- ❶ Structuralisme *vs.* fonctionnalisme (p. 36)
 - ❷ Profondeur de traitement et Elaboration (p. 49)
 - ❸ Adéquation *Encodage/Récupération* (p. 61)
 - ❹ Un cadre général de la mémoire (p. 65)
-

En 1972, Fergus Craik et Robert Lockhart ont publié un article intitulé « *Levels of processing : A framework for memory research* » dans lequel les auteurs ont exposé les aspects théoriques de l'*approche des niveaux de traitement*. Trois ans plus tard, Craik et Tulving (1975) ont rapporté une série d'expériences afin d'étayer les concepts et les aspects méthodologiques de cette approche.

Depuis l'article original de 1972, l'approche des niveaux de traitement guide les recherches sur la mémoire et son influence s'est étendue à d'autres champs d'étude de la cognition. En mai 2002, d'après le « *Web of Science* », les articles de Craik et Lockhart (1972) et de Craik et Tulving (1975) avaient été cités, respectivement, environ 2700 fois et 1300 fois dans la littérature. Selon Roediger *et al.* (2002), aucune autre publication scientifique contemporaine n'atteignait un tel niveau de citation en psychologie cognitive. Depuis plus de 30 ans, les niveaux de traitement sont ainsi une des conceptions théoriques majeures dans l'étude de la mémoire et de la cognition.

Dans les années 1960, la mémoire humaine était principalement envisagée en termes de systèmes multiples (*e.g.*, mémoire à court terme *vs.* mémoire à long terme). En 1972, les niveaux de traitement ont alors révolutionné les approches scientifiques en proposant d'aborder la mémoire non plus en termes de systèmes, mais en termes de processus ou de fonctions. Cette vision *fonctionnaliste* de la mémoire, contrastant fortement avec les conceptions théoriques de l'époque, est sans aucun doute une des raisons de l'impact considérable des niveaux de traitement dans l'étude des phénomènes mnésiques.

L'objectif de ce chapitre est tout d'abord de présenter brièvement les approches fonctionnalistes de la mémoire humaine, en les distinguant des approches structurales. Nous aborderons ensuite plus en détails l'approche des niveaux de traitement *via* ses concepts centraux (*i.e.*, profondeur de traitement et élaboration), mais aussi ses concepts complémentaires (*i.e.*, spécificité d'encodage et processus de transfert approprié). Nous termine-

rons en exposant quelques travaux permettant d'intégrer ces différents concepts dans un cadre général de la mémoire.

2.1 Structuralisme *vs.* fonctionnalisme

L'histoire de la psychologie est remplie d'exemples de la rivalité entre les études de l'esprit et du cerveau privilégiant soit les approches orientées vers les structures et les systèmes, soit les approches orientées vers les processus et le fonctionnement (*e.g.*, Boring, 1950). En psychologie cognitive, l'étude de la mémoire peut ainsi être envisagée dans une dichotomie entre deux grandes écoles : les approches structurales (ou multi-systémiques) ou fonctionnalistes (ou uni-systémiques).

2.1.1 Les approches structurales

Le fondement des approches structurales est une vision de la mémoire humaine en termes de systèmes mnésiques séparables, physiquement et/ou fonctionnellement. Cette vision *multi-systémique* hérite pour beaucoup de nombreux travaux en médecine et en neuropsychologie démontrant un lien entre une ou plusieurs structures cérébrales et une ou plusieurs fonctions mnésiques.

En effet, la pathologie fournit des arguments importants à la thèse structuraliste puisque des troubles cérébraux localisés (*e.g.*, lésions, ischémies, foyers épileptogènes, tumeurs, *etc.*) peuvent entraîner l'altération spécifique de certaines facultés de mémorisation. Pour reprendre l'exemple du fameux H.M. (voir chapitre 1, § 1.2.1, p. 11), une résection chirurgicale bilatérale de la quasi-totalité de ses lobes médio-temporaux a entraîné chez ce patient une amnésie rétrograde partielle (*i.e.*, incapacité partielle à récupérer des souvenirs anciens) et une forte amnésie antérograde (*i.e.*, incapacité quasi-totale à encoder de nouveaux souvenirs). Cependant, H.M. était toujours capable d'apprendre de manière non-consciente et montrait donc certaines aptitudes de mémoire non-altérées (Corkin, 1968), supportant ainsi une dissociation pertinente entre mémoire déclarative et non-déclarative ¹ (*e.g.*, Squire, 1992).

En dehors des arguments neuropsychologiques, les approches structurales de la mémoire se basent également, plus ou moins fortement, sur la conception modulaire de la

¹Voir p. 42, pour une définition des termes « mémoire déclarative » et « mémoire non-déclarative ».

cognition proposée par Jerry Fodor (1983). En sciences cognitives, l'ouvrage de Fodor intitulé « *The modularity of mind* » a par ailleurs été un des plus influents dans les années 1980. Dans ce livre, s'appuyant notamment sur les travaux de Noam Chomsky (*e.g.*, 1980), Fodor propose que les fonctions cognitives peuvent être décomposées en unités ou *modules* de traitement. L'auteur définit alors neuf caractéristiques générales pour ces modules cognitifs, dont trois principales : (1) *la spécificité du traitement*, impliquant qu'un module ne peut traiter que certaines informations circonscrites à un domaine bien précis ; (2) *l'encapsulation du traitement*, indiquant que le traitement de l'information est réalisé de façon indépendante, un module étant imperméable aux traitements des autres modules ; et (3) *les interactions de surface*, induisant que seuls les produits des traitements modulaires (ou sorties de surface) peuvent interagir et s'influencer.

Les modèles structuraux peuvent être classés en deux grandes catégories selon l'organisation et la coordination des modules de mémoire qu'ils décrivent. La première catégorie de modèles propose une organisation non-hiérarchisée, où chaque système mnésique présente une autonomie de fonctionnement tout en entretenant des relations plus ou moins étroites avec les autres systèmes (*e.g.*, Atkinson et Shiffrin, 1968, voir Figure 2.1). À l'inverse, la seconde catégorie de modèles propose une organisation hiérarchisée dans laquelle est généralement invoquée la notion de « système central », référant à un système superviseur en charge de coordonner les autres systèmes (*e.g.*, Baddeley et Hitch, 1974).

Quelle que soit leur architecture, les modèles structuraux se sont développés autour de trois questions majeures dans l'étude de la mémoire : (1) Quelle durée de rétention ? (2) Quel type de souvenirs ? (3) Quel degré de conscience ?

DES SYSTÈMES POUR DES DURÉES DIFFÉRENTES

Historiquement, la première dichotomie de la mémoire a été établie sur le critère de la durée de rétention. Dès la fin du XIX^e siècle, William James (1890) a proposé une distinction entre une mémoire « primaire » et une mémoire « secondaire ». Selon une terminologie plus actuelle, ces termes correspondent à la mémoire à court terme (MCT) et à la mémoire à long terme (MLT), respectivement. Par ailleurs, il est à noter que depuis les travaux de Baddeley et ses collaborateurs (*e.g.*, Baddeley, 2003; Baddeley et Hitch, 1974; Baddeley et Wilson, 2002), la notion de MCT a fait place à la notion de *mémoire de travail*. Cette nouvelle notion décrit une mémoire à court terme plus complexe

qu'un simple stock temporaire d'informations, en intégrant des capacités phonologiques (notamment responsables de la répétition mentale) et spatiales, ayant un lien étroit avec le système attentionnel.

Des arguments expérimentaux de la dichotomie MCT/MLT ont notamment été apportés par les travaux de Murdock (1962), lors de tâches de rappel libre. Murdock a fait apprendre à des sujets une liste de 15 mots et leur a demandé, immédiatement après la phase d'apprentissage, de rappeler le plus de mots possible contenus dans la liste. L'auteur a alors observé que les résultats du rappel libre pouvaient être représentés sous la forme d'une courbe en U, indiquant que les mots les mieux rappelés étaient les premiers et les derniers mots de la liste. Ce résultat est connu sous le nom d'*effets de position sérielle*, regroupant l'effet de *primauté* (*i.e.*, meilleur rappel des premiers mots) et l'effet de *récence* (*i.e.*, meilleur rappel des derniers mots).

Depuis les travaux pionniers d'Ebbinghaus (1885), et jusqu'au tournant des niveaux de traitement, la répétition mentale était considérée comme l'élément déterminant le passage des informations de la MCT vers la MLT. Murdock a alors formulé l'hypothèse que les premiers mots de la liste avaient le temps d'être auto-répétés en MCT et donc de passer en MLT. En outre, selon l'auteur, les derniers mots de la liste étaient quant à eux bien rappelés, simplement car ils étaient toujours présents en MCT. Pour tester cette hypothèse, une tâche interférente fut proposée aux sujets entre la fin de l'apprentissage et l'épreuve de rappel libre. Cette tâche interférente avait pour but d'empêcher l'auto-répétition en MCT des derniers items de la liste. Les résultats observés par Murdock ont alors montré que les premiers mots étaient toujours fortement restitués, contrairement aux derniers mots qui perdaient leur supériorité en rappel. La répétition mentale, faculté dépendante de la MCT (plus précisément de la mémoire de travail), semblait donc bien responsable de l'effet de récence. Au contraire, l'effet de primauté étant toujours présent et la MCT ayant été saturée, cet effet semblait plutôt supporté par la MLT.

Cette vision dualiste de la mémoire (*i.e.*, MCT/MLT) a été dominante jusqu'aux années 1960 puis évolua avec les travaux de Sperling (1960) et la découverte des *mémoires sensorielles*. En effet, Sperling a démontré qu'il existe un troisième système de mémoire, qu'il nomma registre d'informations sensorielles (RIS), correspondant à une rétention très brève des informations (*i.e.*, 2 secondes en moyenne). Les premiers travaux de Sperling concernaient la mémorisation de matrices de lettres présentées très rapidement et de façon

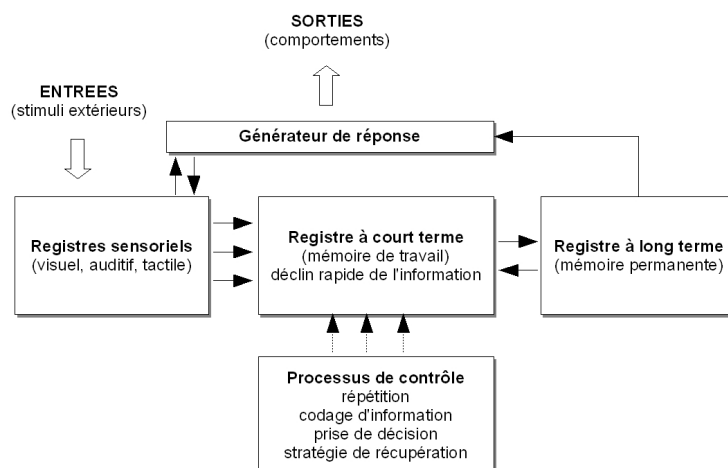


FIG. 2.1 – Une représentation du modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968).

visuelle (*i.e.*, technique de *tachitoscopie*). Le RIS référait alors à une mémoire sensorielle visuelle, ou mémoire *iconique*. Cependant, des travaux ultérieurs ont montré qu'il existait également une rétention très brève en modalité auditive (*e.g.*, Darwin *et al.*, 1972). Ainsi, le RIS réfère aussi bien à une mémoire iconique qu'à une mémoire sensorielle auditive, ou *échoïque*². Du point de vue fonctionnel, le RIS aurait pour vocation de maintenir les informations sensorielles pendant un temps minimal, afin qu'elles puissent transiter vers les systèmes cognitifs de plus haut niveau.

De nos jours, la division tripartite de la mémoire (*i.e.*, RIS/MCT/MLT) est couramment acceptée dans la communauté scientifique et représente ce que l'on appelle le *modèle modal*. Pour illustration, le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968) reprend cette dissociation en trois systèmes mnésiques (voir Figure 2.1). Par ailleurs, ce modèle est certainement le plus célèbre des modèles structuraux. Paradoxalement, il n'est peut être pas le plus typique puisque les théories d'Atkinson et Shiffrin focalisaient aussi bien sur les structures que sur les processus. Pour finir, le Tableau 2.1 propose une vue d'ensemble des trois systèmes mnésiques établis en fonction de la durée de rétention des informations.

Hormis les travaux de Baddeley et ses collègues (*e.g.*, Baddeley, 2003; Baddeley et Hitch, 1974; Baddeley et Wilson, 2002), proposant un modèle spécifique de la mémoire de travail, la majorité des modèles structuraux de la mémoire concerne la MLT. Nous allons

²En réalité, le RIS peut être invoqué *a priori* dans toutes les modalités sensorielles, seulement les modalités visuelle et auditive sont les plus testées en psychologie expérimentale.

Système mnésique	Durée de rétention	Format de l'information	Capacité	Cause de l'oubli
Mémoire sensorielle	250 ms à 4 sec.	caractéristiques sensorielles	12-20 items, voire plus	Masquage + délai
Mémoire à court terme	environ 12 sec.	caractéristiques sensorielles et sémantiques	7 + ou - 2 items	Interférences + délai
Mémoire à long terme	Illimitée	caractéristiques sensorielles et sémantiques	Illimitée	Interférences + indices inappropriés

TAB. 2.1 – *Présentation des trois systèmes de mémoire définis en fonction de la durée de rétention (d'après Solso et Pearson, 1997).*

donc aborder maintenant quelques exemples des différents systèmes proposés pour rendre compte de la mémorisation à long terme.

DES SYSTÈMES POUR DES SOUVENIRS DIFFÉRENTS

Endel Tulving (*e.g.*, 1985; 1995) est un des auteurs majeurs ayant contribué au développement des approches structurales de la mémoire. Cet auteur propose d'envisager la MLT en fonction du type d'information mémorisée, chaque type d'information étant géré par un système mnésique différent. Ainsi, dans la première version de son modèle, Tulving (1985) distingue trois types de souvenirs relatifs à trois systèmes de mémoire :

- *la mémoire procédurale* : réfère principalement à l'apprentissage d'habiletés ou d'habitudes perceptivo-motrices (*e.g.*, faire du vélo, conduire une voiture, jouer d'un instrument, *etc.*), mais aussi aux phénomènes d'apprentissage non-associatif (*e.g.*, phénomène d'habituation) et de conditionnement classique (*i.e.*, apprentissage de type pavlovien). La mémoire procédurale regroupe l'ensemble des souvenirs de type « savoirs-faire » ;
- *la mémoire sémantique* : réfère aux connaissances générales du sujet sur le monde (*e.g.*, $2 + 2 = 4$, révolution française en 1789, *etc.*). Les connaissances sémantiques sont décontextualisées, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être rattachées au moment ou au lieu où les informations ont été apprises ;
- *la mémoire épisodique* : réfère aux connaissances autobiographiques du sujet, c'est-à-dire aux souvenirs personnels concernant la vie de l'individu (*e.g.*, obtention d'un diplôme, mariage, voyages, *etc.*). Contrairement aux connaissances sémantiques, les

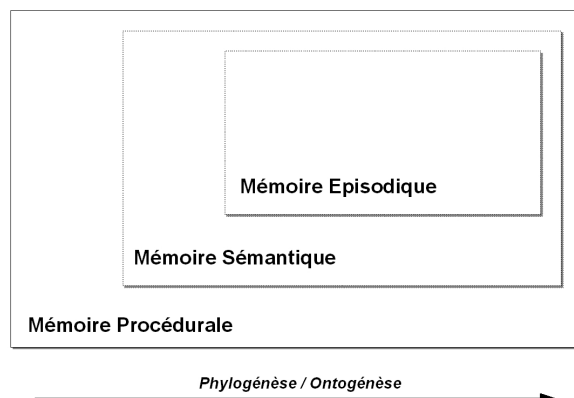


FIG. 2.2 – Une représentation du modèle de mémoire de Tulving (d’après Tulving, 1985).

souvenirs épisodiques sont contextualisés et peuvent donc être indexés à un cadre spatio-temporel.

Selon Tulving, ces différents systèmes de mémoire se mettraient en place de façon hiérarchique (monohiérarchique) et chronologique au cours de la vie d’un individu (*i.e.*, notion d’*ontogénèse*), reflétant leur moment d’apparition au cours de l’évolution des espèces (*i.e.*, notion de *phylogénèse*). Précisément, Tulving (1985) propose une conception en systèmes emboîtés où la mémoire sémantique et la mémoire épisodique seraient deux sous-systèmes se différenciant progressivement de la mémoire procédurale (voir Figure 2.2). La mémoire procédurale serait ainsi la première à se mettre en place, suivie de la mémoire sémantique, puis de la mémoire épisodique. En outre, cette chronologie d’apparition déterminerait les relations hiérarchiques qu’entretiennent entre eux les différents systèmes. La mémoire procédurale serait indépendante des deux autres systèmes, la mémoire sémantique ne dépendrait que de la mémoire procédurale, alors que la mémoire épisodique dépendrait à la fois de la mémoire procédurale et de la mémoire sémantique.

Dans une version plus actuelle de son modèle, Tulving (1995) propose de rajouter deux autres systèmes de mémoire : (1) un *système de représentation perceptive*, contenant les ébauches des éléments de la mémoire sémantique ; et (2) une *mémoire primaire* équivalente à la mémoire de travail de Baddeley et Hitch (1974). En incluant une composante de rétention à court terme, Tulving rapproche sa conception théorique de modèles plus généraux, comme celui d’Atkinson et Shiffrin (1968) ou la famille des modèles ACT (Adaptative Control of Thought) (*e.g.*, Anderson, 1983; Anderson *et al.*, 2004).

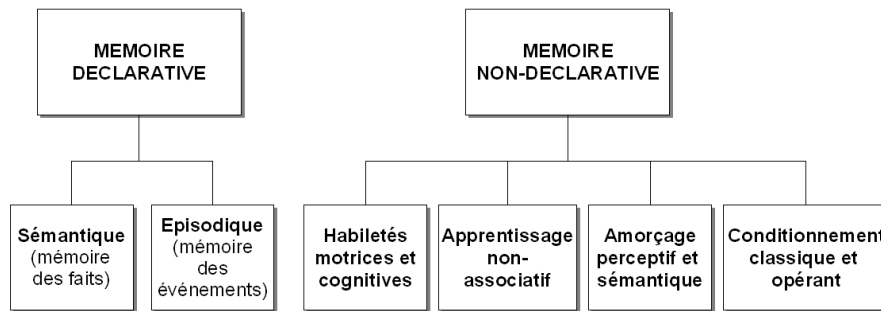


FIG. 2.3 – Une représentation du modèle de Squire (1992).

DES SYSTÈMES POUR DES ÉTATS DE CONSCIENCE DIFFÉRENTS

Dans l'étude de la mémoire, la question du niveau de conscience n'est pas récente. En effet, selon Schacter (1987), la première référence claire au phénomène de *mémoire implicite* (e.g., Graf et Schacter, 1985) a été faite par Descartes, en 1649, dans son ouvrage « *Les passions de l'âme* ». Il faudra pourtant attendre la fin du XIX^e siècle pour que cette question soit systématiquement abordée dans les études scientifiques et les années 1980 pour connaître « l'âge d'or »³ de la mémoire implicite.

Concernant les états de conscience, les modèles structuraux proposent le plus souvent une dissociation entre une *mémoire explicite* (ou déclarative, ou consciente) et une *mémoire implicite* (ou non-déclarative, ou inconsciente). Parmi ces modèles, celui de Squire (e.g., 1992; 2004) et celui de Tulving (e.g., 1985; 1995) sont certainement les plus connus.

La Figure 2.3 illustre le modèle de Squire. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent (voir § 1.2.1, p. 10), Squire (e.g., 1992; 2004) distingue une *mémoire déclarative* et une *mémoire non-déclarative*. La mémoire déclarative correspond à la fois à un apprentissage conscient d'informations et à une restitution volontaire et verbalisable de ce qui a été appris. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 2.3, l'auteur classe la mémoire sémantique et la mémoire épisodique dans la mémoire déclarative. En effet, la récupération de nos connaissances générales et de nos connaissances personnelles ne peut se faire qu'avec un certain effort cognitif et, donc, de façon consciente.

La mémoire non-déclarative réfère, quant à elle, à la fois à la mémorisation inconsciente d'informations et à une restitution spontanée, non-volontaire et non-verbalisable de ce qui a été appris. Dans ce type de mémoire, Squire classe les habiletés perceptivo-motrices, l'apprentissage non-associatif et le conditionnement classique, mais aussi les

³Selon les termes de Schacter (1994, p. 387).

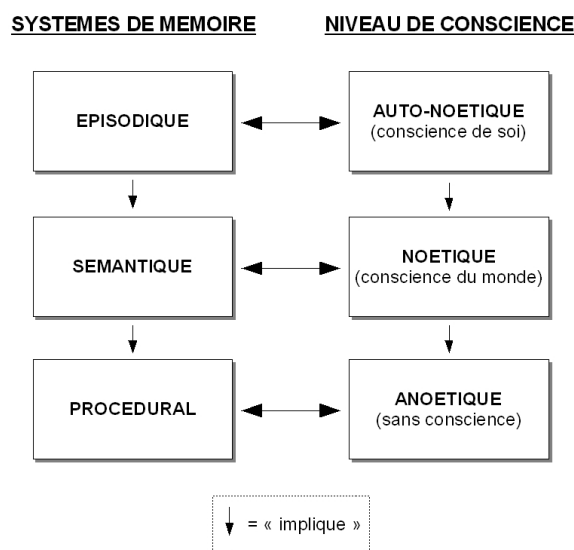


FIG. 2.4 – Illustration du modèle de Tulving en intégrant les différents états de conscience (d'après Tulving, 1985).

phénomènes d'amorçage perceptif et sémantique. Par exemple, une personne n'a pas besoin de se remémorer consciemment toutes les étapes gestuelles nécessaires pour conduire correctement sa voiture.

Concernant le modèle de Tulving (*e.g.*, 1985; 1995), la Figure 2.2 ne représente en réalité qu'une partie de ce modèle. En effet, une proposition importante de l'auteur est non seulement de relier les systèmes mnésiques en fonction de l'ontogénèse/phylogénèse mais surtout de les différencier en fonction de l'état de conscience dont ils dépendent. La Figure 2.4 illustre une nouvelle fois le modèle de Tulving en distinguant, cette fois-ci, les états de conscience.

D'après Tulving, la mémoire procédurale est une mémoire *anoétique*, c'est-à-dire sans conscience. Pour l'auteur cet état de conscience correspond simplement à la capacité de percevoir l'environnement et de réagir en conséquence. A l'inverse, la mémoire sémantique et la mémoire épisodique sont deux systèmes mnésiques dépendants de l'état de conscience du sujet. Selon Tulving, la mémoire sémantique est une mémoire *noétique*, c'est-à-dire impliquant un degré de conscience absolu, objectif. Précisément, la conscience noétique a pour objet les connaissances du sujet sur son monde. La mémoire épisodique serait, quant à elle, une mémoire *autonoétique*, c'est-à-dire impliquant un degré de conscience relatif, subjectif. Cet état correspondrait à la conscience de soi d'un individu, la représentation

identitaire pouvant être rattachée à un contexte temporel, spatial ou émotionnel plus ou moins riche.

Squire et Tulving proposent donc deux modèles fortement similaires, à trois systèmes principaux : (1) la mémoire sémantique et (2) la mémoire épisodique, toutes deux nécessitant un certain état de conscience du sujet ; et (3) une mémoire procédurale regroupant tous les phénomènes de mémorisation implicite, ainsi que leurs manifestations. Les définitions de ces trois systèmes sont identiques dans les deux modèles (voir p. 40).

Pour finir, il est à noter que l'exploration de la mémoire explicite et de la mémoire implicite ne repose pas sur les mêmes techniques expérimentales. L'étude de la mémoire explicite se fait généralement à l'aide de tests de mémoire classiques, comme les épreuves de rappel (libre ou indicé) et de reconnaissance. Les investigations de la mémoire implicite s'effectuent plutôt par l'évaluation des changements de performance et des tests indirects, comme les tests d'amorçage ou de complément de fragments (voir chapitre 1, § 1.2.1, p. 11).

En conclusion : Les approches structurales envisagent la mémoire humaine en termes de systèmes séparables, physiquement et/ou fonctionnellement. Ces approches sont historiquement fondées sur des données empiriques de la médecine et de la neuropsychologie mais ont été renforcées par certaines conceptions théoriques influentes, comme la vision modulaire de Jerry Fodor (1983). Les modèles issus de ces approches sont des modèles multi-systémiques, proposant divers modules mnésiques plus ou moins en interaction. Différentes architectures sont remarquables chez ces modèles (*i.e.*, non-hiérarchique ou hiérarchique) mais, quelle que soit l'organisation proposée, les modèles tentent généralement de répondre au moins à l'une des trois questions suivantes (voire aux trois) : (1) Quelle durée de rétention ? (2) Quel type de souvenirs ? (3) Quel degré de conscience ?

2.1.2 Les approches fonctionnalistes

A l'opposé des approches structurales, les approches fonctionnalistes de la mémoire postulent l'existence d'un système unique. C'est pourquoi, ces approches peuvent être identifiées comme des approches *uni-* ou *mono-systémiques*.

D'après Nicolas (2000, p. 159), les fonctionnalistes envisagent la mémoire non comme un lieu où sont simplement déposées nos connaissances, mais plutôt comme un ensemble de

procédures ou d'opérations permettant d'encoder l'information, cet ensemble changeant en fonction des situations. L'originalité des approches fonctionnalistes est précisément de considérer que l'expression de la mémoire n'est que la conséquence d'une interaction entre le système cognitif déclenchant certaines opérations mentales et les demandes particulières de l'environnement.

Ainsi, ces approches centrent leur intérêt sur les entrées et les sorties du système de mémoire, mais surtout sur les étapes de transition au sein du système et sur les processus de traitement des informations. Précisément, ces modèles se basent sur les notions d'encodage, de stockage et de récupération. L'articulation de ces trois notions assure une définition fonctionnelle du système mnésique, en termes d'étapes de mémorisation. En outre, lors de ces différentes étapes, des relations fonctionnelles entre les processus cognitifs impliqués peuvent être décrites (*e.g.*, Jacoby, 1994; Richardson-Klavehn *et al.*, 1996).

LES ÉTAPES DE LA MÉMORISATION

Au lieu de décomposer la mémoire en systèmes, comme le font les structuralistes, les fonctionnalistes divisent la mémoire en étapes cognitives, chacune des étapes impliquant certains processus mnésiques. Trois étapes sont classiquement distinguées.

L'encodage constitue l'ensemble des opérations effectuées à l'entrée du système de mémoire, afin de transformer l'information reçue par les systèmes sensoriels périphériques. L'objectif de cette étape est alors de produire une *trace mnésique* (Tulving, 1983) à partir des informations perçues, qu'elles soit « externes » (*i.e.*, venant de l'environnement) ou « internes » (*i.e.*, venant de l'organisme). L'encodage correspond ainsi à l'étape d'acquisition des informations. La variété des informations auxquelles le système est exposé pouvant être considérable, la constitution d'une trace mnésique pertinente repose sur les capacités du système à coder, ou recoder, les informations. Pour cela, le système mnésique tient à sa disposition un large panel de formats de codage. Selon Bower (1975), ces formats peuvent être de type : (1) perceptif ; (2) moteur ; (3) relatif à l'espace ; (4) relatif à la connaissance des objets ; ou (5) relatif aux aptitudes à résoudre des problèmes.

Le stockage constitue l'ensemble des opérations permettant au système de mémoire de conserver les produits issus de l'étape d'encodage. L'objectif de cette étape est d'assurer une certaine permanence des traces mnésiques. L'efficacité du stockage va donc résider dans les capacités du système à retenir de nouvelles informations sans perdre celles déjà

présentes en mémoire, c'est-à-dire à résister à l'oubli. Selon Tiberghien (1997, p. 97), trois classes de modèles ont été proposés pour rendre compte de l'oubli : (1) les modèles de consolidation qui invoquent une défaillance des processus d'orientation de l'attention et de la révision mentale, induisant une défaillance des processus d'encodage et empêchant ainsi la constitution de traces mnésiques résistantes ; (2) les modèles de l'interférence qui expliquent l'oubli par l'augmentation du nombre et de la similitude des traces mnésiques, et par la densité croissante de leurs relations ; enfin, (3) les modèles contextualistes qui suggèrent une incompatibilité entre les conditions contextuelles d'encodage et de restitution, causant l'oubli. Tiberghien souligne que cette dernière conception est incontestablement celle qui permet la meilleure intégration des données expérimentales et des observations cliniques. Nous y reviendrons plus loin dans ce chapitre (voir § 2.3, p. 61). Il est à noter cependant que certains auteurs (*e.g.*, Ebbinghaus, 1885; Wickelgren, 1975) expliquent également l'oubli par l'estompement au cours du temps des traces mnésiques, les traces tendant à se détériorer lorsqu'elles ne sont pas réactivées.

La récupération constitue l'ensemble des opérations permettant l'accès aux traces stockées en mémoire. L'objectif de cette étape est une réutilisation, dans la situation actuelle, des informations précédemment mémorisées. La récupération correspond ainsi à l'étape de restitution des informations. Cette étape peut être déclenchée soit par un indice interne (*i.e.*, inhérent au sujet lui-même), soit par un indice externe (*i.e.*, dépendant de l'environnement). L'indice déclencheur détermine alors l'information recherchée. Dans tous les cas, l'efficacité d'un indice relève de sa force de recouvrement avec les traces mnésiques présentes dans le système et, donc, de la « résonance » qu'il va provoquer en mémoire. Cette résonance mnésique provoquée par l'indice est appelée *ecphorie synergétique* par Tulving (*e.g.*, 1982).

Initialement, les premiers modèles fonctionnalistes de la mémoire se sont essentiellement appliqués à rendre compte des processus mis en jeu lors de l'étape d'encodage (*e.g.*, Craik et Lockhart, 1972). Par la suite, les travaux se sont largement orientés vers l'étude des relations entre encodage et récupération (*e.g.*, Kolers et Roediger, 1984; Morris *et al.*, 1977; Tulving et Thomson, 1973).

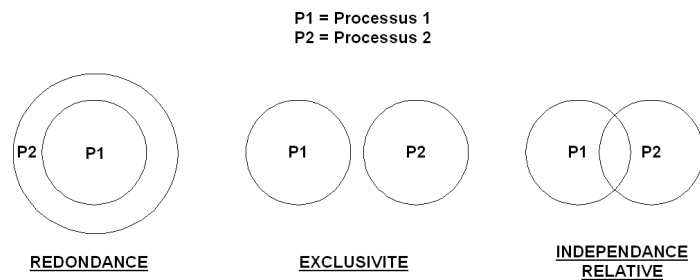


FIG. 2.5 – Illustration des trois principaux types de relations fonctionnelles entre des processus cognitifs (d’après Jacoby, 1994).

LES RELATIONS ENTRE PROCESSUS

Lors de chacune des étapes mnésiques, un certain nombre et un certain type de processus vont être mis en jeu. Les processus impliqués peuvent alors plus ou moins interagir ou, au contraire, être mutuellement exclusifs. D’après la littérature, comme illustré en Figure 2.5, trois principaux types de relation sont décrits (*e.g.*, Jacoby, 1994; Richardson-Klavehn *et al.*, 1996).

Les *relations de redondance* correspondent à des processus distincts, mais pouvant être hiérarchisés. Ces processus sont séquentiels et décrivent un continuum d’opérations. A l’encodage, les processus de *profondeur de traitement* sont un exemple illustratif de ce type de relation (Craik et Lockhart, 1972)⁴. En effet, selon l’approche des niveaux de traitement, l’information peut être encodée à différents niveaux, allant de niveaux superficiels de traitement (*e.g.*, simple analyse des caractéristiques physiques des items) au niveau le plus profond, le niveau sémantique.

Les *relations d’exclusivité* correspondent à des processus entièrement autonomes. Ces processus sont strictement indépendants et, *a priori*, ne peuvent s’influencer mutuellement. Par exemple, prenons la distinction entre les processus dits « *data-driven* » et les processus dits « *conceptually driven* » (pour définition voir Cohen, 1991; voir aussi les travaux de Roediger et ses collègues : *e.g.*, Roediger, 1990; Roediger et Blaxton, 1987). Les premiers réfèrent à un traitement dit « *bottom-up* », c’est-à-dire initié, guidé et déter-

⁴Il est à noter cependant que la notion de *niveau* (impliquant justement une hiérarchie des processus) a été largement critiquée (*e.g.*, Baddeley, 1978) et que les auteurs ont révisé leur approche. Craik et Lockhart proposent désormais le terme de *domaine* de traitement (Lockhart et Craik, 1990) (voir § 2.2.1, p. 54).

miné par les informations venant de l'environnement, captées par les organes sensoriels, et entrant dans le système cognitif. Ce sont des processus que l'on peut qualifier de « perceptuels ». A l'inverse, les seconds réfèrent à un traitement dit « *top-down* », c'est-à-dire guidé par des informations déjà présentes en mémoire et, précisément, par la connaissance et les concepts acquis par l'expérience de l'individu. Ce sont des processus que l'on peut qualifier de « conceptuels ». Ici, les processus sont mutuellement exclusifs car le flux du traitement ne peut pas être à la fois montant et descendant ⁵.

En contraste avec les deux autres types, les *relations d'indépendance relative* correspondent à des processus indépendants mais en interaction. Les interactions assurent alors une coordination des processus mis en jeu lors d'une tâche de mémoire. Précisément, les processus interagissent afin d'effectuer des opérations complémentaires pour mener à bien la tâche considérée. Selon Jacoby (*e.g.*, 1991, 1994), c'est ce type de relation qui unit les processus cognitifs dits « *automatiques* » et les processus dits « *contrôlés* ». La Figure 2.6 présente la différence entre ces deux types de processus. Les processus automatiques sont des processus cognitifs qui ne sont pas initiés volontairement par le sujet. Ils possèdent un certain nombre de caractéristiques comme la rapidité, un fonctionnement en parallèle, une faible consommation en ressources cognitives, une difficulté d'interruption et la possibilité d'une mise en jeu simultanée avec des processus contrôlés. A l'inverse, les processus contrôlés sont des processus cognitifs initiés volontairement par le sujet. Leurs caractéristiques sont une certaine lenteur, un fonctionnement séquentiel, une forte consommation en ressources cognitives, une facilité d'interruption et l'impossibilité d'une mise en jeu simultanée avec un autre processus contrôlé.

La suite de ce chapitre est consacrée à l'approche des *niveaux de traitement* (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990) et à ses concepts complémentaires, que sont le principe de *spécificité d'encodage* (Tulving et Thomson, 1973) et la notion de *transfert approprié* (*e.g.*, Morris *et al.*, 1977). Ces conceptions illustreront davantage l'approche fonctionnaliste de la mémoire.

En conclusion : Les approches fonctionnalistes proposent une vision unitaire de la mémoire humaine (*i.e.*, un système de mémoire unique). En outre, elles proposent de décrire le système mnésique à l'aide d'étapes de mémorisation (*i.e.*, encodage, stockage

⁵Bien que les processus *data-driven* et *conceptually driven* ne peuvent pas agir simultanément, certains auteurs proposent cependant qu'ils peuvent fortement interagir de façon séquentielle (*e.g.*, Neisser, 1967).

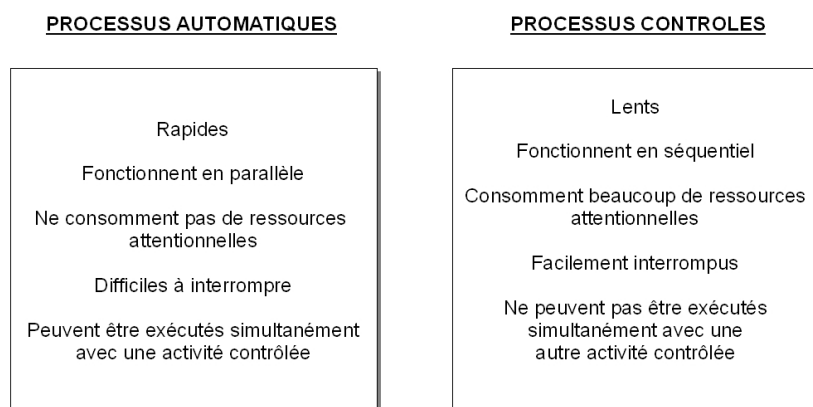


FIG. 2.6 – Présentation des processus cognitifs automatiques et contrôlés (adapté de Schneider et Shiffrin, 1977).

et récupération) au cours desquelles sont mis en jeu un certain nombre et un certain type de processus cognitifs. Ces processus peuvent être alors caractérisés, notamment, par le type de relations qu'ils entretiennent (*i.e.*, relations de redondance, d'exclusivité ou d'indépendance relative).

Dans cette section, nous n'avons abordé que brièvement les approches structurales et fonctionnalistes de la mémoire humaine. De nombreux ouvrages évoquent ce sujet et le lecteur pourra se référer, par exemple, à Nicolas (2000) pour de plus amples informations.

2.2 Profondeur de traitement et Élaboration

Comme évoqué en introduction de ce chapitre, l'approche des niveaux de traitement fournit depuis plus de trente ans un cadre théorique intéressant pour l'étude de la mémoire. Cette approche a été largement critiquée dès sa parution (*e.g.*, Baddeley, 1978; Eysenck, 1978; Morris *et al.*, 1977; Roediger et Gallo, 2001), mais les auteurs ont su la faire évoluer (*e.g.*, Lockhart, 2002; Lockhart et Craik, 1990; Lockhart *et al.*, 1976; Moscovitch et Craik, 1976) et elle reste très actuelle de nos jours. Le numéro spécial du journal *Memory*, consacré à ce sujet en 2002, en est un témoignage.

L'approche des niveaux de traitement est une approche fonctionnaliste de la mémoire selon laquelle la mémorisation est envisagée comme le produit du fonctionnement du cerveau. Plus exactement, Craik et Lockhart (1972) ont suggéré que les traces mnésiques sont une conséquence de l'analyse perceptuelle des informations par le système cognitif.

L'approche des niveaux de traitement a été initialement fondée sur la notion de *profondeur de traitement* (PDT), référant à un processus d'encodage qualitatif de l'information. L'approche s'est ensuite orientée vers la notion d'*élaboration* référant, quant à elle, à un enrichissement des traces mnésiques. Ces deux notions ne sont pas exclusives et peuvent interagir lors de l'apprentissage.

2.2.1 La profondeur de traitement

La notion de PDT est issue de travaux établis dans le champ d'étude de la perception, montrant que percevoir implique une analyse rapide des informations à différents « niveaux » ou « stages » de traitement (*e.g.*, Treisman, 1964). Les niveaux primaires concernent l'analyse des caractéristiques physiques et sensorielles comme les lignes, les angles, les contrastes ou la luminosité. En revanche, les niveaux supérieurs concernent la reconnaissance des formes et l'extraction du sens. Cette conception implique ainsi une série ou hiérarchie de niveaux de traitement, regroupée sous la notion de PDT, où une analyse profonde réfère à une analyse sémantique.

S'appuyant notamment sur les suggestions de Massaro (1970), Craik et Lockhart (1972) ont repris ces considérations pour les appliquer à la mémoire. Selon ces auteurs, les traces mnésiques seraient non seulement une conséquence de l'analyse perceptuelle, mais la persistance des traces en mémoire dépendrait de la profondeur du traitement de l'information. Précisément, une analyse profonde, c'est-à-dire sémantique, induirait des traces plus solides et durables. Il est à noter que si les traces mnésiques résultent de l'analyse perceptuelle, alors la PDT est en partie déterminée par les caractéristiques intrinsèques de l'information traitée. En conséquence, un matériel porteur de sens ou des tâches orientées sémantiquement, doivent augmenter les performances de mémoire.

Nous allons maintenant aborder les arguments expérimentaux en faveur de la PDT, ainsi que les critiques de cette notion.

ARGUMENTS EXPÉRIMENTAUX

L'effet de PDT, défini par de meilleures performances de mémoire après un traitement sémantique des informations comparé à un traitement « superficiel » (*e.g.*, orthographique ou phonétique), est un effet puissant et robuste largement démontré dans la littérature scientifique. Cet effet est tellement classique que la PDT est passée en trente ans d'un

Domaine de traitement	Tâches d'orientation	Réponse correcte	Réponse incorrecte
Structural	Est-ce que le mot est écrit en majuscule ?	TABLE	table
Phonétique	Est-ce que le mot rime avec MIETTE ?	assiette	couteau
Sémantique	Est-ce que le mot serait approprié dans la phrase suivante : « Il a rencontré un _____ dans la rue » ?	ami	nuage

TAB. 2.2 – Tâches d'orientation utilisées par Craik et Tulving (1975).

statut théorique à un statut méthodologique (Lockhart, 2002). Par exemple, dans les recherches actuelles, le « paradigme des niveaux de traitement » est fréquemment utilisé pour étudier la distinction entre mémoire implicite et explicite (*e.g.*, Challis *et al.*, 1996; Roediger *et al.*, 1992).

Dans la littérature, deux grands types d'approche expérimentale sont utilisés pour étudier l'effet de PDT : (1) les tâches d'orientation et (2) les listes d'orientation de traitement.

Les tâches d'orientation

Lors de la phase d'apprentissage, les tâches d'orientation réfèrent à des consignes données aux sujets permettant d'orienter l'analyse cognitive du matériel à mémoriser vers certains niveaux de traitement (*i.e.*, superficiels ou profonds). Ces tâches sont historiquement la première méthode qui a été utilisée pour étudier et démontrer l'effet de PDT (Craik et Tulving, 1975). Comme souligné par Craik et Lockhart (1972, p. 677), les tâches d'orientation, dans des conditions d'apprentissage implicite, permettent à l'expérimentateur d'avoir un contrôle sur le traitement effectué par les sujets, contrairement à un apprentissage libre et explicite dans lequel les stratégies d'encodage ne sont pas maîtrisées.

Les différentes études testant l'effet de PDT ont utilisé des tâches d'orientation de traitement variant le plus souvent selon trois niveaux d'analyse : (1) un *niveau structural*, dont la consigne consiste à demander au sujet de juger la forme physique des mots présentés ; (2) un *niveau phonétique*, dont la consigne concerne l'analyse ou la production de rimes ; et (3) un *niveau sémantique*, obtenu par une consigne s'adressant à la signification des mots. Le Tableau 2.2 illustre ces différentes tâches d'orientation.

A l'aide de cette méthode, Craik et Tulving (1975) ont démontré que le niveau de performance sur des tests de mémorisation est directement lié à la consigne donnée aux sujets,

lors de la phase d'apprentissage. Précisément, les résultats de ces auteurs ont indiqué que les meilleures performances sont obtenues grâce à la consigne sémantique, puis la consigne phonétique et, enfin, la consigne structurale. En d'autres termes, plus l'encodage des informations est orienté vers un niveau de traitement profond (*i.e.*, sémantique), meilleures sont les performances en restitution. Puisque l'orientation du traitement vers un niveau sémantique permet d'augmenter la qualité de la mémorisation, les tâches d'orientation apportent ainsi des arguments en faveur de la notion de PDT.

Les listes d'orientation de traitement

En dehors des tâches d'orientation, dépendant de la consigne donnée aux sujets, la nature du matériel à mémoriser ainsi que son organisation peuvent orienter l'analyse vers différents niveaux de traitement, lors de la phase d'apprentissage.

Nature du matériel : Par exemple, pour tester l'effet de PDT, il est possible d'utiliser des listes de paires de mots qui peuvent être soit liés phonétiquement (*e.g.*, USINE - BASSINE), orientant vers un traitement superficiel, soit liés sémantiquement (*e.g.*, MARTEAU - OUTIL), orientant vers un traitement profond. Avec ce genre de matériel, il est classique de montrer que les mots cibles (*e.g.*, les premiers mots de chaque paire) des listes sémantiques sont mieux restitués que les mots cibles des listes phonétiques, lors de tests ultérieurs de mémoire. Utilisant une tâche de rappel indicé, Fisher et Craik (1977, Expérience 2) ont ainsi rapporté 30% de rappel correct en utilisant des listes sémantiques, contre 21% de rappel correct pour des listes phonétiques. Cette méthode d'exploration est fréquemment utilisée dans notre laboratoire et elle a permis, par exemple, de démontrer l'effet de PDT aussi bien chez des sujets jeunes que âgés (*e.g.*, Sauzéron *et al.*, 2000).

Organisation du matériel : L'organisation du matériel est un autre moyen d'orienter le niveau de traitement des informations. En effet, des listes de mots organisées en catégories (*e.g.*, ABRICOT, ORANGE, FRAISE, POMME, *etc.*) offrent plus de cohérence entre les informations à mémoriser que des listes de mots non-organisées (*e.g.*, ABRICOT, TROMPETTE, HORLOGE, TRAIN, *etc.*). En conséquence, du matériel organisé véhicule plus de sens que du matériel non-organisé et permet ainsi un traitement plus profond. Il est alors classique de constater expérimentalement de meilleures performances de

mémoire lorsqu'une organisation des informations a été proposée par l'expérimentateur, lors de la phase d'apprentissage (*e.g.*, Einstein et Hunt, 1980; Sauz on *et al.*, 2001).

Puisque des listes de mots liés sémantiquement, ou organisés en catégories, permettent d'augmenter la qualité de la mémorisation, les listes d'orientation de traitement offrent alors des arguments supplémentaires en faveur de la PDT.

LES CRITIQUES

Bien que la notion de PDT appar it pertinente, un grand nombre d'auteurs ont critiqué cette conception (*e.g.*, Baddeley, 1978; Eysenck, 1978; Morris *et al.*, 1977; Roediger et Gallo, 2001). L'objectif de ce paragraphe n'est pas de présenter de façon exhaustive tous les arguments qui ont été avancés contre la notion de PDT. Pour des réponses à la majorité de ces arguments, le lecteur pourra se référer à Lockhart et Craik (1990). Le but est simplement ici d'évoquer deux des principales critiques ayant permis de faire évoluer le concept de PDT vers celui d'* laboration*. Les deux critiques majeures sont : (1) l'aspect tautologique de la notion de PDT ; et (2) la notion de hiérarchie des traitements.

Aspect tautologique

La critique théorique la plus fréquemment adressée à Craik et Lockhart sur la notion de PDT est certainement celle de l'aspect tautologique de cette notion. En effet, la PDT peut présenter un danger de circularité de raisonnement, c'est-à-dire que si un traitement profond est associé à de meilleures performances de mémoire, alors, en l'absence d'un index de mesure indépendant de la PDT, il est tentant de conclure que de bonnes performances sont dues à un traitement profond lors de l'encodage. Méthodologiquement, le manque d'un index de mesure de la PDT est donc la critique logique qui en découle. Selon Nelson (1977), la circularité du raisonnement de la PDT rend l'approche des niveaux de traitement infalsifiable et, donc, scientifiquement irrecevable.

Lockhart et Craik (1990, p. 92) soulignent cependant que, comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, il est possible d'orienter méthodologiquement le traitement des sujets lors de la phase d'apprentissage. Les meilleures performances obtenues en utilisant une orientation sémantique découlent donc d'une manipulation expérimentale *a priori* et non d'une interprétation *a posteriori* du niveau de traitement, par rapport aux performances de mémoire. Les résultats de Craik et Tulving (1975) ou des autres études

utilisant des tâches ou des listes d'orientation de traitement ne peuvent alors pas être taxés de circularité.

Sur la question d'un index de mesure indépendant, ce problème n'est pas vraiment spécifique à la PDT, mais constitue une difficulté générale dans l'étude fonctionnelle du système cognitif. En outre, Lockhart et Craik (1990, p. 92) indiquent que même si la PDT pouvait être corrélée, par exemple, à un indicateur de vitesse de traitement ou même un indicateur neurophysiologique, la critique de circularité ne serait pas évacuée pour autant. En effet, pour valider l'index, il faudrait interpréter les résultats en évoquant une corrélation monotone entre la mesure issue de l'index et la PDT, c'est-à-dire, par exemple, une augmentation de la PDT lors de l'augmentation de l'index, et inversement. Paradoxalement, il se trouve que ce type de relation monotone, impliquant une hiérarchie dans les niveaux de traitement, est justement la deuxième critique majeure adressée aux niveaux de traitement.

Notion de hiérarchie

Baddeley (1978) a été un des premiers auteurs à questionner la pertinence d'un continuum unidirectionnel, référant à une séquence linéaire de niveaux de traitement (*i. e.*, de superficiel à profond). Cette conception implique de fait une hiérarchie des traitements, indiquant implicitement qu'une analyse profonde entraîne toujours de meilleures performances qu'une analyse superficielle. Morris *et al.* (1977) ont justement montré que ce n'était pas le cas. En effet, les résultats de ces auteurs ont indiqué que, dans certaines circonstances de test appropriées, un traitement phonétique peut induire de meilleures performances de mémoire qu'un traitement sémantique. Il n'y aurait donc pas de supériorité « absolue » des traitements profonds sur les traitement superficiels (voir § 2.3.2, p. 64).

Lockhart et Craik (1990, p. 94) ont admis que cette critique de hiérarchie des traitements est fondée et que la première formulation de leur approche (Craik et Lockhart, 1972) n'offrait pas beaucoup d'arguments contre une interprétation hiérarchique de la PDT. Les auteurs ont également souligné que cette vision linéaire des niveaux de traitement a été rapidement corrigée (Lockhart *et al.*, 1976). Dans leur correction, les auteurs ont alors suggéré que la notion de PDT, originellement décrite, concerne deux concepts différents : (1) le premier, correspondant à différents *domaines* de traitement, réfère à une

certaine qualité de mémorisation sans question de hiérarchie entre les domaines ; (2) le second, correspondant à une certaine quantité d'analyse au sein de chaque domaine, réfère à un enrichissement de l'information. Lockhart et Craik (1990, p. 96) ont alors concédé que la notion d'*élaboration* capture peut être mieux l'essence de cette seconde acception.

En conclusion : La notion de PDT implique des processus cognitifs dépendants en partie du matériel à mémoriser ou des conditions d'encodage des informations. Cette notion réfère à différents domaines de traitement induisant une mémorisation de plus ou moins bonne qualité. Précisément, plus le domaine de traitement des informations est de type sémantique, plus les traces mnésiques seront solides et durables.

2.2.2 L'élaboration

Dès leur premier article sur les niveaux de traitement, Craik et Lockhart (1972, p. 675) ont évoqué la notion d'*élaboration*. Selon les auteurs, la PDT détermine une certaine qualité d'analyse des informations, mais des traitements supplémentaires peuvent être effectués afin d'enrichir, ou d'élaborer, cette analyse. Par exemple, une fois qu'un stimulus a été reconnu, il peut activer en mémoire des associations verbales, ou imagées, sur la base des expériences passées du sujet. L'activation de ces associations permettrait alors de renforcer la trace mnésique liée à l'événement, en favorisant une meilleure intégration de la trace par rapport aux connaissances de l'individu. Le concept d'élaboration renvoie ainsi à une idée intuitivement importante qui est que l'apprentissage est facilité lorsqu'une nouvelle information à mémoriser est mise en relation avec les connaissances du sujet (Stein et Bransford, 1979, p. 769).

L'idée de richesse d'encodage, ou d'élaboration, suggère la métaphore d'une « *diffusion d'encodage* » ou encore d'une « *extension de traitement* » (*e.g.*, Kolers, 1979; Murdock, 1974). D'après Anderson et Reder (1979), les traitements profonds (*i.e.*, impliquant un degré sémantique) ne feraient que faciliter les processus d'élaboration. Ces auteurs ont alors proposé que seule la notion d'élaboration était réellement utile.

Craik et Lockhart affirment cependant que les notions de PDT et d'élaboration sont toutes deux nécessaires. Ces auteurs ont ainsi suggéré que la PDT réfère à différents processus qualitatifs d'encodage et l'élaboration réfère à un enrichissement de l'encodage au sein de chaque domaine qualitatif de traitement (Lockhart et Craik, 1990; Lockhart *et al.*,

1976). Par ailleurs, l'enrichissement du traitement peut se faire soit de façon « implicite », soit de façon « explicite ».

ÉLABORATION IMPLICITE : LA CONGRUENCE

Dans le cadre des niveaux de traitement, Craik et Tulving (1975) ont été les premiers à discuter de la notion d'élaboration. Ces auteurs ont effectué une série d'expériences afin de valider le concept de PDT. Lors de ces expériences, les mots cibles à mémoriser étaient précédés de questions (*e.g.*, « Est-ce que le mot rime avec TRAIN ? » ; « Est-ce que le mot est un type de fleur ? ») sensées orienter le traitement des informations. Des tests ultérieurs de mémoire ont indiqué que les résultats variaient grandement en fonction de la question posée et, précisément, que les meilleures performances étaient obtenues à l'aide de questions sémantiques. En outre, Craik et Tulving ont observé un résultat inattendu indiquant qu'une association question/réponse congruente (*e.g.*, « Est-ce que le mot rime avec TRAIN ? » - PAIN ; « Est-ce que le mot est un type de fleur ? » - TULIPE) induisait une meilleure mémorisation qu'une association non-congruente (*e.g.*, « Est-ce que le mot rime avec TRAIN ? » - CHAISE ; « Est-ce que le mot est un type de fleur ? » - TIGRE). Selon les auteurs, la congruence (Schulman, 1974) offre une cohérence plus forte entre la question et la réponse. La cohérence du bloc question/réponse entraîne alors des traces mnésiques plus élaborées car la question fournit un contexte pertinent, permettant de mieux intégrer la réponse aux connaissances du sujet. La trace devient alors plus robuste ce qui explique l'augmentation de performance.

La notion de congruence semble ainsi importante pour la mise en jeu des processus d'élaboration⁶. Dans ce cas, comme pour la PDT, ce sont les caractéristiques du matériel, précisément la cohérence entre l'item à mémoriser et son contexte d'encodage, qui vont permettre de faciliter l'intégration des informations en mémoire. Ici, l'élaboration des stimuli est alors facilitée de façon « implicite ». D'après la littérature, les méthodes d'élaboration utilisées expérimentalement sont cependant majoritairement « explicites ».

ÉLABORATION EXPLICITE : L'ENCODAGE ACTIF

Lors de la phase d'encodage, une technique fréquemment utilisée pour enrichir le traitement des informations est d'impliquer activement les sujets dans la tâche de mémori-

⁶Voir Stein et Bransford (1979) pour des résultats différents.

sation. Cette méthode est basée sur les résultats de différents travaux indiquant qu'un encodage actif induit de meilleures performances qu'un encodage passif (*e.g.*, Anderson *et al.*, 1971; Erderlyi *et al.*, 1977). En effet, l'encodage actif des informations possède le double avantage d'augmenter le niveau attentionnel du sujet, mais surtout de solliciter des processus explicites d'encodage, notamment, les processus élaboratifs.

Concernant l'élaboration explicite, trois grandes catégories de tâches peuvent être distinguées : (1) l'auto-référence ; (2) les tâches de génération ; et (3) la manipulation mentale des items.

L'auto-référence

Les tâches d'auto-référence consistent à demander aux sujets si les mots cibles présentés décrivent leur personnalité (*e.g.*, Kuiper et Rogers, 1979). La réponse à fournir par le sujet est alors simplement « OUI » ou « NON ».

Rogers *et al.* (1977) ont comparé ce type de question avec les questions d'orientation de traitement proposées par Craik et Tulving (1975). Les résultats montrent un effet de PDT classique (*i.e.*, supériorité des performances à l'aide de questions sémantiques par rapport aux questions structurales et phonétiques), mais aussi que les questions auto-référentes induisent de meilleures performances. L'auto-référence semble ainsi produire des traces mnésiques encore plus robustes qu'un traitement sémantique classique.

Ce résultat peut être expliqué par la notion de « *soi* » qui implique un schéma cognitif hautement élaboré. Précisément, juger un item comme décrivant ou non sa propre personnalité sollicite des comparaisons conceptuelles relativement complexes qui dépendent à la fois de la mémoire sémantique et de la mémoire épisodique. Pour effectuer le jugement, l'information doit être intégrée dans l'ensemble des connaissances du sujet, produisant ainsi une trace fortement élaborée. L'auto-référence induit donc un traitement à la fois sémantique et élaboré, c'est pourquoi les performances de mémoire sont augmentées par rapport à un traitement sémantique simple ⁷.

⁷L'auto-référence est un exemple de tâche mettant en jeu une interaction entre les processus de PDT et d'élaboration (voir § 2.2.3, p. 59).

Les tâches de génération

Les tâches de génération impliquent fréquemment l'utilisation de listes de paires de mots. Au sein de chaque paire, un des deux mots est considéré comme le mot « cible » (*i.e.*, celui que le sujet devra restituer lors des tests) et l'autre mot est considéré comme le contexte d'encodage de la cible. Par la suite, le mot « contexte » servira généralement d'indice afin de récupérer le mot cible (*i.e.*, tâche de rappel indicé). Lors de tâches de génération, à l'encodage, il est demandé aux sujets soit de générer les mots cibles en fonction de mots contextes imposés (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978), soit de générer les mots contextes en fonction de mots cibles imposés (*e.g.*, Sauzéron *et al.*, 2001). Ces situations d'encodage correspondent alors à la condition élaborée (*e.g.*, GARAGE - _____), comparée à la condition non-élaborée où les deux mots de chaque paire sont imposés par l'expérimentateur (*e.g.*, GARAGE - VOITURE).

Par exemple, Mäntylä et Nilsson (1983) ont effectué une expérience au cours de laquelle des sujets devaient générer trois mots contextes en rapport avec chaque mot cible présenté. Les expérimentateurs proposaient ensuite un test de rappel indicé, en utilisant comme indice soit les mots générés par les sujets, soit d'autres mots en rapport avec les cibles. Les auteurs ont alors démontré que les performances de rappel des cibles étaient largement supérieures lorsque les indices utilisés étaient ceux générés par les sujets.

L'« effet de génération » (Slamecka et Graf, 1978), c'est-à-dire l'augmentation de performance lorsque les sujets génèrent les items à mémoriser ou leur contexte, peut être expliqué ici encore par une plus grande élaboration des informations. En effet, la génération des mots mobilise les connaissances du sujet et permet de créer une relation spécifique, entre la cible et son contexte, à forte valeur personnelle. Lors de la génération, les processus associatifs mis en jeu induisent de fait une intégration des informations dans la mémoire du sujet. La trace mnésique correspondant à la paire sera ainsi plus élaborée et plus robuste, conduisant à de meilleures performances.

La manipulation mentale

Le troisième type de tâches que l'on peut utiliser, afin d'induire une élaboration des informations à l'encodage, sont des tâches basées sur une manipulation mentale des items à mémoriser.

Par exemple, la méthode dite « d'inversion de lettres »⁸ (*e.g.*, Greene, 1988; Nairne *et al.*, 1985; Nairne et Widner, 1987) consiste à présenter le matériel soit en inversant deux lettres des mots cibles (*e.g.*, HCIEN), soit de façon normale (*e.g.*, CHIEN). Lors de la phase d'apprentissage, les sujets doivent alors reconstruire mentalement le mot cible qui doit être mémorisé. Avec ce type de méthode, il est classique de constater qu'un matériel manipulé par les sujets induit de meilleures performances qu'un matériel simplement lu (*e.g.*, Nairne et Widner, 1987).

Lorsque les items sont manipulés mentalement, des processus cognitifs sont mis en jeu afin de retrouver en mémoire, à partir de sa forme modifiée, l'item qui doit être réellement mémorisé. Ensuite, des processus de vérification, voire de correction, vont être sollicités avant l'encodage définitif. Tous ces processus impliquent les connaissances du sujet et participent à l'intégration des informations en mémoire. Ici encore, la trace mnésique sera plus élaborée et plus robuste, conduisant à de meilleures performances.

En conclusion : L'élaboration renvoie à un ensemble de processus cognitifs permettant d'enrichir l'encodage des informations dans chaque domaine de traitement (*e.g.*, structural, phonétique, sémantique, *etc.*). Ces processus élaboratifs facilitent l'intégration en mémoire des informations par rapport à l'expérience et aux connaissances des sujets. Les traces mnésiques générées sont alors plus solides et durables conduisant à de meilleures performances. Plusieurs méthodes, majoritairement « explicites », permettent aux sujets d'élaborer le matériel comme, par exemple, les tâches de génération.

2.2.3 L'interaction « Profondeur de traitement × Élaboration »

Dans leur article rétrospectif sur l'approche des niveaux de traitement, Lockhart et Craik (1990, p. 100) ont posé la question suivante : « *L'effet d'élaboration est-il plus grand lors d'un traitement profond ?* ». D'après les auteurs, cette question ne possède pas de réponse car les processus mis en jeu ne sont pas de même nature et ne peuvent donc pas être comparés. Selon leurs termes :

« Répondre à cette question serait comme demander si une augmentation de la brillance d'un diamant à un effet plus important sur son prix que l'augmen-

⁸Bien qu'ici le matériel ne soit pas généré *stricto sensu* par les sujets, la méthode d'inversion de lettre est fréquemment classée dans les tâches de génération (*e.g.*, Nairne et Widner, 1987).

tation de sa taille. La réponse correcte serait alors que les deux facteurs influencent le prix, mais qu'il est impossible de les comparer directement. » (Lockhart et Craik, 1990, p. 100)

Bien qu'effectivement les deux types de processus ne semblent pas être directement comparables, il existe cependant de nombreux exemples dans la littérature d'une interaction entre PDT et élaboration (*e.g.*, Sauz on *et al.*, 2000; Slamecka et Graf, 1978; Stein et Bransford, 1979). Précisément, la majorité de ces travaux indiquent que les méthodes d'élaboration sont d'autant plus efficaces lorsqu'un traitement profond est induit à l'encodage. Les performances de mémoire sont alors largement majorées par rapport à un traitement profond ou une élaboration facilitées seuls.

Par exemple, Slamecka et Graf (1978) ont étudié les conséquences d'une tâche de génération en fonction du type de consigne donnée aux sujets, lors de l'encodage. Dans la condition élaborée, le premier mot des paires   mémoriser était fourni ainsi que la première lettre de la réponse attendue (*e.g.*, MER - O). Dans la condition non-élaborée, les deux mots étaient présents (*e.g.*, MER - OCEAN). Cinq consignes différentes ont été utilisées par les expérimentateurs : (1) règle d'association (*e.g.*, LAMPE - LUMIERE) ; (2) règle catégorielle (*e.g.*, RUBIS - DIAMANT) ; (3) règle des contraires (*e.g.*, LONG - COURT) ; (4) règle des synonymes (*e.g.*, MER - OCEAN) ; et (5) règle des rimes (*e.g.*, SAUVEUR - CAMPEUR). Lors d'un test de reconnaissance des mots cibles (*i.e.*, les deuxièmes mots des paires), les résultats ont tout d'abord indiqué un effet de génération classique, c'est-à-dire une supériorité des mots générés par rapport aux mots lus. En outre, la plus grande différence en restitution, entre la condition élaborée et non-élaborée, a été obtenue en utilisant la règle catégorielle ⁹. Au contraire, la plus petite différence en restitution a été obtenue en utilisant la règle des rimes ¹⁰. En d'autres termes, les performances ont été fortement majorées lorsque la génération des items à mémoriser dépendait d'une tâche catégorielle, mais peu augmentées lors d'une tâche phonétique. Ainsi, les résultats ont indiqué une interaction claire démontrant que l'effet d'élaboration était potentialisé par un traitement profond, sémantique, des informations.

Des résultats similaires ont été rapportés par Stein et Bransford (1979), suggérant même que les processus d'élaboration ne sont réellement efficaces *que* lorsqu'un traitement

⁹La règle catégorielle peut être considérée comme la tâche de génération sémantique par excellence.

¹⁰Dans cette expérience, seule la règle des rimes autorisait une réponse correcte des sujets sans qu'ils aient pour autant accédé à la signification des mots.

profond y est associé. Précisément, les auteurs ont proposé qu'une information élaborée ne faciliterait la rétention que si elle aide à clarifier et à préciser la signification des informations.

En conclusion : L'approche des niveaux de traitement s'est fondée sur deux concepts clefs que sont la PDT et l'élaboration. La PDT réfère à des domaines qualitatifs de traitement des informations, les traitements sémantiques induisant de meilleures performances de mémoire que des traitements plus superficiels (*e.g.*, orthographiques ou phonétiques). L'élaboration renvoie quant à elle à un ensemble de processus cognitifs permettant d'enrichir l'encodage des informations dans chaque domaine de traitement. Les processus élaboratifs faciliteraient l'intégration en mémoire des informations par rapport à l'expérience et aux connaissances des sujets, induisant des traces mnésiques plus solides et durables et, donc, de meilleures performances. De plus, de nombreuses arguments expérimentaux tendent à démontrer que les processus cognitifs impliqués dans la PDT et l'élaboration peuvent interagir. Précisément, un traitement profond potentialise les effets d'élaboration. Il peut être alors envisagé que la notion déterminante d'un bon encodage et d'une bonne rétention soit celle de l'*intégration sémantique* des nouvelles informations en mémoire. Effet, plus le sens des informations est accessible au sujet, plus il est capable de relier ces informations à ses connaissances et meilleures seront les performances. L'intégration sémantique dépendra alors de la quantité de sens véhiculée par le matériel ou par la tâche, ainsi que des traitements mis en jeu à l'encodage.

2.3 Adéquation *Encodage/Récupération*

Comme nous venons de le voir dans la section précédente, l'approche des niveaux de traitement concerne essentiellement la description des processus mis en jeu lors de l'encodage des informations. De fait, Craik et Lockhart ont été critiqués pour avoir négligé les processus de récupération. En effet, les performances mnésiques dépendent des trois étapes de la mémorisation (*i.e.*, encodage, stockage et récupération) et, par conséquent, une vision intégrée de la mémoire se doit de considérer ces différentes étapes.

Pour répondre aux critiques, les auteurs ont publié plusieurs études traitant de la relation entre la PDT et les processus de récupération (*e.g.*, Fisher et Craik, 1977; Lockhart *et al.*, 1976; Moscovitch et Craik, 1976). Par exemple, Moscovitch et Craik (1976) ont

rapporté une série d'expériences indiquant l'importance d'un lien unique entre les indices fournis à la récupération et les informations mémorisées lors de la phase d'apprentissage. Selon ces auteurs, les processus d'encodage (*i.e.*, PDT et élaboration) détermineraient le potentiel de récupération des informations, et la spécificité du lien entre l'indice et la trace déterminerait le degré avec lequel ce potentiel s'exprime. Cette dernière considération est alors en parfait accord avec le principe de *spécificité d'encodage* (Tulving et Thomson, 1973) et le concept de *transfert approprié* (Morris *et al.*, 1977).

Dans cette section, nous allons présenter ces deux concepts complémentaires de l'approche des niveaux de traitement.

2.3.1 La spécificité d'encodage

Le principe de *spécificité d'encodage* a été énoncé par Tulving et Thomson (1973). Selon ces auteurs :

« *Ce qui est stocké en mémoire est déterminé par ce qui est perçu et la façon dont les informations sont encodées, et ce qui est stocké détermine quels seront les indices efficaces pour récupérer ce qui a été stocké.* » (Tulving et Thomson, 1973, p. 353)

En d'autres termes, les auteurs ont proposé une double relation, d'une part, entre les étapes d'encodage et de stockage et, d'autre part, entre les étapes de stockage et de récupération. Ils ont ainsi suggéré une relation indirecte entre encodage et récupération par l'intermédiaire de l'étape de stockage. Le stockage est alors envisagé comme une étape charnière dont vont dépendre en grande partie les performances mnésiques.

Tulving et Thomson (1973) ont mené trois expériences afin de démontrer que les performances de mémoire pouvaient varier grandement en fonction des indices fournis lors de la récupération. Dans ces expériences, les sujets devaient étudier une liste de mots cibles (*e.g.*, CHAISE), chacun de ces mots ayant été présentés en association avec un mot indice spécifique (*e.g.*, CHAISE - COLLE). Après cette phase d'apprentissage, des mots fortement associés aux mots cibles étaient présentés aux sujets (*e.g.*, « TABLE » pour le mot cible « CHAISE »). Pour chacun de ces mots, les sujets devaient produire le plus possible de mots associés (*i.e.*, tâche d'association). Les expérimentateurs mesuraient alors le nombre de mots cibles, contenus dans la liste d'apprentissage, qui avaient été spontanément générés par les sujets. Il était ensuite explicitement demandé aux sujets

de repérer, parmi les mots qu'ils avaient générés, ceux qui étaient présents dans la liste d'apprentissage (*i.e.*, tâche de reconnaissance). Enfin, une tâche de rappel indicé des mots cibles était proposée aux sujets, en fournissant à nouveau les mots indices de la liste d'apprentissage .

Les résultats ont indiqué que : (1) 63% de rappel correct était obtenu, sur les mots cibles (*e.g.*, CHAISE), lorsque les mots indices de la liste d'apprentissage (*e.g.*, COLLE) étaient à nouveau présentés ; (2) lors de la tâche d'association, les sujets restituaient spontanément entre 15 et 30% des mots cibles, lorsque des mots fortement liés leur étaient présentés (*e.g.*, TABLE) ; (3) seulement 24% des mots cibles étaient identifiés comme tels dans la tâche de reconnaissance.

Ces résultats ont démontré deux choses importantes. Premièrement, même un indice ayant un fort potentiel de rappel par rapport à un mot cible (*e.g.*, « TABLE » pour le mot cible « CHAISE ») peut induire de moins bonnes performances en récupération qu'un indice de rappel beaucoup plus faible mais ayant été associé à la cible lors de l'apprentissage (*e.g.*, « COLLE » pour le mot cible « CHAISE »). En d'autres termes, ce n'est pas l'association « absolue » d'un indice par rapport à une cible qui va déterminer la puissance de rappel de cet indice. En revanche, c'est bien la réinstallation, ou non, du contexte d'encodage de la cible qui va déterminer la probabilité de récupération. Deuxièmement, il existe des conditions expérimentales dans lesquelles la reconnaissance des mots cibles est plus faible que leur rappel (*e.g.*, Bahrick et Bahrick, 1964). Ainsi, même si toutes les caractéristiques de la cible sont réinstallées (par la présentation de la cible elle-même), la récupération peut être faible s'il n'y a pas d'adéquation entre les phases d'encodage et de récupération.

Ces deux résultats sont expliqués par Tulving et Thomson (1973) *via* le principe de spécificité d'encodage. Lors de l'encodage des informations, les caractéristiques des items cibles vont être associées en mémoire aux caractéristiques contextuelles¹¹ de la situation d'apprentissage. Les traces mnésiques correspondantes seront ainsi constituées par association des caractéristiques cibles et contextuelles. Les informations cibles seront donc stockées en mémoire avec leur contexte d'apparition, formant un épisode mnésique. Pour que la récupération soit efficace, c'est-à-dire pour que les trace mnésiques soient réacti-

¹¹Les caractéristiques contextuelles peuvent être soit « exogènes » (*i.e.*, celles présentes dans l'environnement lors de l'apprentissage), soit « endogènes » (*i.e.*, celles spontanément générées mentalement par les sujets lors de l'apprentissage).

vées, il faudra alors que les indices fournis recourent les traces. Les meilleurs indices de rappel seront ainsi ceux qui étaient présents lors de l'encodage car ce sont eux qui ont été intégrés dans les traces. En conséquence, le succès de la récupération dépendra essentiellement de la façon dont les conditions de restitution réinstalleront les caractéristiques de la condition d'encodage.

2.3.2 Le transfert approprié

Le concept de *transfert approprié* a été formulé par Morris *et al.* (1977). Ce concept reprend l'idée de Tulving et Thomson (1973) selon laquelle les performances de mémoire vont dépendre de l'adéquation entre les conditions d'encodage et de récupération. Cependant, alors que le principe de spécificité d'encodage focalise surtout sur les caractéristiques contextuelles et, précisément, sur l'importance de réinstaller le contexte d'encodage lors de la restitution, le concept de transfert approprié insiste davantage sur les processus cognitifs, en général, et propose une adéquation nécessaire entre les traitements mis en jeu à l'encodage et à la récupération.

Initialement, Morris *et al.* (1977) ont voulu critiquer l'approche des niveaux de traitement en démontrant que ce n'est pas la PDT qui détermine de façon absolue les performances de mémoire. Pour ce faire, les auteurs ont proposé trois expériences au cours desquelles les conditions d'encodage et de restitution ont été manipulées. Précisément, lors de l'encodage, des tâches d'orientation de traitement ont été proposées aux sujets. Des phrases comme « La _____ a quatre portières », suivie 2 secondes plus tard du mot cible « VOITURE », visaient un traitement profond, alors que des phrases comme « _____ rime avec légal », suivie 2 secondes plus tard du mot cible « REGAL », visaient un traitement superficiel. Les sujets devaient alors répondre par « OUI » ou par « NON » si les mots cibles s'intégraient de façon appropriée dans la phrase qui les précédait. Lors de la phase de récupération, les sujets étaient confrontés soit à une tâche de reconnaissance classique des cibles, soit à une tâche de « reconnaissance phonétique » impliquant des mots qui rimaient avec les cibles.

Les résultats ont indiqué : (1) que lorsque le test de récupération était une tâche simple de reconnaissance l'effet de PDT était retrouvé, c'est-à-dire qu'un traitement orienté sémantiquement à l'encodage produisait de meilleures performances qu'un traitement orienté phonétiquement ; et (2) que lorsque la récupération impliquait un traitement

phonétique l'effet classique de PDT s'inversait, c'est-à-dire qu'un traitement orienté phonétiquement à l'encodage produisait de meilleures performances qu'un traitement orienté sémantiquement.

Ces résultats ont ainsi suggéré que les traitements sémantiques n'ont pas une supériorité absolue sur des traitements dits plus « superficiels » puisque, dans certaines conditions expérimentales, il est possible d'inverser l'effet de PDT (voir aussi Fisher et Craik, 1977, Expérience 2). Morris *et al.* (1977) ont alors proposé que l'élément déterminant dans les performances de mémoire est la *concordance des traitements* entre les phases d'encodage et de récupération. En d'autres termes, les performances de mémoire seront meilleures si les processus cognitifs mis en jeu à la récupération sont de même nature que ceux mis en jeu à l'encodage.

En conclusion : Les concepts de spécificité d'encodage et de transfert approprié mettent tous deux l'accent sur l'importance d'une *adéquation* entre les conditions d'encodage et de récupération des informations. Pour Tulving et Thomson (1973), cette adéquation va essentiellement dépendre de la quantité d'informations contextuelles, présentes à l'encodage, qui va être réinstallée lors de la récupération. Pour Morris *et al.* (1977), l'adéquation Encodage/Récupération concerne plutôt la concordance des traitements mis en jeu lors de ces deux étapes. Selon Nicolas (2000, p. 201), l'approche fonctionnaliste de Roediger et ses collègues (*e.g.*, Blaxton, 1989; Roediger et Blaxton, 1987) propose une théorie de concordance qui permet de rendre compte d'un grand nombre de résultats expérimentaux. Cette approche intègre à la fois la conception procédurale de Kolers (*e.g.*, Kolers et Roediger, 1984), l'idée de transfert approprié de Morris *et al.* (1977) et la distinction entre traitements conduits par les données ou par les concepts, avancée par Jacoby (1983) (voir § 2.1.2, p. 47).

2.4 Un cadre général de la mémoire

Comme évoqué précédemment, dans sa première formulation, l'approche des niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972) se focalisait uniquement sur les processus cognitifs mis en jeu à l'encodage, sans tenir compte des processus de récupération. Cette restriction a été fortement critiquée et des auteurs comme Morris *et al.* (1977) ont proposé d'orienter plutôt les recherches vers les interactions entre les opérations d'encodage et de

récupération. Ainsi, le concept de transfert approprié, intégrant le principe de spécificité d'encodage, a été proposé pour remplacer les niveaux de traitement.

Bien que le concept de transfert approprié soit donc initialement une approche proposée en alternative à celle des niveaux de traitement, Craik (2002, p. 309) a suggéré que loin d'être antagonistes ces deux conceptions semblent complémentaires. En effet, de nombreuses études ont démontré des interactions entre PDT et élaboration, d'une part, et spécificité d'encodage ou transfert approprié, d'autre part. Ces études tendent alors à indiquer que les performances de mémoire dépendent tout autant des processus cognitifs initiés à l'encodage (*i.e.*, PDT et élaboration) que de la concordance des traitements entre les phases d'apprentissage et de test. Un cadre général du fonctionnement de la mémoire se doit donc d'intégrer tous ces éléments.

2.4.1 Profondeur de traitement et récupération

Fisher et Craik (1977) ont effectué une série d'expériences afin d'étudier les interactions entre les opérations d'encodage et de récupération. Lors de la phase d'apprentissage, les auteurs ont manipulé la PDT en utilisant des listes d'orientation de traitement. Précisément, les sujets étaient confrontés soit à des listes de paires de mots phonétiques (*e.g.*, CHAPEAU - BATEAU), soit à des listes de paires de mots sémantiques (*e.g.*, CHIEN - CHAT). En outre, lors de la phase de test, les auteurs ont également manipulé le contexte de restitution des items. Pour chaque mot cible, deux types d'indices ont été utilisés en correspondance avec les deux types d'apprentissage (*i.e.*, indices de type phonétique ou sémantique). Ainsi, les mots cibles pouvaient être mémorisés dans deux situations différentes et, pour chacune d'elles, les mots pouvaient être récupérés également dans deux situations différentes.

Les résultats ont indiqués, premièrement, que les listes sémantiques induisaient de meilleures performances de rappel que les listes phonétiques et, deuxièmement, que le rappel était augmenté lorsque les indices étaient de même nature que les listes d'apprentissage. En conséquence, ces résultats ont reproduit respectivement les effets de PDT et de transfert approprié. En outre, les résultats ont également indiqué que l'effet de transfert approprié était largement majoré lorsqu'un traitement sémantique avait été induit à l'encodage et à la restitution. En d'autres termes, l'effet de transfert approprié a été potentialisé par un traitement profond des informations.

Ces résultats tendent ainsi à démontrer que les notions de PDT et de transfert approprié sont toutes deux nécessaires. En effet, les résultats indiquent que, certes, une concordance des traitements entre encodage et récupération facilite la restitution des items, quelle que soit la PDT initiée, mais ils indiquent aussi que même lorsqu'il y a concordance des traitement, le domaine sémantique reste toujours supérieur au domaine phonétique. Les performances de mémoire dépendent donc du domaine de traitement favorisé à l'encodage et de la concordance entre test et apprentissage. Les meilleures performances sont alors obtenues lors d'un encodage et d'une restitution orientés sémantiquement.

2.4.2 Élaboration et récupération

Mäntylä et Nilsson (1983) ont également étudié les interactions entre encodage et récupération. Précisément, ces auteurs ont analysé les conséquences sur les performances de mémoire d'une tâche de génération d'indices en fonction des conditions de restitution.

Leurs expériences faisaient appel à quatre groupes de sujets. Lors de l'encodage, (1) le premier groupe devait générer trois mots indices pour chaque mot cible présenté et ces indices étaient fournis lors du test ; (2) le groupe 2 avait les mêmes conditions d'encodage que le groupe 1 et des indices proches, mais différents, de ceux générés étaient proposés lors de la phase de test ; (3) le groupe 3 passait les mêmes conditions d'encodage que les deux groupes précédents, mais aucun indice n'était présenté lors de la restitution (*i.e.*, tâche de rappel libre) ; enfin (4) le groupe 4 n'avait ni consigne de génération à l'encodage (*i.e.*, lecture des mots), ni indice de récupération lors du test.

Premièrement, les résultats ont indiqué de façon surprenante qu'aucune différence significative n'était obtenue entre les performances du groupe 3 et du groupe 4. En d'autres termes, l'effet d'élaboration n'a pas été observé lorsque le test de restitution était une tâche de rappel libre. En revanche, les résultats ont démontré une augmentation de performance significative et croissante entre les groupes 3, 2 et 1. Ainsi, les performances des groupes ayant profité d'indices lors de la restitution étaient meilleures que celles du groupe n'ayant eu aucune aide. Par ailleurs, les performances étaient encore meilleures lorsque les indices restitués étaient ceux générés lors de l'encodage. L'effet de spécificité d'encodage a ainsi été retrouvé. Enfin, les performances ont été majorées chez le groupe 1 par rapport au groupe 2. Bien que l'effet d'élaboration n'ait pas été retrouvé en rappel libre, cet effet était pourtant fortement présent en rappel indicé et ceci d'autant plus que les indices générés

étaient restitués lors du test. En conséquence, l'effet d'élaboration a été potentialisé par la restitution du contexte d'encodage.

Ici encore, les résultats tendent à démontrer que les notions d'élaboration et de spécificité d'encodage (ou transfert approprié) sont toutes deux nécessaires. En effet, Les performances de mémoire semblent dépendre non seulement de l'élaboration des informations à l'encodage mais aussi de l'adéquation entre les phases de test et d'apprentissage. Les meilleures performances sont alors obtenues lors d'un encodage élaboré et d'une adéquation Encodage/Récupération.

2.4.3 La triple interaction

Comme nous venons de le voir, les processus impliqués dans la spécificité d'encodage ou le transfert approprié interagissent avec les processus de PDT et d'élaboration, en augmentant leurs effets respectifs. Par ailleurs, tous ces processus peuvent interagir simultanément.

Par exemple, Sauzéron *et al.* (2000) ont étudié les relations entre PDT, élaboration et spécificité d'encodage dans le cadre du vieillissement. Les auteurs ont manipulé la PDT avec des listes d'orientation de traitement et une tâche d'orientation. L'élaboration a été manipulée, quant à elle, *via* la méthode de génération d'indices. Dans la condition non-élaborée (*i.e.*, indices imposés), les sujets étaient confrontés à l'apprentissage de listes de paires de mots sémantiques ou phonétiques (induisant respectivement un traitement profond ou superficiel), qu'ils devaient simplement lire. Dans la condition élaborée, les sujets devaient en revanche produire un mot indice en rapport avec chaque mot cible présenté en fonction d'une règle de génération (*i.e.*, soit, dans la condition d'encodage profond, « Donnez un mot sémantiquement lié à chaque mot présenté », soit, dans la condition d'encodage superficiel, « Donnez un mot qui rime avec chaque mot présenté »). Lors de la phase de récupération, la spécificité d'encodage a été manipulée en proposant aux sujets soit un test de rappel libre, soit un test de rappel indicé, permettant d'évaluer l'effet de la restitution des indices contextuels.

Concernant les performances de mémoire, les résultats ont tout d'abord indiqué une supériorité des listes sémantiques sur les listes phonétiques et des listes élaborées sur les listes non-élaborées. En outre, la restitution des mots cibles était toujours meilleure en rappel indicé qu'en rappel libre. En d'autres termes, les trois effets respectifs de la

PDT, de l'élaboration et de la spécificité d'encodage ont été retrouvés. Par ailleurs, l'analyse statistique a non seulement révélé des interactions à deux facteurs significatives (*i.e.*, $PDT \times Spécificité\ encodage$ et $Elaboration \times Spécificité\ encodage$), mais aussi la triple interaction (*i.e.*, $PDT \times Elaboration \times Spécificité\ encodage$). Ces interactions indiquaient respectivement que les effets de PDT et d'élaboration, ainsi que leur interaction, étaient augmentés lors du rappel indicé par rapport au rappel libre. Ainsi, les meilleures performances de mémoire ont été obtenues en favorisant un traitement sémantique et élaboré des items, à l'encodage, et en restituant le contexte d'apprentissage des informations.

En conclusion : les notions de PDT, d'élaboration et de spécificité d'encodage (ou de transfert approprié) semblent toutes fondamentales pour l'obtention de bonnes performances mnésiques. En outre, leur implication simultanée permet de créer des interactions qui potentialisent les effets respectifs des processus cognitifs mis en jeu, offrant ainsi un soutien cognitif important. Nous allons maintenant aborder une conception théorique qui pourrait expliquer le lien entre ces différents concepts.

2.4.4 La distinctibilité des traces

L'idée générale avancée pour expliquer les relations entre les effets de PDT et d'élaboration, d'une part, et les effets de spécificité d'encodage ou de transfert approprié, d'autre part, est que les premiers favoriseraient les seconds. En d'autres termes, un traitement sémantique et/ou élaboré à l'encodage augmenterait la probabilité d'un transfert approprié des informations lors de leur récupération (*e.g.*, Lockhart, 2002; Moscovitch et Craik, 1976).

La notion de *distinctibilité* des traces en mémoire n'est pas récente dans la littérature et son influence sur les performances est bien connue (*e.g.*, Murdock, 1960). Cette notion expliquerait divers effets expérimentaux comme, par exemple, « l'effet de compétition ». Cet effet, appelé « *fan effect* » en Anglais (Anderson, 1974), réfère à une baisse des performances de mémoire lorsqu'une information cible est reliée à un grand nombre d'éléments lors de l'apprentissage. Généralement, il est ainsi constaté qu'une information pouvant être relativement isolée lors de l'encodage sera plus facilement récupérée lors des tests, car la spécificité contextuelle d'une information évitera la compétition entre les différents

indices qui pourraient lui être associés. De la même façon qu'une forme bien délimitée sera plus facilement identifiée dans une image, une trace distincte sera plus facilement récupérable en mémoire et ceci d'autant plus qu'elle contraste avec les autres traces (Jacoby et Craik, 1979).

Craik et ses collègues (*e.g.*, Craik, 1977; Jacoby et Craik, 1979; Moscovitch et Craik, 1976) ont proposé que les effets de PDT et d'élaboration sont liés à la notion de distinctibilité des traces. Précisément, un traitement profond et/ou élaboré permettrait de produire un encodage plus distinctif des informations à mémoriser par rapport à l'ensemble des connaissances déjà présentes en mémoire. Les traces formées étant plus distinctes des autres épisodes mnésiques, leur probabilité de rappel ou de reconnaissance serait augmentée lors de tests ultérieurs.

Selon Lockhart et Craik (1990), l'augmentation de distinctibilité des traces à la suite d'un traitement profond et/ou élaboré pourrait s'expliquer par une « décontextualisation » des informations. L'hypothèse avancée par les auteurs est qu'une intégration sémantique permettrait d'encoder préférentiellement les caractéristiques propres à l'événement, en limitant l'encodage de caractéristiques communes à plusieurs épisodes mnésiques (Fisher et Craik, 1977, p. 711). Ainsi, la PDT et l'élaboration réduiraient, d'une part, la probabilité de compétition entre des indices généraux de récupération et, d'autre part, augmenterait la puissance des caractéristiques contextuelles propres, qui ont été intégrées dans les traces, en tant qu'indices de récupération. De fait, une trace distincte serait à la fois récupérable dans des contextes différents, c'est-à-dire accessible par une plus grande variété d'indices de récupération (Lockhart, 2002; Schacter, 1996), mais aussi d'autant plus récupérable par des indices qui lui sont propres. Ces deux caractéristiques peuvent sembler *a priori* contradictoires mais, selon Lockhart et Craik, elles sont en fait complémentaires. Ces auteurs proposent par ailleurs de capturer ces deux aspects des effets de PDT et d'élaboration sous le terme d'*encodage robuste* (Lockhart, 2002; Lockhart et Craik, 1990).

En conséquence, une trace distincte étant relativement « décontextualisée », et donc moins dépendante du contexte général de récupération, l'intégration sémantique des informations augmenterait bien la probabilité d'une bonne adéquation entre les phases d'encodage et de récupération. Parallèlement, une trace distincte renforcerait les caractéristiques contextuelles qui lui sont propres, ce qui potentialiserait les effets de spécificité d'encodage lorsque ces caractéristiques sont restituées lors des tests.

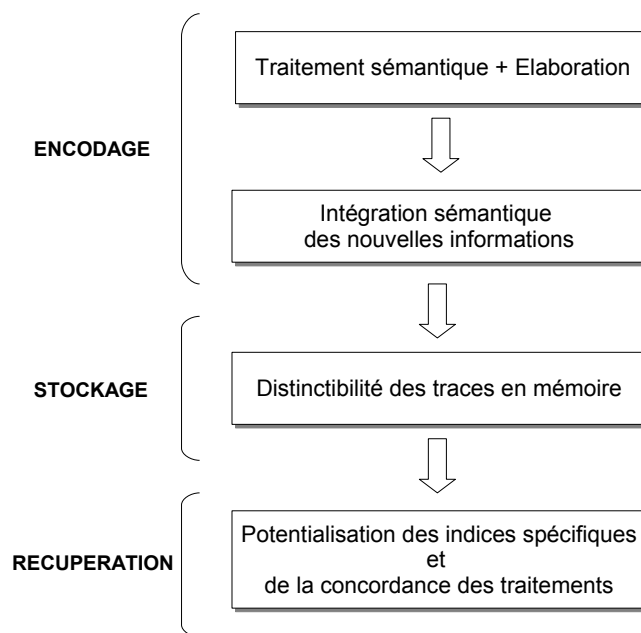


FIG. 2.7 – Illustration d'un cadre fonctionnel de la mémoire intégrant l'approche des niveaux de traitements et les concepts de spécificité d'encodage et de transfert approprié.

En conclusion : Dans une perspective d'analyse des relations entre encodage et récupération, la notion de distinctibilité des traces en mémoire semble pertinente pour expliquer les interactions entre l'approche des niveaux de traitement (*i.e.*, PDT et élaboration) et les approches de concordance des traitements (*i.e.*, spécificité d'encodage et transfert approprié). Cette notion de distinctibilité réfère à un encodage préférentiel des caractéristiques propres aux informations à mémoriser, en limitant l'encodage de caractéristiques potentiellement communes à d'autres épisodes mnésiques. Les traces peuvent être de fait plus facilement discriminées en mémoire. La Figure 2.7 illustre ce que nous appellerons dans la suite de cette thèse le « *cadre des niveaux de traitements* ». Cette conception représente un modèle général du fonctionnement de la mémoire et intègre l'approche des niveaux de traitement et ses concepts complémentaires (*i.e.*, spécificité d'encodage et transfert approprié).

Après avoir abordé les thèmes de la compensation et de la mémoire, le chapitre suivant traitera de la modélisation des phénomènes mnésiques.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ L'approche des niveaux de traitement est une approche fonctionnaliste de la mémoire humaine, postulant que la mémorisation est une conséquence des traitements effectués par le système cognitif.
- ❑ Cette approche est fondée sur deux concepts clefs que sont la *profondeur de traitement* et *l'élaboration* qui réfèrent, respectivement, à des domaines qualitatifs de traitement (les traitements sémantiques induisent généralement les meilleures performances) et à un enrichissement de l'information au sein de chaque domaine de traitement.
- ❑ Selon cette approche, les performances de mémoire dépendent de *l'intégration sémantique* des items à mémoriser. Plus le sens de l'information est accessible au sujet, plus il est capable de relier cette information à ses connaissances et meilleure sera la mémorisation.
- ❑ Les concepts de *spécificité d'encodage* et de *transfert approprié* sont des concepts complémentaires de l'approche des niveaux de traitement. Ces concepts mettent l'accent sur une nécessité de concordance des traitements entre les phases d'apprentissage et de test. Ainsi, les performances de mémoire dépendent de *l'adéquation* entre encodage et récupération.
- ❑ De nombreuses interactions existent entre ces différents concepts permettant une potentialisation des processus cognitifs mis en jeu et offrant alors un soutien cognitif important.
- ❑ La notion de *distinctibilité* des traces semble une des hypothèses les plus pertinentes pour expliquer les liens entre les concepts décrits dans l'approche des niveaux de traitement et les approches de concordance des traitements.

LES RÉFÉRENCES CLEFS

- ❑ Craik, F.I.M et Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing : A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- ❑ Lockhart, R.S. et Craik, F.I.M. (1990). Levels of processing : A retrospective commentary on a framework for memory research. *Canadian Journal of Psychology*, 44, 87-112.
- ❑ Numéro spécial du journal *Memory*, Vol. 10, 2002.

MODÉLISER LA MÉMOIRE

Sommaire

- ❶ La notion de *modèle* (p. **76**)
 - ❷ Cognitivismes et connexionnisme (p. **81**)
 - ❸ Les modèles d'appariement global (p. **93**)
 - ❹ MINERVA 2 (p. **100**)
-

La modélisation en psychologie n'est pas un phénomène récent mais date de la fin du XIX^e siècle. En effet, certains auteurs pionniers, comme Hermann Ebbinghaus (1885) ou Gustav Theodor Fechner (1860), ont initié les approches modernes de la psychologie expérimentale et de la psychophysique et ont établi les premiers modèles, ou lois, du fonctionnement cognitif.

Par exemple, la « loi de l'oubli » a été mise en évidence expérimentalement par Ebbinghaus (1885). Selon cette loi, la rétention des informations en mémoire est une fonction décroissante, négativement accélérée, de l'intervalle de rétention. En d'autres termes, l'oubli des informations mémorisées est majeur lors des premiers jours (voire des premières heures) suivant la phase de mémorisation, puis tend à se stabiliser.

Depuis ces premiers travaux, les tentatives de modélisation des phénomènes cognitifs n'ont eu de cesse de se développer. De fait, le succès des modèles a entraîné une augmentation considérable de leur nombre, de leurs rôles et de leurs propriétés. L'accroissement de l'intérêt des modèles pour la recherche, notamment en psychologie, est par ailleurs largement imputable aux possibilités de simulation apparues avec le développement de l'informatique. De nos jours, le terme « modèle » désigne ainsi des entités aussi variées qu'une organisation théorique ou un système formel susceptible d'être simulé.

L'objectif de ce chapitre est d'aborder la modélisation de la mémoire humaine. Premièrement, nous définirons la notion générale de *modèle* en exposant, particulièrement, les différentes classifications existantes et les caractéristiques communes à toutes les classes de modèles. Nous présenterons ensuite les modèles issus des deux courants principaux des sciences cognitives, que sont les approches *cognitiviste* et *connexionniste* (*e.g.*, Varela, 1997). Nous focaliserons enfin notre présentation sur la famille des modèles de mémoire à *appariement global*, encore appelés *néo-connexionnistes* (*e.g.*, Tiberghien, 1997). Nous

nous attarderons alors spécifiquement sur le modèle MINERVA 2 (Hintzman, 1984), que nous avons utilisé lors de nos investigations.

3.1 La notion de *modèle*

Comme évoqué précédemment, le terme « modèle » peut désigner en psychologie des entités très différentes. Il convient alors de proposer des classifications claires des différents modèles existants. Par ailleurs, les caractéristiques propres à chaque classe de modèles leur confèrent un intérêt spécifique dans la recherche. Malgré la variété des modèles, il est possible de dégager des propriétés communes.

3.1.1 Classification des modèles

En psychologie cognitive, la notion de *modèle* peut être utilisée dans quatre acceptions différentes, désignant les entités suivantes (Rossi et coll., 1999) :

- une forme « idéale » ou « standard » ;
- une représentation théorique (*i.e.*, schéma ou architecture) ;
- une description utilisant un langage formel ;
- un système concret de simulation.

FORME « IDÉALE » OU « STANDARD »

Cette acception est la plus proche du sens commun. Ici, le modèle est décrit comme une *référence*, généralement normative, qui peut être transposée à diverses situations (Rossi et coll., 1999). Par exemple, l'effet de l'apprentissage sur les neurones de l'*Aplysia Californica*¹ (Richelle, 1991) peut être utilisé comme modèle des transformations neuronales, déclenchées par un apprentissage. Le système nerveux de cet animal est en effet très simple et il s'est avéré un support idéal pour étudier les modifications de l'organisation neuronale. Ce modèle peut ici servir de référence dans la mesure où il est représentatif du phénomène d'apprentissage.

L'intérêt de ce type de modèle est précisément qu'il représente un phénomène applicable à un ensemble de situations. Ainsi, le modèle sert de cadre à l'analyse des résultats

¹L'*Aplysia Californica* est une petite limace de mer.

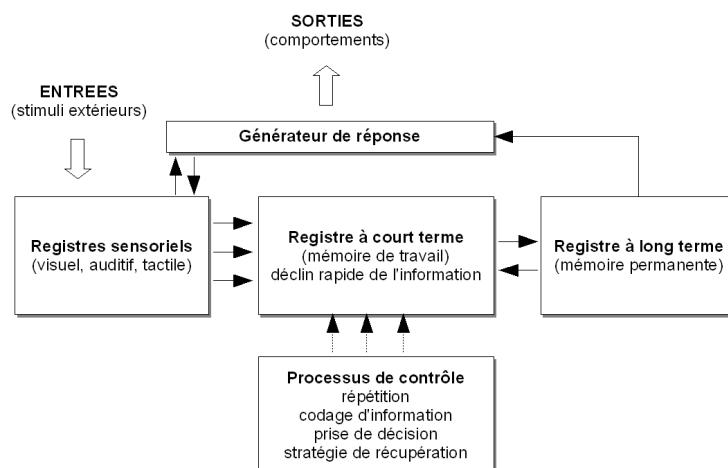


FIG. 3.1 – Une représentation du modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968).

expérimentaux et permet de découvrir les variations par rapport à la « norme » qu'il représente ou les situations dans lesquelles il ne s'applique pas.

REPRÉSENTATION THÉORIQUE : SCHÉMAS ET ARCHITECTURES

Le modèle « schéma » décrit l'*architecture* du système représenté. Il comporte généralement un certain nombre de *modules* reliés par des flèches qui indiquent le sens de circulation des informations (Rossi et coll., 1999). Chaque module, ou sous-système, reçoit des informations, les traite, les transforme éventuellement et fournit finalement une réponse de sortie, qui elle-même peut servir d'entrée à un autre module.

Dans les années 1960, ce type de modèle a joué un rôle de premier plan dans la recherche en psychologie et, notamment, dans le domaine de la mémoire. Les modèles de mémoire structuraux (*e.g.*, Squire, 1992; Tulving, 1995), présentés au chapitre précédent (voir § 2.1.1, p. 42), en sont de bons exemples. Pour illustration, le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968) décrit la mémoire humaine à l'aide de trois systèmes mnésiques (voir Figure 3.1). Les informations entrent dans le système *via* le registre d'informations sensorielles puis transitent vers la mémoire à long terme, en passant par la mémoire à court terme. Ce modèle décrit la mémoire à court terme comme la « plaque tournante » du système mnésique, puisqu'elle est impliquée dans des échanges permanents avec les deux autres registres. En outre, les processus de contrôle de l'information et la boucle d'autorépétition mentale (déterminante dans le passage des informations du court terme au long terme dans ce modèle) s'applique à ce niveau.

Selon certains auteurs, l'intérêt de ce type de modèle reste limité car leur manque de précision et la généralité de leurs descriptions rendent difficile toute prédiction précise (Tiberghien, 1991). Les modèles « schéma » possède tout de même la capacité de décrire l'architecture et l'organisation des systèmes étudiés, ainsi que les relations entre les différents modules impliqués. En ce sens, l'intérêt majeur de ce type de modèle réside dans leurs capacités de représentation des objets d'étude, les rendant plus facilement manipulables intellectuellement.

DESCRIPTION FORMELLE

Les modèles formels sont généralement basés sur le *langage mathématique* et décrivent des phénomènes, des processus ou des relations à l'aide d'*équations* ou d'*algorithmes* (Rossi et coll., 1999). Par ailleurs, le formalisme mathématique offre à ces modèles la propriété de pouvoir être simulés. Par exemple, la loi de Fechner (1860)² permet de décrire l'intensité de la sensation en fonction de la stimulation. Précisément, l'équation de Fechner est la suivante : $y = K \log(x) + h$. Selon cette loi, l'intensité de la sensation (y) est une fonction logarithmique de l'intensité de la stimulation (x) modulée par deux constantes (K et h).

Les propriétés essentielles des modèles formels sont d'être non ambigus et de permettre l'élaboration d'expressions applicables à différents contenus. Généralement, l'établissement d'un modèle formel présente alors deux intérêts majeurs : (1) permettre des prédictions ; (2) donner un cadre d'analyse pour l'étude des structures et/ou des fonctionnements.

SYSTÈME DE SIMULATION

D'après Rossi et coll. (1999, p. 281) :

« *Simuler consiste à reproduire au moyen de systèmes physiques (généralement informatiques) les descriptions développées dans un modèle théorique. En ce sens, simuler revient à construire un système permettant d'opérationnaliser un modèle théorique.* »

Dans la littérature scientifique, notamment celle de l'intelligence artificielle, il est couramment admis que les processus cognitifs peuvent être réduits à des systèmes de traitement de l'information. La simulation consiste alors généralement à construire un pro-

²Cité, par exemple, par Wozniak (1999).

gramme informatique mimant les structures et les procédures de traitement décrites dans le modèle théorique. Le système de simulation permettra ainsi de reproduire le fonctionnement théorique de l'objet d'étude et de fournir une réponse (*i.e.*, *outputs*) en fonction des informations qui lui seront fournies (*i.e.*, *inputs*). En sciences cognitives, un exemple célèbre de système de simulation est celui du *Perceptron* (Minsky et Papert, 1969; Rosenblatt, 1958). Le Perceptron est en réalité le premier réseau de neurones artificiels qui avait pour objectif de mimer une rétine et, ainsi, de simuler la perception visuelle.

Le principal avantage de la simulation est qu'elle possède les propriétés des « maquettes », c'est-à-dire que chaque constituant peut non seulement être manipulé et modifié mais peut également être l'objet de calculs, de tests et de mesures. La simulation offre ainsi aux chercheurs un outil incomparable pour opérationnaliser les conceptions théoriques et les valider. Dans le domaine des sciences cognitives, où l'objet d'étude qu'est la cognition humaine n'est pas directement manipulable, l'intérêt de la simulation cognitive paraît alors évident. Selon Tiberghien (1993), on pourrait même différencier les sciences de la cognition de la psychologie cognitive ou des neurosciences par la volonté épistémologique non seulement de comprendre et d'expliquer les phénomènes cognitifs, mais aussi de les simuler.

3.1.2 Caractéristiques communes

Comme nous venons de le voir, le terme « modèle » peut recouvrir différentes définitions. Cependant, il est possible de dégager un certain nombre de caractéristiques communes à l'ensemble des modèles. Trois propriétés essentielles peuvent être proposées : (1) l'*aspect représentatif* ; (2) le *caractère manipulable* ; et (3) la *notion de généralité*.

Tout d'abord, quelle que soit sa classe, un modèle est une *description simplifiée* (schématique ou formelle) des propriétés ou qualité de l'objet qu'il représente. La notion de *représentation* établit la distance entre un modèle et son objet d'étude, indiquant que le modèle doit être considéré uniquement comme une simplification de la réalité qu'il est censé figurer. En outre, tous les modèles ont pour caractéristique d'être manipulables et testables. En effet, les propriétés du modèle peuvent être analysées, étudiées et modifiées. Le modèle pourra ainsi être l'objet de mesures et de calculs qui permettront d'évaluer les conceptions théoriques sous-jacentes. Enfin, le principe même d'un modèle est de constituer une généralisation d'un ensemble de phénomènes. Ainsi, le modèle est

une représentation applicable à une classe de situations et, donc, à des contenus différents. De cette propriété dérive les capacités d'un modèle à établir des prédictions et à produire des résultats qui pourront être comparés aux données empiriques, recueillies lors d'expérimentations ou d'observations.

3.1.3 Valider les modèles et les simulations

Avant de clore cette section sur la notion de *modèle*, il convient de parler brièvement de la *validation* des modèles et des simulations. Selon Rossi et coll. (1999), la validation réfère au processus qui permet d'établir qu'un mécanisme produit bien ce qu'il est censé produire ou qu'un instrument mesure bien ce qu'il est censé mesurer. En psychologie cognitive, les modèles décrivent les structures et/ou le fonctionnement du système cognitif. Valider un modèle cognitif consiste alors à déterminer s'il représente correctement les structures et les processus qu'il décrit, par rapport aux observables recueillis chez le sujet humain. Par ailleurs, dans la mesure où le cerveau est le support biologique de la cognition, valider un modèle cognitif pourrait également s'inscrire dans la validation de la plausibilité « biologique » du modèle proposé. Les réseaux de neurones artificiels ont précisément été développés dans cette perspective, bien que finalement le fonctionnement des neurones formels soient souvent très éloigné de celui des cellules nerveuses.

Concernant la validation des modèles et des simulations, deux types de validité peuvent être distingués : (1) la validité dite « interne », référant à la cohérence des éléments constituant le modèle ; et (2) la validité dite « externe », référant à la cohérence des prédictions et des résultats issus du modèle, par rapport aux données empiriques. Par exemple, la validité interne d'un modèle peut être évaluée en vérifiant, lorsque la description utilise un langage mathématique, que les règles de ce langage sont respectées. Dans le cas contraire, le modèle sera réfuté. En outre, la validité interne d'un modèle dépend également des connaissances issues de la littérature à propos de l'objet d'étude. Un modèle ne pourra être valide que s'il est en accord avec les faits établis. Enfin, la validité externe d'un modèle ou d'une simulation doit être démontrée, en confrontant les résultats obtenus aux données expérimentales. La puissance d'un modèle ou d'une simulation résidera alors dans sa capacité à fournir des prédictions non ambiguës, ou du moins les plus précises possibles, permettant de reproduire et d'expliquer les observables recueillis chez des sujets.

En conclusion : La notion de *modèle* peut recouvrir plusieurs définitions, allant de celle du sens commun (*i.e.*, une référence) à un système de simulation informatique. Par ailleurs, les différentes acceptions du terme ne sont pas incompatibles mais complémentaires. Par exemple, il est possible de représenter de façon schématique un modèle de simulation. En outre, il est possible de dégager un certain nombre de caractéristiques communes à l'ensemble des modèles. Précisément, un modèle est une description simplifiée de la réalité, un objet manipulable et testable, et une généralisation d'un ensemble de situations ou de phénomènes. Une fois un modèle établi, sa cohérence interne devra être analysée, ainsi que sa capacité à rendre compte des données expérimentales.

Comme le souligne Rossi et coll. (1999), si la construction de modèles du fonctionnement de l'esprit est le but de la psychologie (Johnson-Layrd, 1983), alors l'importance de la modélisation n'est plus à démontrer dans cette discipline. Dans la suite de ce chapitre, nous aborderons spécifiquement les modèles de simulation de la mémoire.

3.2 Cognitivism et Connexionnisme

Dans « *Invitation aux sciences cognitives* », Varela (1997) présente un tour d'horizon des conceptions théoriques adoptées dans les sciences et technologies de la cognition. Trois courants de pensée se dégagent : (1) le *cognitivism*, référant à une approche *symbolique* de la cognition ; (2) le *connexionnisme*, fondé sur l'approche des *réseaux de neurones artificiels* ; et (3) l'« *enaction* », s'inscrivant dans une *approche dynamique* de la cognition et centrée sur les *interactions* entre une entité cognitive (biologique ou artificielle) et son environnement. Dans son ouvrage, Varela propose d'aborder ces différents paradigmes, en fonction des réponses apportées aux questions suivantes :

- Qu'est-ce que la cognition ?
- Comment cela fonctionne-t-il ?
- Comment savoir si un système cognitif fonctionne de manière appropriée ?

Le Tableau 3.1 présente les réponses du cognitivism, du connexionnisme et de l'enaction à ces trois questions. Pour les cognitivistes, les représentations sont au centre du fonctionnement cognitif (*e.g.*, Fodor, 1983; Pylyshyn, 2001). La cognition pourrait alors être envisagée comme une *manipulation de représentations symboliques* à partir de règles. De fait, les cognitivistes affirment qu'une entité n'est cognitive que si elle possède la ca-

Questions	Réponses		
	<i>Cognitivism</i>	<i>Connexionnisme</i>	<i>Enaction</i>
« Qu'est-ce que la cognition ? »	Une manipulation de symboles à partir de règles	L'émergence d'états globaux dans un réseau de composants simples mais massivement interconnectés	Une action productive résultant des interactions entre l'entité et son environnement
« Comment cela fonctionne-t-il ? »	Par n'importe quel système pouvant représenter et manipuler des objets symboliques	Par des règles locales qui gèrent des opérations individuelles et des règles de changement qui gèrent les liens entre les éléments	Par un réseau d'éléments interconnectés capable de subir des changements structuraux au cours d'un historique non interrompu
« Comment savoir si un système cognitif fonctionne de manière appropriée ? »	Quand les symboles représentent de façon adéquate les aspects du monde réel et que le traitement de l'information aboutit à une solution efficace du problème soumis au système	Quand les propriétés émergentes (et leur structure résultante) sont identifiables à une solution adéquate pour une tâche donnée	Quand le système est capable de s'adapter de façon pertinente à son environnement

TAB. 3.1 – *Réponses apportées par les différents courants de pensée des sciences cognitives à trois questions majeures dans l'étude de la cognition (d'après Varela, 1997).*

pacité de se représenter le monde qui l'entoure. En outre, plus les représentations seront fidèles, plus le comportement devrait être « intelligent » ou cognitif. D'autre part, le cognitivisme envisage que les représentations doivent avoir une réalité physique, sous forme de codes symboliques. Par ailleurs, les représentations, *via* leurs codes symboliques, seraient manipulées de façon séquentielle par une unité centrale logique, exactement comme le fonctionnement d'un ordinateur. Ainsi, selon le cognitivisme, une entité cognitive est un système pouvant représenter et manipuler des éléments physiques discontinus (des symboles), le système n'interagissant qu'avec la forme des symboles (leurs attributs physiques) et non avec leur sens. Un système cognitif sera alors efficace si les symboles manipulés représentent adéquatement les aspects du monde réel et si le traitement de ces symboles aboutit à une solution efficace du problème considéré. Concernant la modélisation, les *systèmes experts* (*e.g.*, Gondran, 1984) sont, par exemple, des modèles issus du courant cognitiviste.

Les connexionnistes proposent, quant à eux, que la cognition est une *émergence* du fonctionnement global du cerveau (*e.g.*, Churchland, 1999). Selon ce courant, les capacités cognitives résulteraient des propriétés générales issues du fonctionnement en parallèle des neurones. En outre, les interconnexions massives des cellules nerveuses offriraient au cerveau un schéma distribué, permettant l'émergence d'états globaux. Ce schéma serait doué d'auto-organisation suivant l'expérience et d'une adaptabilité par modification des liens entre ses éléments. Si le connexionnisme rejette la computation symbolique (*i.e.*, hypothèse cognitiviste) par l'exclusion des symboles, au sens conventionnel, il ne nie pas pour autant l'implication du concept de représentation dans la cognition. En effet, le connexionnisme considère que les représentations émergent du fonctionnement des réseaux neuronaux, mais qu'elles ne sont donc pas directement, physiquement, implémentées au niveau biologique. La question du niveau représentationnel des informations s'avère alors un point de discordance majeur entre le cognitivisme et le connexionnisme. Selon ce dernier courant, une entité cognitive est un système basé sur des règles locales, gérant les opérations individuelles, et des règles de changement, gérant les liens entre les éléments. Un système cognitif sera efficace si ses propriétés émergentes sous-tendent une solution adéquate face à un problème donné. Concernant la modélisation, les *réseaux de neurones artificiels* sont l'illustration même du courant connexionniste (*e.g.*, Abdi, 1994; Gurney, 1997).

Depuis une dizaine d'années, une approche radicalement opposée aux deux précédentes prend de plus en plus d'ampleur. Ce paradigme se définit comme une approche dynamique de la cognition (*e.g.*, Beer, 2000). Varela (1997) appelle cette approche la théorie « enactive » ou « enaction ». Les concepts de ce courant sont principalement issus des travaux récents en intelligence artificielle située. Ces travaux remettent en cause la notion même de représentation dans le cadre de la cognition, du moins dans le sens où les systèmes cognitifs n'agiraient qu'en fonction de représentations internes (*e.g.*, Brooks, 1991; Markman et Dietrich, 2000). Précisément, l'approche enactive souligne le rôle des interactions entre les individus et leur environnement, l'importance de l'histoire des systèmes et le caractère actif des phénomènes cognitifs. La théorie de l'enaction envisage alors la cognition comme une construction active (en ce sens proche de l'émergence), issue des interactions *Entité/Environnement*. Les capacités cognitives seraient ainsi des facultés permettant à un organisme de répondre aux conditions environnementales, en fonction de ses perceptions. Dans cette acception, le comportement cognitif est de fait fortement inscrit dans des boucles *Perception/Action*. Selon l'enaction, une entité cognitive est un système généralement composé d'un réseau d'éléments interconnectés et capable de subir des changements adaptatifs de sa structure, au cours d'un historique d'états non interrompu. Un système cognitif sera efficace s'il arrive à s'adapter de façon pertinente à son environnement. Concernant la modélisation, les approches de la *vie artificielle* (*e.g.*, Mitchell et Forrest, 1994), les *systèmes multi-agents* (*e.g.*, Ferber, 1995) ou la *robotique* (*e.g.*, Gaussier *et al.*, 1997) s'inscrivent dans le courant de l'enaction.

Dans la suite de cette section, nous ne développerons pas davantage les travaux issus de ce dernier courant. En revanche, afin d'illustrer les modélisations de la mémoire, nous présenterons tout d'abord la classe des modèles ACT (Adaptative Control of Thought) (*e.g.*, Anderson, 1976) qui constitue un exemple représentatif des modèles de simulation computo-symboliques. Nous aborderons ensuite le domaine des réseaux de neurones artificiels.

3.2.1 Illustration computo-symbolique : le modèle ACT*

Les modèles computo-symboliques dérivent du courant cognitiviste. Sur les bases théoriques de ce courant, ces modèles sont généralement constitués d'un ensemble plus ou moins important de modules de traitement qui s'échangent de l'information. La caracté-

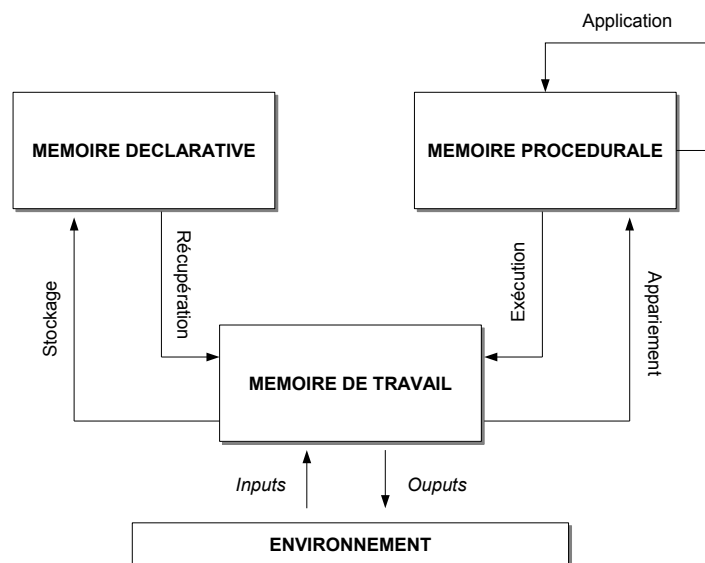


FIG. 3.2 – Représentation schématique du modèle ACT* (Adapté de Anderson, 1983).

ristique fondamentale de ce type de modèles est que les traitements (*i.e.*, les « computations ») s’effectuent presque toujours sur des unités de très haut niveaux d’organisation, comme des mots ou des images, voire des phrases ou des scènes. Les représentations manipulées par ces modèles sont ainsi des symboles complexes qui possèdent la particularité d’être *sémantiquement interprétable*.

J.R. Anderson (*e.g.*, 1976; 1983) est un auteur majeur dans le domaine de la modélisation computo-symbolique. En effet, il est à l’origine d’une famille de modèles conçus dans l’objectif (ambitieux diront certains...) de proposer une approche intégrée de la cognition. Cette famille est celle des modèles ACT, comprenant notamment le modèle ACT* (prononcé ACT « star ») (Anderson, 1983). Le modèle ACT-R (ACT-rational) (Anderson, 1993; Anderson et Lebiere, 1998) est par ailleurs le dernier modèle issu de cette classe et représente la version la plus actuelle du modèle ACT*.

La Figure 3.2 représente de façon schématique le modèle ACT*. Ce modèle est généralement appliqué à l’acquisition et au transfert de capacités cognitives (*e.g.*, calcul mental, navigation spatiale, *etc.*). Il dérive directement des travaux de Newell et Simon (1972) concernant la résolution de problèmes à partir de l’application de séquences de règles de production. De fait, le postulat central de ce modèle est que les capacités cognitives (et donc, *a priori*, les capacités mnésiques) peuvent être réalisées à l’aide de règles de production.

Comme nous pouvons le constater sur la Figure 3.2, le modèle ACT* est composé de trois modules de traitement mnésique : (1) une *mémoire de travail*³ ; (2) une *mémoire déclarative* ; et (3) une *mémoire procédurale*. Comme dans le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1968), la mémoire de travail tient une place centrale dans le modèle ACT* car elle est en relation permanente avec les deux autres modules de mémoire. Précisément, la mémoire de travail contient la situation courante du système et l'issue des traitements mnésiques. La mémoire déclarative figure, quant à elle, une mémoire permanente dont le rôle est de stocker des informations factuelles ou conceptuelles dans un réseau sémantique, le stockage pouvant s'effectuer sous divers formats (*e.g.*, propositions, images, séquences, *etc.*). Enfin, la mémoire procédurale est également un registre de mémoire permanente dont le rôle est de stocker les procédures sous forme de règles de production.

Concernant le fonctionnement du modèle, quatre processus fondamentaux déterminent la dynamique du système : (1) le *stockage* (*i.e.*, créer de nouvelles représentations en mémoire déclarative) ; (2) la *récupération* (*i.e.*, retrouver une information stockée en mémoire déclarative) ; (3) l'*appariement* (*i.e.*, comparer le contenu de la mémoire de travail à la partie « condition »⁴ des règles de production, en mémoire procédurale) ; et (4) l'*exécution* (*i.e.*, transfert en mémoire de travail de la procédure définie par la partie « action » d'une règle de production, lorsque la phase d'appariement a été réussie). Ainsi, lorsqu'une information est envoyée au système (*i.e.*, « input »), si l'information est nouvelle le processus de stockage sera déclenché mais si l'information est déjà contenue en mémoire déclarative alors les étapes de récupération, d'appariement et d'exécution seront appliquées de façon séquentielle, afin de produire une réponse (*i.e.*, « output »).

En psychologie cognitive, plus généralement en sciences cognitives, l'impact des modèles de simulation computationnels-symboliques a été considérable. Cependant, ces modèles re-

³Dans ce modèle, il doit être noté que le terme « mémoire de travail » ne réfère pas au système de mémoire décrit par Baddeley et Hitch (1974), comme mentionné au chapitre précédent (voir § 2.1.1, p. 37). Ce terme est à envisager dans l'acception utilisée en intelligence artificielle et dans les systèmes de production (*e.g.*, Newell et Simon, 1972). Particulièrement, la mémoire de travail ne possède pas ici de capacité limitée.

⁴Les règles de production sont composées de deux parties : (1) une partie « condition » qui détermine dans quelle situation doit s'appliquer la règle considérée ; et (2) une partie « action » qui détermine la procédure à suivre si la condition d'application est vérifiée.

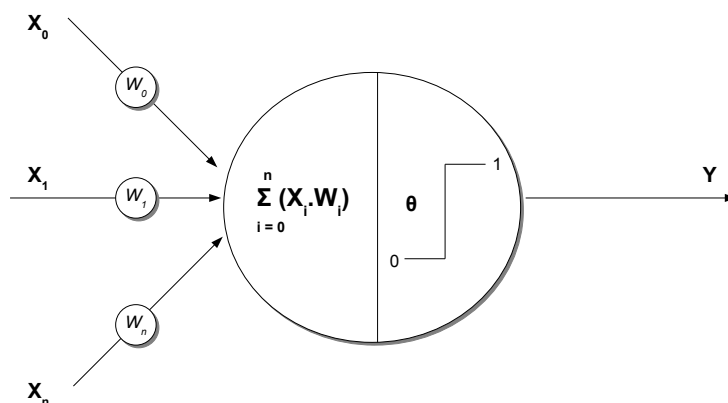


FIG. 3.3 – Représentation schématique du neurone de McCulloch et Pitts (1943).

posent sur un certain nombre de difficultés théoriques⁵ (*e.g.*, présence d’une instance de contrôle, mauvaise définition des mécanismes précis de fonctionnement des traitements, *etc.*) qui ont poussé les chercheurs à développer de nouvelles approches, dont celle des réseaux de neurones artificiels.

3.2.2 Les réseaux de neurones artificiels

Les réseaux de neurones artificielles (RNA) représentent l’implémentation même des conceptions connexionnistes (*e.g.*, McClelland et Rumelhart, 1986; Rumelhart et McClelland, 1986). Le principe général de ce type de modèles est d’apprendre des informations en modifiant la force des liaisons entre les éléments qui constituent le système. Depuis le début des années 1980 et l’émergence massive de ce type de modélisation, les RNA ont été appliqués dans des domaines aussi divers que l’économie (*e.g.*, Kuan et White, 1994; Shachmurove, 2002), l’anthropologie (*e.g.*, Corsini *et al.*, 2005) ou les neurosciences (*e.g.*, Borst *et al.*, 2004). Les RNA sont constitués de *neurones formels* et peuvent être élaborés selon différentes *architectures* et gérés par diverses *procédures d’apprentissage*.

LE NEURONE FORMEL

Le premier neurone formel a été proposé par McCulloch et Pitts (1943). La Figure 3.3 représente de façon schématique un neurone formel de type McCulloch-Pitts, encore appelé *automate à seuil*. Ce neurone formel possède certaines caractéristiques des neurones

⁵Voir, par exemple, Tiberghien (1997, pp. 132-135) pour une discussion sur les limites des modèles computo-symboliques.

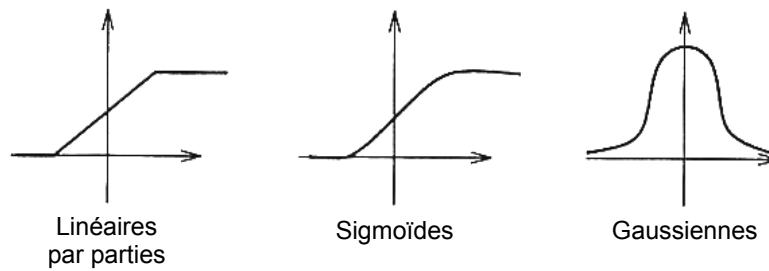


FIG. 3.4 – Exemples de fonctions d'activation utilisées dans les neurones formels (d'après Corsini, 2003).

biologiques, notamment le principe de sommation des informations entrantes. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 3.3, chaque neurone formel d'un RNA va posséder un certain nombre d'entrées (X_n) provenant soit de l'extérieur (dans le cas de la couche d'entrée du réseau), soit d'autres neurones. Chacune des entrées va être pondérée en fonction d'un *poids synaptique* (W_n), qui peut être positif ou négatif et qui va moduler la force du signal. Le poids synaptique figure ainsi deux réalités biologiques : (1) la force des connexions neuronales n'est pas constante ; et (2) certains signaux sont excitateurs, d'autres inhibiteurs. Une fois que chaque entrée aura été pondérée par son poids synaptique, le neurone formel effectuera la somme de ses signaux d'entrée et comparera cette somme à son seuil d'activation (θ). Le signal de sortie du neurone (Y) dépendra alors de cette comparaison : si la somme des signaux d'entrée dépasse le seuil, l'information sera transmise aux neurones suivants (*i.e.*, $Y = 1$) ; dans le cas contraire, la transmission sera stoppée (*i.e.*, $Y = 0$).

Le neurone formel de type McCulloch-Pitts est relativement simple mais d'autres formes plus complexes ont été développées (*e.g.*, neurones continus, dynamiques, probabilistes, *etc.*). Par exemple, dans le neurone de McCulloch et Pitts, la fonction d'activation est une fonction à seuil. Cependant, d'autres fonctions d'activation peuvent être utilisées, comme des fonctions linéaires par parties, sigmoïdes ou gaussiennes (voir Figure 3.4). Par ailleurs, les fonctions sigmoïdes sont généralement les plus utilisées dans les RNA.

LES CLASSIFICATIONS

Tous les RNA sont constitués d'un ensemble d'unités élémentaires de traitement (les neurones formels) en interconnexion. Cependant, le terme RNA regroupe en réalité une famille de modèles de simulation ayant des caractéristiques communes mais aussi de nombreuses différences. Ainsi, plusieurs classifications de ces modèles peuvent être proposées en fonction, notamment, de l'architecture du réseau et de la procédure d'apprentissage utilisées.

Architectures

L'architecture d'un RNA est aussi importante que les caractéristiques des neurones formels qui le constituent. En effet, l'architecture d'un réseau renvoie aux propriétés des connexions interneuronales qui sont déterminantes dans l'émergence d'états globaux, lors du fonctionnement du système de simulation. La Figure 3.5 représente les principales classes de RNA. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, deux grandes classes se dégagent : (1) les réseaux à *propagation unidirectionnelle* (dits « feed-forward »), dans lesquels l'information ne peut circuler que de la couche d'entrée vers la couche de sortie ; et (2) les réseaux *récurrents* (dits « feedback »), dans lesquels chaque neurone (hormis bien entendu ceux de la couche d'entrée) peut renvoyer de l'information aux neurones qui le précèdent dans le réseau. Dans ces derniers, le flux de l'information est multidirectionnel ce qui offre au système des capacités de retropropagation du signal et, ainsi, des possibilités de contrôle et d'auto-régulation.

Dans la catégorie des RNA à propagation unidirectionnelle, se trouvent principalement les réseaux de type *Perceptron* (mono- ou multi-couches) (*e.g.*, Minsky et Papert, 1969; Rosenblatt, 1958) ou à fonctions radiales ⁶ (*e.g.*, Yee et Haykin, 2001). Dans ces réseaux, l'information ne pouvant circuler que dans un seul sens, le traitement de l'information consiste simplement à transformer une figure d'entrée en une figure de sortie. Ces RNA sont utilisés, par exemple, pour effectuer de la classification de données ou des approximations de fonctions. Ils peuvent également effectuer des opérations logiques simples (*e.g.*, « ET » ou « OU »), voire plus complexes (*e.g.*, « XOR »). Dans ce dernier cas,

⁶La différence entre un Perceptron multi-couches et un réseau à fonction radiale réside dans les fonctions d'activation des neurones formels : fonctions à seuil ou sigmoïdes pour les premiers, gaussiennes pour les seconds.

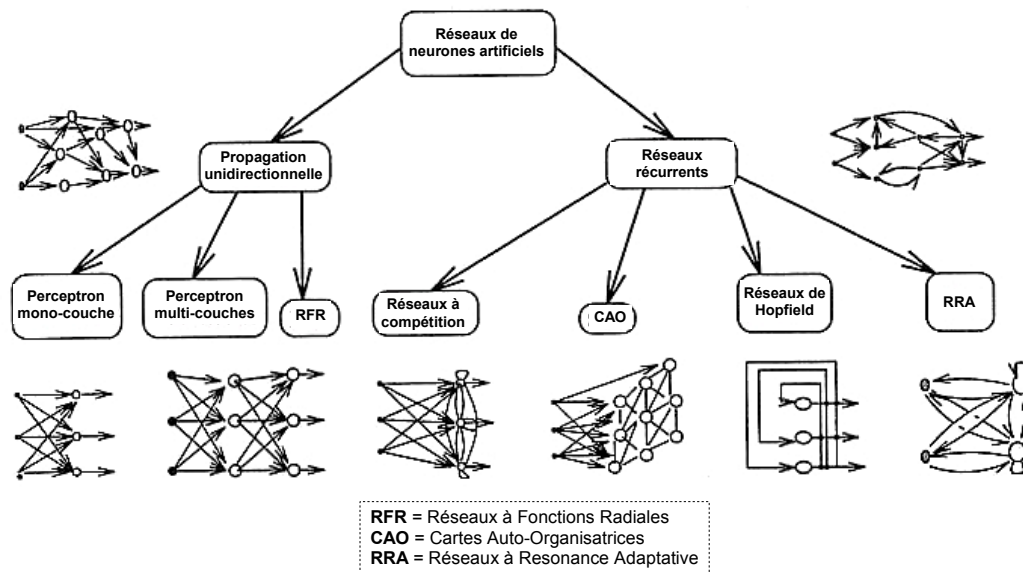


FIG. 3.5 – Taxonomie des différentes classes de réseaux de neurones artificiels (d'après Corsini, 2003).

il faudra alors que le réseau soit « multi-couches », c'est-à-dire qu'il possède un certain nombre de couches neuronales intermédiaires (dites « couches cachées » car elles ne sont pas accessibles depuis l'extérieur du réseau), entre la couche d'entrée et la couche de sortie. Par ailleurs, il est à noter que, de nos jours, l'architecture mono-couche n'est quasiment plus utilisée, l'architecture multi-couches étant bien plus puissante.

Concernant la catégorie des RNA récurrents, le réseau de Hopfield (*e.g.*, Hopfield, 1982, 1984), les cartes auto-organisatrices de Kohonen (*e.g.*, 1984) (SOM pour « Self-Organizing Maps ») et les réseaux à résonance adaptative (ART pour « Adaptive Resonance Theory ») (*e.g.*, Carpenter et Grossberg, 1991) sont les plus connus. Ces deux derniers types de RNA sont par ailleurs des réseaux dits « à compétition » car la modification des poids synaptiques, lors de l'apprentissage, ne concerne pas l'ensemble du réseau mais seulement quelques neurones (dans le cas des SOM), voire un seul neurone (dans le cas des ART). Les réseaux à résonance adaptative sont particulièrement intéressants car ils offrent une solution au problème, inhérent aux RNA, qu'est le maintien de l'équilibre entre *stabilité* et *plasticité*. En effet, l'objectif de tout RNA est d'apprendre des informations en modifiant les poids synaptiques des connexions interneuronales. Toute l'information mémorisée est ainsi contenu dans la matrice des poids synaptiques du ré-

seau. Le problème de l'apprentissage est que lorsque le modèle est confronté à de nouvelles informations, il doit adapter ses poids synaptiques pour les mémoriser, ce qui peut entraîner une déstabilisation du réseau par rapport aux informations précédemment apprises. Les ART sont des réseaux dans lesquels chaque neurone de la couche de sortie représente une catégorie d'information. Le système se comporte alors comme un « catégorisateur » qui va modifier ses poids synaptiques en fonction du neurone de sortie qui aura le vecteur d'informations le plus proche de l'entrée fournie au réseau. Le point fort des ART réside alors dans la capacité de créer de nouvelles catégories d'information si les entrées du système sont trop éloignées des catégories déjà connues. De fait, le réseau ne modifie pas, ou peu, ce qu'il connaît déjà et se crée des représentations spécifiques des nouvelles informations. De fait, le RNA est plastique puisqu'il peut s'adapter à toute nouvelle situation, mais il reste stable car les connaissances acquises ne sont pas altérées lorsque de nouvelles informations lui sont présentées.

L'apprentissage

Pour finir cette brève présentation des RNA, il convient de parler des procédures d'apprentissage qui sont, avec les fonction d'activations des neurones formels et l'architecture du réseau, le troisième élément déterminant le comportement d'un système de simulation connexionniste. Concernant l'apprentissage, le *mode* et la *règle* d'apprentissage sont les deux notions clefs à considérer.

Il existe principalement deux modes d'apprentissage pour les RNA : (1) le mode *supervisé* ; et (2) le mode *non-supervisé*. Tout d'abord, le mode supervisé réfère à un apprentissage basé sur la comparaison entre la sortie calculée par le réseau et la sortie attendue, pour chaque entrée fournie au système. Dans ce mode, l'apprentissage consiste à présenter les informations au RNA, autant de fois que nécessaire, jusqu'à ce que la modification des poids synaptiques permette au simulateur de fournir, pour chaque entrée présentée, la sortie souhaitée. Ici, la règle d'apprentissage qui peut être utilisée est la *règle de Hebb* (1949). Cette règle détermine que deux neurones formels qui s'activent de façon simultanée renforcent leur lien. Dans le cas contraire, la connexion tend à s'affaiblir. Ainsi, plus deux neurones sont co-activés, plus leur connexion sera forte, et inversement. Le *renforcement* est par ailleurs un type spécifique d'apprentissage supervisé. Dans ce mode, le réseau doit apprendre les corrélations Entrée/Sortie *via* une estimation de son erreur (*e.g.*, Barto et

Anandan, 1985). Le réseau va alors procéder à une évaluation de sa performance à l'aide d'un signal de retour provenant de l'environnement. Ce signal est uniquement de nature évaluative, pas de nature instructive, de sorte que le retour fourni au modèle indique seulement si la sortie est erronée mais pas la nature de l'erreur. Le système mesure alors si sa réponse est acceptable, mais il ne connaît pas « la » bonne réponse à fournir. Dans l'apprentissage par renforcement, la règle de Widrow et Hoff (1960) peut être utilisée pour modifier les connexions du réseau. Cette règle permet de corriger les poids synaptiques en répartissant l'erreur, calculée entre l'entrée fournie et la réponse attendue, en fonction d'un gradient allant de la couche de sortie vers la couche d'entrée (*i.e.*, rétropropagation de l'erreur⁷).

Le mode *non-supervisé* (ou auto-organisationnel) correspond, quant à lui, à un apprentissage basé sur des processus stochastiques (*i.e.*, dépendant partiellement du hasard). Le réseau va ainsi se modifier en fonction de la régularité statistique d'apparition des informations d'entrée. Précisément, le système va établir des catégories en attribuant et en optimisant une valeur de qualité, pour chaque catégorie reconnue. L'apprentissage par *compétition* est un cas particulier d'apprentissage non supervisé. Ici, comme évoqué précédemment, la modification des poids synaptiques du réseau ne concerne qu'un seul neurone de sortie ou, éventuellement, un petit groupe de neurones. Typiquement, dans un réseau à compétition, la couche de sortie est entièrement connectée, c'est-à-dire que chaque neurone de cette couche est connectée à tous les autres. Un lien excitateur revient sur lui-même (*i.e.*, auto-stimulation), tandis que des liens inhibiteurs le connectent aux neurones voisins. Lorsqu'une information est présentée en entrée, les neurones de la couche de sortie reçoivent une activation. Ces neurones entrent alors en compétition afin de déterminer quel sera le neurone finalement activé. Ici, la règle du « tout-ou-rien » (« *winner-take-all* » en Anglais) peut être utilisée. Dans ce cas, le neurone de sortie qui sera le plus activé sera déclaré « vainqueur » et seuls les poids des connexions qui lui sont afférentes seront modifiés. L'intérêt d'un apprentissage non-supervisé, par rapport à un apprentissage supervisé, réside dans l'observation des propriétés auto-organisationnelles et émergentes du réseau.

Enfin, il est à noter qu'un apprentissage « *hybride* » peut être utilisé. Dans ce cas, le réseau va adapter ses poids synaptiques en utilisant à la fois un mode supervisé et

⁷Werbos (1974) est le premier auteur à avoir décrit un algorithme de rétropropagation de l'erreur.

non-supervisé. Il s'agit alors généralement d'un réseau qui met en parallèle, ou en série, un RNA entraîné en mode supervisé et un autre en mode non supervisé.

En conclusion : Bien que les approches dynamiques de la cognition soient de plus en plus développées de nos jours, le cognitivisme et le connexionnisme restent les deux courants de pensée majeurs dans lesquels s'inscrivent les recherches en sciences cognitives. De ces courants dérivent les modèles de simulation computo-symboliques et les réseaux de neurones artificiels, respectivement. Les premiers sont constitués d'un nombre plus ou moins important de modules de traitement qui s'échangent de l'information. Les seconds se basent, quant à eux, sur un grand nombre d'unités élémentaires de traitement, massivement interconnectées et fonctionnant en parallèle. Les modèles computo-symboliques possèdent la particularité de manipuler des représentations complexes (*e.g.*, mots, images, *etc.*) qui sont sémantiquement interprétables. Au contraire, les modèles connexionnistes ne contiennent aucune représentation explicite, bien que des comportements de sortie complexes puissent émerger du fonctionnement du système. Il est à noter que ces deux types de modélisation ne sont pas complètement incompatibles, ce qui peut donner lieu à des modèles dits « hybrides ». Par exemple, le modèle de construction-intégration de Kintsch (1988) est un modèle basé sur une architecture de type connexionniste (*i.e.*, un ensemble d'éléments interconnectés) dans laquelle une proposition (*i.e.*, une représentation symbolique de haut niveau) est rattachée à chaque élément du réseau.

3.3 Les modèles d'appariement global

Dans les années 1980, les recherches concernant la modélisation de la mémoire ont été enrichies par une nouvelle famille de modèles, que sont les modèles d'*appariement global* (« *global-matching models* » en Anglais). Tiberghien (1997) classe ces modèles parmi les modèles connexionnistes et les nomme *néo-connexionnistes*, afin de les différencier des réseaux de neurones artificiels (*i.e.*, modèles strictement connexionnistes). Les modèles d'appariement global sont pourtant fortement éloignés conceptuellement des réseaux de neurones artificiels, bien qu'ils puissent être rapprochés de ce type de modèles par certains aspects de leur fonctionnement, notamment, le caractère « émergent » de la réponse de sortie.

3.3.1 Présentation générale

Les modèles d'appariement global sont des modèles mathématiques de la mémoire. Ils constituent une forme de modélisation pouvant être qualifiée de « psychomimétique » (Tiberghien, 1997) car ils proposent, avant tout, une formalisation des étapes de la mémorisation. En effet, les processus d'encodage, de stockage et de récupération sont représentés dans ces modèles par des équations. Ainsi, cette forme de modélisation se soucie peu des structures sous-jacentes qui pourraient produire les traitements modélisés. En ce sens, les modèles d'appariement global s'opposent diamétralement aux réseaux de neurones artificiels, dont l'objectif initial était de proposer une modélisation « neuromimétique » de la mémoire, inscrite dans une plausibilité biologique.

Tous les modèles d'appariement global sont basés sur trois principes :

- l'information à mémoriser (*e.g.*, mot, image, *etc.*) est représentée sous la forme de vecteurs (*i.e.*, un tableau de valeurs numériques), au sein desquels chaque caractéristique (ou valeur) figure un trait de l'information (*e.g.*, nombre de lettres pour un mot, taille pour une image, *etc.*);
- les traitements cognitifs impliqués dans les phases d'encodage, de stockage et de récupération des informations sont figurés par des opérations mathématiques sur les vecteurs ⁸ ;
- l'activité mnésique repose sur un mécanisme de « fusion » des informations (*i.e.*, *appariement global*) qui opère soit à l'encodage (*e.g.*, CHARM: Metcalfe Eich, 1982), soit à la récupération (*e.g.*, MINERVA 2: Hintzman, 1984).

Ces modèles héritent ainsi directement des conceptions théoriques de certains auteurs des années 1960, utilisant la notion de « trait ». Par exemple, le modèle de Collins et Quillian (1969) représente la mémoire sémantique sous la forme d'un schéma hiérarchique, au sein duquel les concepts sont représentés à partir des traits qui les définissent (*e.g.*, « à des ailes », « peut voler », « à des plumes » pour le concept « oiseau »). Les concepts sont ensuite catégorisés en fonction des traits qu'ils partagent ou, au contraire, des traits qui les différencient. En outre, les modèles d'appariement global reposent sur les notions de

⁸En ce sens, les modèles d'appariement global sont proches des modèles cognitivistes puisque le traitement de l'information s'effectue par des processus calculatoires sur des objets symboliques. La différence notoire entre les deux types de modèles est que, dans les modèles d'appariement global, les représentations manipulées ne sont pas complexes mais élémentaires.

« *trace* » et d'« *épisode* », ces deux notions étant par ailleurs intimement liées. Ce type de modèles postule qu'il n'existe qu'un seul système de mémoire à long terme (*i.e.*, position « fonctionnaliste », voir chapitre précédent, § 2.1.2, p. 44), conservant une trace de toutes les expériences auxquelles l'individu est confronté. La trace se caractérise par deux propriétés essentielles (Versace *et al.*, 2002, p. 58) : (1) elle est *épisodique* car elle code les caractéristiques de l'épisode de traitement dans lequel elle s'est constituée ; et (2) elle est *multi-dimensionnelle* car elle reflète les multiples propriétés des épisodes.

Les modèles d'appariement global se divisent en deux grandes classes : les modèles à *trace unique* (ou trace composite) et les modèles à *traces multiples*. Dans la suite de cette section, nous illustrerons la première classe à l'aide du modèle CHARM (« Composite Holographic Associative Recall Model ») (Metcalf et Eich, 1982). Dans la section suivante, la deuxième classe sera illustrée, quant à elle, *via* la présentation du modèle MINERVA 2 (Hintzman, 1984).

3.3.2 CHARM : un modèle à trace unique

Les modèles d'appariement global à trace unique reposent essentiellement sur deux opérations mathématiques que sont la *convolution* et la *corrélation*, utilisées à l'encodage et à la récupération, respectivement (voir Plate, 1994, pour une revue de ces modèles). Dans cette famille, les deux modèles les plus connus sont le modèle TODAM⁹ (« Theory Of Distributed Associative Memory ») (Murdock, 1982) et le modèle CHARM (Metcalf et Eich, 1982). Par ailleurs, ces deux modèles sont très proches, ne différant que sur quelques aspects de leur fonctionnement. Pour cette raison, nous n'aborderons ici que le modèle de Janet Metcalfe.

FONCTIONNEMENT DU MODÈLE

La Figure 3.6 représente de façon schématique le modèle CHARM. Initialement, ce modèle a été conçu pour simuler une mémorisation de paires d'items et une tâche de rappel indicé. Dans le modèle, les paires d'items à mémoriser sont figurées par des paires de vecteurs (*e.g.*, $C-D$). Lors de l'encodage, chaque vecteur d'une paire va être convolué avec son vecteur associé ($C * D$). Précisément, l'opération mathématique de convolution (noté « * ») consiste à combiner deux vecteurs, de telle sorte que le produit de la convolution

⁹Voir TODAM 2 (Murdock, 1993) pour une version plus récente du modèle.

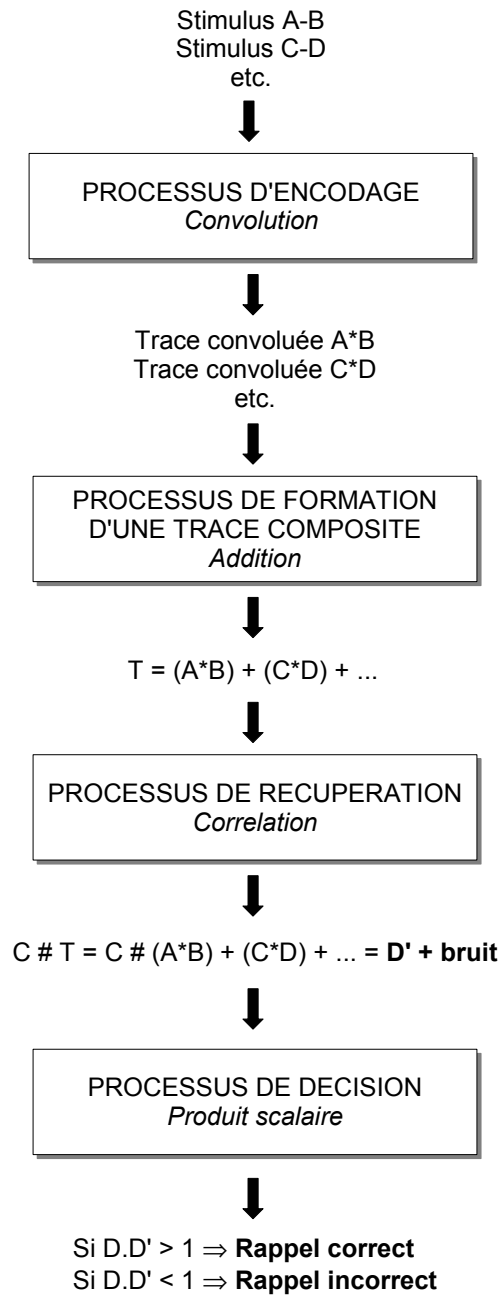


FIG. 3.6 – Représentation schématique du modèle CHARM (adapté de Tiberghien, 1997).

soit un vecteur de plus grande dimension que celle des vecteurs convolués et contenant un mélange des informations d'origine (voir en Annexe, p. 325, pour une illustration de l'opération de convolution). Ainsi, chaque paire de vecteurs va être convoluée, puis toutes les paires seront additionnées dans un « meta-vecteur », le vecteur « trace », qui représentera la mémoire.

Concernant la phase de restitution, la récupération d'un item va consister en l'opération inverse de la convolution (*i.e.*, *déconvolution*¹⁰, notée « # » : $C\#D$), qui va permettre de corrélérer un indice de récupération avec le vecteur trace ($C\#T$), afin de retrouver l'item cible (D). Il doit être noté que l'item récupéré à l'issue de la déconvolution n'est pas directement l'item recherché (D) mais une forme « bruitée » de cette item (D'). Un processus de décision doit alors être effectué afin de déterminer si la réponse du modèle est suffisamment proche de la réponse souhaitée. Dans CHARM, le processus de décision est figuré par un produit scalaire réalisé entre le vecteur cible et le vecteur de sortie (D.D'). Une précision importante sur le fonctionnement du modèle est que tous les vecteurs manipulés sont « normés », ce qui signifie dans le langage mathématique que le produit scalaire d'un vecteur par lui même est égal à « 1 » ($D.D = 1$). Cette caractéristique du modèle permet alors de fixer aisément un seuil de décision lors du processus de rappel. En effet, plus le vecteur de sortie et le vecteur cible seront proches, plus leur produit scalaire tendra vers 1. Étant donné qu'une quantité de bruit accompagne toujours le vecteur de sortie, le produit scalaire sera en réalité toujours supérieur à 1 lorsque les deux vecteurs sont identiques. Ainsi, un produit scalaire supérieur à 1 indiquera que le vecteur cible et le vecteur de sortie sont très proches. Dans ce cas, l'item récupéré sera alors considéré comme celui recherché et un rappel correct sera pris en compte. Au contraire, un produit scalaire inférieur à 1 indiquera que les deux vecteurs sont relativement éloignés. Dans ce dernier cas, l'item récupéré ne sera pas considéré comme l'information cible et un rappel incorrect sera comptabilisé.

LA RECONNAISSANCE

Comme évoqué précédemment, CHARM est à l'origine un modèle qui simule le rappel d'items mémorisés, mais il peut également simuler une tâche de reconnaissance (Metcalfé, 1991; Metcalfé Eich, 1985). Pour ce faire, l'encodage des paires de vecteurs est légère-

¹⁰L'opération de déconvolution ressemble à un calcul de corrélation de type *r de Pearson*.

ment modifié. Précisément, non seulement les deux vecteurs d'une paire sont convolués ensemble, mais ils sont également « auto-convolués » (*e.g.*, $C * C$). Pour illustration, soit l'encodage de deux paires de vecteurs A-B et C-D, la trace correspondant à l'encodage en mémoire de ces informations sera la suivante :

$$T = (A * A) + (B * B) + (A * B) + (C * C) + (D * D) + (C * D)$$

En outre, lors de la phase de récupération, l'indice fourni au modèle sera alors l'indice directement recherché (*e.g.*, $D \# T = D' + \text{bruit}$) et non plus son associé ($C \# T = D' + \text{bruit}$), comme dans la simulation du rappel indicé.

COMPÉTENCES DU MODÈLE

Bien que CHARM ait été critiqué par certains auteurs (*e.g.*, Craik et Lockhart, 1986; Lewandowsky et Hockey, 1987), ce modèle permet tout de même de rendre compte de nombreux phénomènes de mémoire, tels que l'apprentissage de paires d'associés (Metcalfé Eich, 1982), les syndromes d'amnésie (Metcalfé, 1993, 1997), ou encore la métacognition (Metcalfé, 1993). Comme rapporté par Tiberghien (1997), CHARM s'avère particulièrement compétent dans la simulation des phénomènes de Dépendance/Indépendance, que ce soit dans le cadre de la relation entre tâches de rappel et de reconnaissance (Metcalfé, 1991) ou tâches implicites et explicites (Metcalfé *et al.*, 1992).

Par exemple, Metcalfé *et al.* (1992) ont tenté de reproduire, à l'aide de CHARM, les données de Hayman et Tulving (1989) concernant les relations de dépendance obtenues dans des tâches de mémoire implicite (complètement de fragments) ou explicite (rappel indicé)¹¹. Afin d'étudier ces relations, la tâche consiste généralement à faire apprendre aux sujets des paires de mots (cible - contexte), suivi d'une épreuve de reconnaissance puis d'un rappel indicé. Les résultats montrent que la probabilité de rappel des cibles est meilleure lorsque celles-ci ont été préalablement reconnues. Il a alors été considéré que cette relation de dépendance entre les 2 tâches reflète le fait qu'elles sont sous-tendues par le même « système » cognitif. De façon symétrique, l'indépendance entre tâches refléterait le fait qu'elles sont sous-tendues par des « systèmes » différents.

¹¹Les relations de dépendance ont été particulièrement développées dans le cadre de la comparaison des mécanismes mis en jeu dans les épreuves de rappel et de reconnaissance (Nilsson et Gardiner, 1991).

L'expérience rapportée par (Hayman et Tulving, 1989) consiste à présenter aux sujets des items, tels que « ABRICOT ». Cette présentation est suivie des deux tests suivants : un test implicite dans lequel les sujets doivent compléter des fragments, tels que « -BR-CO- » ; et un test explicite de rappel indicé dans lequel les sujets doivent rappeler les mots de la liste mémorisée qui contenaient « -BR-CO- ». Dans les deux cas, le sujet doit ensuite effectuer une deuxième tâche qui consiste à compléter pour la seconde fois le même fragment (*i.e.*, « -BR-CO- ») ou un fragment complémentaire du premier, tel « A—I—T ». Ce qui est étudié est alors la relation de dépendance entre la première et la seconde présentation des fragments, selon le type de protocole utilisé (*i.e.*, même fragment ou fragment différent lors de la deuxième tâche) et le type de test de mémoire (implicite ou explicite). Les résultats classiquement obtenus sur cette expérience sont les suivants : (1) que ce soit en test implicite ou explicite, lorsque le même fragment est répété, une dépendance entre les deux tâches est observée ; (2) en revanche, pour des fragments différents, une relation de dépendance est obtenue en test explicite alors qu'une relation d'indépendance est obtenue en test implicite.

La simulation de ces données permet à Metcalfe *et al.* (1992) de montrer que le modèle à trace unique CHARM produit des résultats tels qu'on les observe en test explicite de mémoire, alors qu'un modèle à traces multiples (*i.e.*, MINERVA 2, voir section suivante) produit des résultats tels qu'on les observe en test implicite. Pour ces auteurs, la différence critique entre les deux types de modèles est que le premier comporte un mécanisme qui fusionne les items (*i.e.*, opération de convolution), de telle façon que leurs caractéristiques sont mélangées. Le second ne possède pas cette propriété. Il en résulterait que les modèles qui fusionnent ou qui relient entre eux les divers éléments d'un événement, de façon à former un tout cohérent, reproduiraient les résultats observés chez des sujets soumis à des consignes de test explicite. Les modèles qui ne relient pas les traits reproduiraient, quant à eux, les résultats de sujets soumis à des consignes de test implicite. Selon les auteurs, ces données appuieraient l'idée qu'une des caractéristiques cruciales qui distingue le système de mémoire explicite du système implicite est une fonction particulière de liaison en mémoire, qui servirait à fusionner les parties d'un événement en un tout cohérent lors de la mémorisation.

3.4 MINERVA 2 : un modèle à traces multiples

Dans la famille des modèles d'appariement global à traces multiples, les modèles SAM (« Search of Associative Memory ») (Gillund et Shiffrin, 1984; Raaijmakers et Shiffrin, 1981), MATRIX (Pike, 1984) et MINERVA 2 (Hintzman, 1984) sont les plus cités. Chacun de ces modèles décrit un fonctionnement qui lui est propre, mais ils ont tous comme point commun de représenter les items mémorisés de façon séparée en mémoire. Ainsi, chaque épisode mnésique est figuré par une trace spécifique. Dans cette section nous ne décrirons que le modèle d'Hintzman que nous avons utilisé lors de nos investigations.

3.4.1 Présentation générale

MINERVA 2¹² est un modèle formel de mémoire basé sur un système de traces multiples, dans lequel chaque événement possède sa propre trace, isolée et non itérative en mémoire. Ce modèle a été conçu dans les années 1980 par Douglas L. Hintzman (1984; 1986; 1988) dans le but de proposer un système mnésique unique capable de rendre compte à la fois des propriétés d'une mémoire épisodique¹³ et d'une mémoire sémantique. Précisément, selon Hintzman (1986), un seul système de mémoire stockerait les connaissances épisodiques et les connaissances générales (sémantiques) n'auraient pas besoin d'être stockées, car elles pourraient émerger de l'ensemble des traces épisodiques au moment de la récupération.

3.4.2 Conceptions théoriques

Comme tout modèle, MINERVA 2 constitue la formalisation d'une théorie, c'est-à-dire de certains concepts ou hypothèses. Hintzman (1986) propose que chaque expérience, chaque épisode de traitement, possède sa propre représentation interne en mémoire. Chaque représentation serait une configuration active, ou potentiellement activable, d'un groupe de propriétés primitives. Ces propriétés primitives constitueraient, quant à elles, les caractéristiques de la situation à encoder et seraient organisées, selon un continuum, des caractéristiques émotionnelles et sensorielles simples (*e.g.*, couleurs, formes, etc.), jusqu'aux caractéristiques abstraites (*e.g.*, concepts, relations, *etc.*), en passant par des propriétés accessibles par plusieurs modalités (*e.g.*, localisation spatiale, temps, *etc.*).

¹²Comme son nom l'indique, MINERVA 2 succède au modèle MINERVA 1 (Hintzman et Ludlam, 1980).

¹³Voir chapitre précédent (§ 2.1.1, p. 40) pour une définition des termes « mémoire épisodique » et « mémoire sémantique ».

L'auteur précise que l'ensemble de ces propriétés primitives est supposé relativement vaste bien que plus petit que l'ensemble des expériences qu'une personne peut vivre. Par conséquent, un grand nombre d'expériences partagerait des propriétés communes et, de fait, la similitude entre deux expériences données pourrait être définie par le nombre de propriétés qu'elles partagent.

Comme évoqué précédemment, une trace mnésique peut être envisagée comme l'enregistrement d'une expérience ou d'un traitement. Cet enregistrement figurerait, de manière parfaite ou non, la configuration réelle des propriétés primitives constituant l'expérience. De plus, chaque expérience engendrerait sa propre trace mnésique, quelle que soit sa similitude éventuelle avec les traces précédemment encodées. Par conséquent, un même événement pourrait engendrer plusieurs traces en mémoire, car il serait (re)encodé à chaque occurrence. En effet, la seule variation de la primitive « temps » (qui constitue la variation minimale du contexte d'encodage) suffirait à créer une nouvelle trace en mémoire pour un même événement.

Parce qu'il est nécessaire dans MINERVA 2 de distinguer, d'une part, la représentation active d'une expérience vécue sur l'instant et, d'autre part, le vaste pool de traces « dormantes » en mémoire, Hintzman (1986) adopte respectivement les termes de *mémoire primaire* (MP) et de *mémoire secondaire* (MS), selon la terminologie proposée par James (1890). Dans le modèle, la communication entre ces deux systèmes de mémoire est limitée à deux opérations simples : (1) un indice de récupération, également appelé *sonde*, peut être envoyé de la MP vers toutes les traces en MS ; (2) la MP ne peut recevoir qu'une réponse unique, ou *écho*, émanant de la MS.

Une sonde peut être alors considérée comme une représentation active d'une expérience en MP qui est communiquée en parallèle à toutes les traces en MS permettant, de fait, une activation globale de la mémoire. Précisément, chaque trace est activée en fonction de sa similitude avec la sonde. Ainsi, plus une trace possède de propriétés communes avec la sonde, plus elle est activée, et inversement. En outre, une trace étant activée, l'activation peut se répercuter sur l'ensemble de ses propriétés primitives. Par conséquent, l'activation des propriétés partagées entre une sonde et une trace s'étend également aux propriétés non partagées. C'est ainsi que des informations non contenues dans la sonde elle-même peuvent être activées en mémoire. Ce mécanisme permet de simuler une tâche de rappel indicé dans le modèle. Lors de la restitution, chaque sonde présentée provoque un écho,

figurant la réaction de la mémoire, qui retourne ensuite en MP. Dans MINERVA 2, cet écho est un vecteur qui peut être caractérisé par une valeur d'*intensité* et par son *contenu*.

L'intensité de l'écho dépend de l'activation globale des traces en MS provoquée par la sonde. Ainsi, plus un grand nombre de traces partage des propriétés communes avec la sonde et plus ce nombre de propriétés est grand, plus grande sera l'intensité de l'écho. L'intensité est ainsi directement dépendante de la similitude entre la sonde et le contenu de la mémoire et fourni ainsi un bon indice de familiarité pour la sonde (Hintzman, 1986, 1988).

Le contenu de l'écho constitue, quant à lui, un profil d'activation de propriétés primitives. Précisément, il peut être envisagé comme l'ensemble des propriétés activées en MS par une sonde. En effet, une sonde activant simultanément toutes les traces en MS, l'ensemble des traces contribue à la formation de l'écho. Le contenu de l'écho reflète ainsi la contribution de toutes les traces en MS, chaque trace répondant en fonction de sa similitude propre avec la sonde. En outre, si plusieurs traces sont activées fortement en MS, alors le contenu de l'écho reflétera principalement leurs propriétés communes et, au contraire, les caractéristiques particulières seront masquées. Figurant un ensemble de primitives, l'écho constitue alors une représentation active en mémoire qui peut éventuellement retourner en MP.

Notons que dans un système comme celui-ci, la structure de la sonde est primordiale puisqu'elle va déterminer la combinaison particulière des traces en MS qui va contribuer à la formation de l'écho. Ainsi, en fonction de la spécificité de la sonde, le groupe de traces activé peut être grand ou petit et, en fonction de l'homogénéité des traces au sein du groupe, le contenu de l'écho pourra être ambigu ou net.

3.4.3 Implémentations : Encodage, stockage et récupération

Dans MINERVA 2, comme dans tous les modèles d'appariement global, chaque information à encoder en mémoire est figurée par un *vecteur*, c'est-à-dire un ensemble de valeurs numériques. L'information à mémoriser est ainsi représentée par un tableau de valeurs, par analogie à l'ensemble des caractéristiques, ou propriétés primitives, constituant un épisode mnésique.

LES VECTEURS

Au sein des vecteur, seules trois valeurs numériques peuvent être rencontrées : « -1 », « 0 » ou « $+1$ ». En outre, la proportion de ces trois valeurs est généralement égale, de telle sorte que $P\{-1\} = P\{0\} = P\{+1\} = \frac{1}{3}$. Ces valeurs figurent la probabilité d'occurrence d'une primitive par rapport à l'événement considéré. Ainsi, la valeur « $+1$ » indique qu'une primitive donnée tend à être évoquée dans l'épisode, contrairement à la valeur « -1 ». La valeur nulle signifie, quant à elle, une indétermination. Pour illustration, imaginons que le concept « *Animal* » soit représenté comme suit :

$$\textit{Animal} = \{ \text{« se déplace » ; « a des plumes » ; « a des poils » ; « est dangereux » } \}$$

Dans cet exemple, le concept « *Animal* » n'est représenté que par 4 caractéristiques parmi la multitude de traits potentiellement rattachés à ce concept. Un animal étant défini de la sorte, le concept « *Oiseau* » pourrait être représenté de la manière suivante :

$$\textit{Oiseau} = \{+1; +1; -1; 0\}$$

La représentation vectorielle s'explique alors par le fait qu'un oiseau est bien un animal qui se déplace et qui a des plumes, mais qui n'est pas typiquement recouvert de poil. Concernant la caractéristique de « dangerosité », certains oiseaux comme les rapaces peuvent être dangereux, mais ce n'est pas un trait ni particulièrement représentatif, ni exclusif, du concept « *Oiseau* ». La valeur sera donc mise à « 0 ».

Lors des simulations, il doit être noté que les vecteurs sont générés *aléatoirement* dans le modèle. Par conséquent, l'exemple ci-dessus n'est qu'une illustration à but pédagogique de la philosophie du modèle, mais ne correspond à rien de réel en termes de construction des vecteurs.

ENCODAGE ET STOCKAGE

Dans MINERVA 2, l'encodage des informations s'effectue de façon probabiliste. La variabilité potentielle de l'encodage, due par exemple au degré d'attention ou à la vitesse de présentation des items, est ainsi implémentée à l'aide d'un coefficient d'apprentissage noté L . Ce paramètre peut varier de 0 à 1 et détermine la probabilité d'encodage de chacune des caractéristiques contenues dans les vecteurs. $L = 1$ correspond alors à un encodage

parfait des informations. Dans ce cas, le contenu des traces en mémoire sera identique au contenu des vecteurs présentés au modèle. En revanche, si par exemple $L = 0.8$, chaque caractéristique n'aura que 80% de chance d'être correctement inscrite en mémoire. Il en résultera une différence moyenne de 20% entre le contenu des traces et des informations présentées. Si une caractéristique n'est pas correctement encodée, alors la valeur « 0 » est attribuée. De fait, L définit la probabilité qu'une caractéristique « signifiante » (*i.e.*, « -1 » ou « $+1$ ») disparaisse lors du processus d'encodage. En ce sens, le coefficient d'apprentissage reflète le rapport Rétention/Oubli. En effet, par exemple, $L = 0.8$ peut figurer deux situations : (1) un encodage imparfait (*i.e.*, 20% de perte), suivi d'aucun oubli des informations mémorisées ; ou (2) un encodage parfait, suivi d'un oubli de 20% des informations encodées.

Concernant l'étape de stockage, elle consiste simplement à recopier en mémoire les informations présentées au modèle, en tenant compte de l'effet du coefficient d'apprentissage. Précisément, chaque trace est stockée séparément en mémoire et, au sein de chaque trace, les différentes caractéristiques sont isolées. Dans le modèle, la mémoire peut alors être représentée sous la forme d'une *matrice*, où chaque ligne est une trace (*i.e.*, un vecteur) et chaque colonne correspond à la caractéristique de rang j sur toutes les traces.

PROCESSUS DE RÉCUPÉRATION

Dans MINERVA 2, le processus de récupération est le coeur du modèle. La restitution des informations stockées en mémoire est effectuée par « *résonance* » d'un indice de récupération (*i.e.*, le vecteur sonde) avec l'ensemble des traces mnésiques. Ainsi, comme souligné par Damas (2003), la méthode d'accès à la mémoire est une formalisation mathématique du processus d'« *ecphorie synergétique* »¹⁴ introduit par Tulving (*e.g.*, 1982). Concrètement, un vecteur sonde est confronté simultanément à toutes les traces stockées en mémoire et il en résulte une réponse, le *vecteur écho*. L'émergence de l'écho s'effectue en quatre étapes : calcul (1) des similitudes Sonde/Trace ; (2) de l'activation de chaque trace ; (3) de l'intensité de l'écho ; et (4) du contenu de l'écho.

¹⁴La notion d'« *ecphorie synergétique* » renvoie au processus qui fait émerger le souvenir à la conscience. La « *synergie* » vient de l'interaction entre un stimulus et l'ensemble des traces en mémoire, simultanément.

Similitude Sonde/Trace

La similitude Sonde/Trace est calculée à l'aide de l'Equation 3.1 :

$$S_i = \left(\sum_{j=1}^n P_j \cdot T_{i,j} \right) / N_R \quad (3.1)$$

où S_i est la similitude entre la sonde et la trace i , n est le nombre total de caractéristiques dans les vecteurs (*i.e.*, la dimension des vecteurs), P_j est la caractéristique de rang j sur la sonde (« P » pour « Probe » en Anglais), $T_{i,j}$ est la caractéristique de rang j sur la trace i et N_R est le nombre de rangs pertinents pour la comparaison. Un rang est considéré comme non-pertinent dans le calcul de similitude si la valeur de la caractéristique, pour ce rang, est nulle sur la sonde *et* sur la trace. Le calcul de similitude Sonde/Trace s'effectue ainsi en multipliant la valeur de chaque caractéristique sur la sonde, par la valeur du trait de même rang sur une trace. On somme ensuite toutes les valeurs obtenues et on divise par le nombre de rangs où la valeur de la caractéristique est différente de « 0 », sur la trace ou sur la sonde. D'après cette formule¹⁵, la similitude Sonde/Trace peut varier entre « -1 », lorsque la sonde et la trace sont des vecteurs strictement opposés, et « +1 » lorsque la sonde et la trace sont strictement identiques. En outre, une similitude Sonde/Trace proche de « 0 » indique que la sonde et la trace présentent autant de points communs que de différences. Par ailleurs, une similitude nulle peut également être due à une sonde ou une trace complètement indéterminée, c'est-à-dire uniquement constituée de « 0 ».

Activation des traces

Une fois les similitudes calculées, l'activation de chaque trace en mémoire est déterminée par l'Equation 3.2 :

$$A_i = (S_i)^3 \quad (3.2)$$

¹⁵Qui est un produit scalaire modifié.

où A_i est l'activation de la trace i et S_i est la similitude entre la sonde et la trace i . L'activation d'une trace en mémoire correspond ainsi simplement à la similitude Sonde/Trace élevée au cube. La fonction cube possède deux avantages : (1) elle permet de conserver le signe de la similitude Sonde/Trace et, donc, d'autoriser des activations négatives (*i.e.*, des inhibitions); et (2) elle permet d'obtenir une relation non-linéaire entre la similitude et l'activation qui tend à amplifier la réponse, en maximisant les fortes activations et en minimisant les faibles. Le rapport Signal/Bruit est ainsi augmenté. De même que la similitude, l'activation varie entre « -1 » et « $+1$ ». Il est intéressant de remarquer qu'une trace peut être fortement activée mais négative. De fait, l'activation globale de la mémoire dépendra de l'équilibre entre les traces activées et les traces inhibées.

Intensité de l'écho

En fonction de l'activation de la mémoire, le modèle va fournir une réponse en écho à la sonde. Tout d'abord, l'intensité de l'écho est déterminée par l'Equation 3.3 :

$$I = \sum_{i=1}^m A_i \quad (3.3)$$

où I est l'intensité de l'écho, m est le nombre total de traces en mémoire et A_i est l'activation de la trace i . Le calcul de l'intensité de l'écho est ici encore élémentaire puisqu'il se résume en la somme des activations des traces. De fait, une intensité élevée et positive révèlera une forte activation globale de la mémoire et, par conséquent, une ressemblance entre la sonde et le contenu de la mémoire. Inversement, une intensité élevée mais négative indiquera que la sonde est très éloignée des traces mnésiques, puisqu'elle ne provoque pas de résonance. Ainsi, I peut être envisagé comme un bon indicateur de la *familiarité* d'une sonde pour le modèle. Ce paramètre semble alors pertinent pour évaluer les performances de MINERVA 2 lors d'une tâche de reconnaissance simulée (*e.g.*, Hintzman, 1988). Ici, il est à noter qu'une forte intensité de l'écho peut renvoyer à deux situations différentes : (1) une seule trace en mémoire est très similaire à la sonde ; ou (2) de nombreuses traces interagissent faiblement avec la sonde ¹⁶. En outre, une intensité égale ou très proche de

¹⁶Arndt et Hirshman (1998) rapportent, par ailleurs, que cette deuxième situation confère au modèle la capacité de simuler le phénomène de fausses reconnaissances.

« 0 » indiquera que le nombre de traces activées par la sonde est équivalent au nombre de traces inhibées.

Contenu de l'écho

Enfin, le calcul du contenu de l'écho représente la dernière étape du processus de récupération. Chaque caractéristique du vecteur écho (*i.e.*, la réponse du modèle) est alors obtenue à l'aide de l'Equation 3.4 :

$$C_j = \sum_{i=1}^m A_i \cdot T_{i,j} \quad (3.4)$$

où C_j est la caractéristique de rang j dans le vecteur écho, m est le nombre total de traces en mémoire, A_i est l'activation de la trace i et $T_{i,j}$ est la caractéristique de rang j dans la trace i . Chaque caractéristique du vecteur écho est ainsi déterminée en sommant la valeur des traits de même rang, sur toutes les traces en mémoire, chaque valeur étant pondérée par l'activation de la trace correspondante. Le vecteur écho dépend donc à la fois du contenu mais aussi de l'activation des traces. La diffusion d'activation qui en résulte au sein de la mémoire rend alors possible l'émergence, dans l'écho, de certaines propriétés qui ne sont pas initialement contenues dans la sonde¹⁷. Par ailleurs, il peut être remarqué que la procédure d'obtention de l'écho renvoie fortement à la notion de « reconstruction » du souvenir, développée par Schacter et ses collègues (1998). La Figure 3.7 illustre et résume le fonctionnement de MINERVA 2.

3.4.4 Domaines de compétence

Une des compétences majeures de MINERVA 2 est sa capacité de *généralisation* à partir d'exemplaires. Hintzman (1986) rapporte une simulation qui avait pour objectif de reproduire une tâche dite d'« abstraction de schémas ». Dans la forme classique de cette tâche (*e.g.*, Homa *et al.*, 1973), les sujets sont entraînés à classer des formes en trois catégories, ces catégories ayant une « taille » différente (*i.e.*, 3, 6 et 9 exemplaires, respectivement). En outre, dans chaque catégorie, tous les exemplaires représentent une

¹⁷Le caractère émergent de la réponse du modèle rend alors MINERVA 2 proche des conceptions connexionnistes.

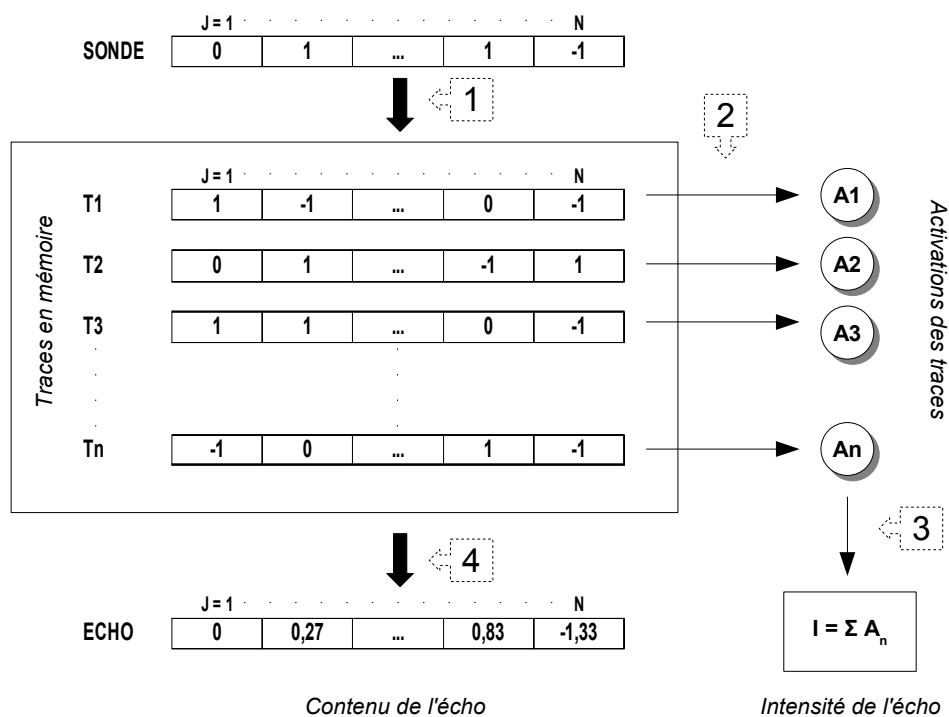


FIG. 3.7 – Représentation schématique du fonctionnement de Minerva 2. La récupération des informations en mémoire s'effectue en 4 étapes : (1) calcul de la similitude entre la sonde et chaque trace en mémoire ; (2) calcul de l'activation de chaque trace en fonction de sa similitude avec la sonde ; (3) calcul de l'intensité de l'écho ; et (4) calcul du contenu de l'écho (adapté de Hintzman, 1986).

version « distordue » d'une forme prototypique unique. Lors de l'entraînement, les sujets ne voient pas ces prototypes et ne connaissent même pas leur existence. Après la phase d'apprentissage (*i.e.*, classification correct de tous les exemplaires), les sujets sont testés sur leur habileté à classer différents types de formes, dont les trois prototypes. Classiquement, les résultats obtenus à l'aide d'une telle tâche tendent à démontrer que lorsque l'on rencontre plusieurs exemplaires issus d'une même catégorie, il se forme en mémoire une représentation prototypique et robuste de cette catégorie, ceci étant d'autant plus vrai que le nombre d'exemplaires rencontrés est grand. Par la suite, plus un nouvel exemplaire ressemblera à ce prototype, plus il sera identifié facilement, et inversement.

Afin de simuler cette tâche d'abstraction de schémas, Hintzman (1986) a utilisé des vecteurs de 23 caractéristiques. Dans ces vecteurs, les 10 premières caractéristiques figuraient leur partie « catégorie » et les 13 autres leur partie « exemplaire ». Tout d'abord, trois vecteurs prototypes ont été générés aléatoirement. Ensuite, à partir de chacun de ces prototypes, un certain nombre de vecteurs ont été dérivés (*i.e.*, 3, 6 et 9 exemplaires, respectivement) en modifiant quelques caractéristiques de la partie « exemplaire » du prototype considéré. Les vecteurs dérivés ont ensuite été encodés en mémoire et, lors de la restitution, seule la partie « catégorie » des vecteurs était présentée au modèle en tant que sonde. Concrètement, les 13 caractéristiques figurant la partie « exemplaire » étaient mises à « 0 » dans les sondes.

La Figure 3.8 représente la partie « exemplaire » de l'écho généré par le modèle après présentation d'une sonde correspondant à la partie « catégorie » d'un vecteur prototype (celui à partir duquel 9 exemplaires ont été dérivés). Les résultats indiquent que bien que les caractéristiques de l'écho soient plus faibles, le profil du vecteur écho est qualitativement très proche du vecteur prototype original. Ainsi, en ne fournissant au modèle que la partie « catégorie », MINERVA 2 est capable de (re)créer un exemplaire prototypique similaire à celui à partir duquel les vecteurs ont été dérivés. Le modèle est ainsi capable de généraliser une information à partir d'exemples.

Au-delà des compétences de généralisation, MINERVA 2 a été appliqué avec succès à des domaines aussi divers que le jugement de fréquence (Hintzman, 1988) ou le phénomène de fausses reconnaissances (Arndt et Hirshman, 1998). Par ailleurs, il semblerait que ce modèle ait un potentiel de simulation relativement important. En effet, des auteurs ont démontré que des modifications de son fonctionnement pouvait étendre ses capacités de

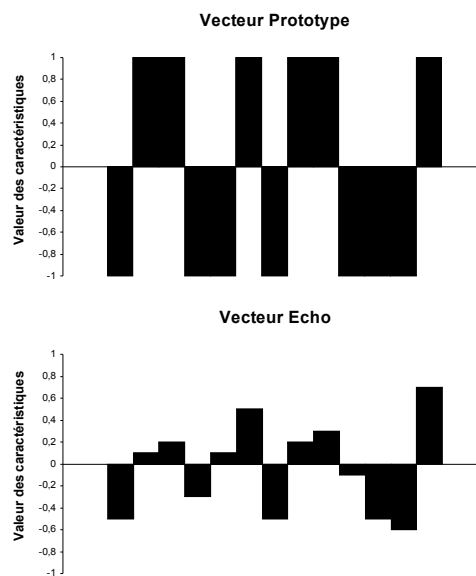


FIG. 3.8 – Le profil du haut représente la partie « exemplaire » d'un vecteur prototype à partir duquel 9 vecteurs ont été dérivés et encodés en mémoire. Le profil du bas représente la partie « exemplaire » du vecteur écho généré par le modèle lorsque seule la partie « catégorie » de ce vecteur prototype est présentée en tant que sonde.

simulation (*e.g.*, Dougherty *et al.*, 1999). Par exemple, Damas (2003) a modifié le système d'activation des traces afin de pouvoir simuler les phénomènes d'amorçage. Dans cette thèse, nous verrons comment MINERVA 2 peut être confronté au cadre des niveaux de traitement.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ La notion de *modèle* peut recouvrir plusieurs définitions, allant de celle du sens commun (*i.e.*, une référence) à un système de simulation informatique.
- ❑ Cependant, quelle que soit la définition, un modèle est toujours une *description simplifiée* de la réalité, un objet *manipulable et testable*, et une *généralisation* d'un ensemble de situations ou de phénomènes.
- ❑ Concernant la modélisation de la mémoire, trois grandes familles de modèles peuvent être distinguées : (1) les modèles *computo-symboliques* ; (2) les *réseaux de neurones artificiels* ; et (3) les modèles d'*appariement global*.
- ❑ Les modèles computo-symboliques sont constitués de modules de traitement s'échangeant de l'information. Leur particularité est de manipuler des représentations complexes, comme des mots ou des images.
- ❑ Les réseaux de neurones artificiels sont constitués, quant à eux, d'un grand nombre d'unités de traitement, massivement interconnectées et fonctionnant en parallèle. Dans ces modèles les représentations sont élémentaires mais la structure et le fonctionnement du système permettent cependant d'obtenir des profils de réponse complexes.
- ❑ Enfin, les modèles d'appariement global sont des modèles *mathématiques* de la mémoire. Ces modèles reposent sur trois principes : (1) l'information à mémoriser est représentée sous la forme de vecteurs, au sein desquels chaque caractéristique figure un trait de l'information ; (2) les traitements cognitifs impliqués dans les phases d'encodage, de stockage et de récupération des informations sont figurés par des opérations mathématiques sur les vecteurs ; et (3) l'activité mnésique repose sur un mécanisme de « fusion » des informations (*i.e.*, *appariement global*) qui opère soit à l'encodage, soit à la récupération.
- ❑ Parmi les modèles d'appariement global, les modèles CHARM et MINERVA 2 peuvent être indiqués, en tant que représentants des modèles à *trace composite* ou à *traces multiples*, respectivement.

RÉFÉRENCES CLEFS

- ❑ Corsini, M.-M. (2003). *Introduction aux réseaux de neurones*. Site Internet, URL : <http://www.sm.u-bordeaux2.fr/~corsini/Cours/mainRNA/>.
- ❑ Hintzman, D. (1986). « Schema abstraction » in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93(4) :411-428.
- ❑ Rossi, J.-P. et coll. (1999). La notion de modèle et son utilisation en psychologie, In *Les méthodes de recherche en psychologie* (pp. 264-289). Paris : Dunod.
- ❑ Tiberghien, G. (1997). Les modèles de la mémoire humaine. In *La mémoire oubliée* (pp. 123-161). Liège, Belgique : Edition Pierre Mardaga.

**INTRODUCTION AUX TRAVAUX
EMPIRIQUES**

Sommaire

- ❶ Compensation et niveaux de traitement (p. **115**)
 - ❷ Hypothèses et objectifs (p. **120**)
-

Dans le domaine de l'assistance à la mémorisation, l'objectif principal est de compenser la difficulté éprouvée par les personnes afin d'optimiser leurs performances. La compensation est alors généralement induite par l'utilisation d'aides de mémoire qui pourront être soit « externes » (*e.g.*, carnet de notes), soit « internes », c'est-à-dire facilitant les capacités cognitives des sujets (*e.g.*, aide à l'élaboration des informations) (*e.g.*, Cavanaugh *et al.*, 1983). Par ailleurs, concernant les aides de mémoire internes, il est important de les concevoir dans un cadre théorique bien identifié. En effet, l'efficacité des aides pourra ainsi être prédite et expliquée en fonction de la situation expérimentale ou écologique ¹ considérée. Sur ces bases, nous proposons d'aborder la *compensation mnésique* dans le *cadre des niveaux de traitement*, tel qu'il a été défini dans le chapitre 2 (voir § 2.4, p. 65).

Pour clôturer le cadre théorique de cette thèse, ce dernier chapitre a pour objectif de présenter quelques arguments expérimentaux appuyant ce choix. Nous exposerons également nos hypothèses de travail et nos objectifs.

4.1 Compensation et niveaux de traitement

Dans le chapitre 2, nous avons vu comment une facilitation de l'intégration sémantique des informations à l'encodage et/ou une adéquation entre les phases d'apprentissage et de test permettent d'augmenter les performances de mémoire. Puisque les processus cognitifs impliqués dans les effets de profondeur de traitement (PDT), d'élaboration et de spécificité d'encodage (ou de transfert approprié) peuvent participer à une amélioration

¹Le terme « écologique » renvoie à des situations inscrites dans la vie quotidienne des sujets, c'est-à-dire à un environnement plus naturel mais aussi plus complexe que les situations expérimentales développées en laboratoire.

des performances mnésiques, le cadre des niveaux de traitement semble alors fournir une approche intéressante pour étudier et concevoir des aides à la mémorisation.

Selon ce cadre, des performances altérées de mémoire peuvent être envisagées comme un reflet des difficultés cognitives lors des opérations d'encodage et/ou de récupération. Selon Craik (2002), une variété de caractéristiques inhérentes au sujet (*e.g.*, âge, motivation, anxiété, *etc.*), ou à la tâche considérée (*e.g.*, durée de présentation des items, organisation du matériel, consignes, *etc.*), peut être associée à une baisse des ressources de traitement, entraînant un échec de mise en jeu d'une intégration sémantique des informations à l'encodage et/ou de processus adéquats à la récupération. Cette affirmation est soutenue, par exemple, par des études concernant le vieillissement normal (*e.g.*, Craik, 1983; Craik et Simon, 1980) ou l'attention divisée (*e.g.*, Craik, 1983; Craik *et al.*, 1996). En effet, ces travaux indiquent qu'une réduction des ressources peut être compensée, du moins partiellement, en favorisant la participation des facteurs décrits dans le cadre des niveaux de traitement (*i.e.*, PDT, élaboration et spécificité d'encodage/transfert approprié). Les travaux sur le vieillissement cognitif semblent particulièrement démonstratifs.

4.1.1 Arguments issus du vieillissement cognitif

Selon l'hypothèse environnementale (*e.g.*, Craik, 1983; Craik et Jennings, 1992), les déficits liés à l'âge sont réduits lorsqu'un soutien est apporté à l'encodage comme à la récupération. L'idée principale est que le déclin des sujets âgés n'est pas lié à une perte de certaines capacités mnésiques, mais à des difficultés à engager spontanément les processus efficaces (*e.g.*, Craik, 1983; Verhaeghen et Marcoen, 1994). Ces processus deviendraient moins accessibles mais pourraient être « réactivés » par le biais de soutiens environnementaux, permettant ainsi de compenser partiellement, voire totalement, les difficultés.

Dès lors, il est possible d'obtenir des informations sur la distinction entre perturbation de la mise en jeu d'un processus ou perturbation du processus lui-même. Dans le premier cas, une aide permettra une compensation totale ou partielle et éliminera, du moins réduira, le déficit observé en l'absence de support (*i.e.*, processus *compensable*). Dans le second cas, l'aide sera inefficace (*i.e.*, processus *altéré*). Bien évidemment, le processus peut également être préservé, auquel cas le bénéfice du support sera identique pour le sujet jeune comme pour l'agé.

Bien que les résultats de la littérature concernant les effets du vieillissement soient souvent contradictoires, certaines études ont conforté l'hypothèse environnementale. Par exemple, pour certains auteurs, solliciter un traitement sémantique à l'encodage réduit le déclin des sujets âgés, observé lorsque l'encodage est plus superficiel (*e.g.*, Bäckman, 1989; Craik et Jennings, 1992; Shaw et Craik, 1989). Ici, ce profil de résultat indique une perturbation de la mise en jeu spontanée d'un traitement profond, compensée par une aide à l'encodage (*e.g.*, tâche d'orientation sémantique).

D'autres auteurs ont montré que les sujets âgés bénéficient autant (*e.g.*, Johnson *et al.*, 1989; McDaniel *et al.*, 1989), voire plus (*e.g.*, Bäckman et Mäntylä, 1988; Hashtroudi *et al.*, 1989), d'une aide à élaboration que les sujets jeunes. Ce processus serait donc préservé au cours du vieillissement.

Un résultat particulièrement intéressant est que les interactions décrites dans le cadre des niveaux de traitement (voir chapitre 2, § 2.4, p. 65) semblent largement majorées chez la personne âgée. Par exemple, il a été démontré que le déficit de mémoire des âgés était considérablement réduit lorsque les sujets produisaient le contexte d'encodage (*i.e.*, tâche de génération) et que ce contexte était restitué lors de la récupération (*e.g.*, Lipinska *et al.*, 1994; Mäntylä et Bäckman, 1990; Mäntylä et Craik, 1993). Dans ce cas, l'interaction *Elaboration* \times *Spécificité d'encodage* s'avère alors particulièrement efficace pour compenser les difficultés liées au vieillissement.

De même, plusieurs auteurs ont rapporté que la facilitation concomitante d'un traitement sémantique et élaboré (*i.e.*, interaction *PDT* \times *Elaboration*) augmentait clairement les performances des sujets les plus âgés (*e.g.*, Sharps et Antonelli, 1997; Taconnat et Isingrini, 1995).

Enfin, comme évoqué précédemment (voir chapitre 2, § 2.4.3, p. 68), un traitement élaboré et orienté sémantiquement à l'encodage associé à un rappel indicé des informations (*i.e.*, triple interaction *PDT* \times *Elaboration* \times *Spécificité d'encodage*) fournit une situation expérimentale permettant d'optimiser les performances des sujets âgés (*e.g.*, Sauzéron *et al.*, 2001; 2000). Pour illustration, Sauzéron *et al.* (2001) ont étudié les relations entre les conditions d'encodage et de récupération chez trois groupes de sujets (*i.e.*, 20-39 ans, 50-69 ans et 70-89 ans). A l'encodage, les auteurs ont utilisé des listes de paires de mots organisées en catégories (*i.e.*, matériel orienté sémantiquement) et une tâche de génération d'indice (*i.e.*, condition élaborée) ou une tâche de lecture des paires de mots (*i.e.*, condition non-

élaborée). A la récupération, des tests de rappel libre ou indicé (*i. e.*, restitution ou non du contexte d'encodage) ont été proposés aux sujets. Les résultats ont montré que l'association entre la tâche de génération et un test de rappel libre n'augmentait les performances que chez le groupe d'âge moyen. En revanche, cette même tâche de génération associée à un test de rappel indicé augmentait les performances chez les deux groupes de sujets âgés. En d'autres termes, les résultats ont indiqué que les sujets d'âge moyen bénéficiaient plus que les autres sujets de l'utilisation d'un matériel organisé et élaboré. Cependant, en plus de ces conditions d'encodage, il fallait restituer les indices générés lors de l'apprentissage pour que les sujets les plus âgés bénéficient réellement des aides. En conséquence, l'interaction $PDT \times Elaboration$ était suffisante pour améliorer les performances des sujets d'âge moyen, mais il fallait la triple interaction $PDT \times Elaboration \times Spécificité\ d'encodage$ pour obtenir le même résultat chez les plus âgés.

En outre, il est à noter que les effets compensatoires, supportés par les interactions décrites dans le cadre des niveaux de traitement, sont obtenus principalement dans des épreuves de rappel indicé mais n'apparaissent pas, ou peu, dans des épreuves plus simples, comme la reconnaissance (*e.g.*, Craik et Anderson, 1999). Ce dernier résultat suggère que, lorsque la tâche est relativement « complexe » (*e.g.*, rappel indicé), les processus d'interaction s'avèrent particulièrement efficaces pour compenser les difficultés liées au vieillissement. Par contre, lorsque la tâche est plus « simple » (*e.g.*, reconnaissance), et que le sujet n'éprouve pas de difficulté particulière, les interactions ne sont pas, ou peu, mises en jeu.

Deux conclusions peuvent être tirées des résultats présentés dans cette section. Premièrement, le déficit de mémoire bien connu chez la personne âgée peut être au moins partiellement compensé lorsque l'on facilite les processus cognitifs impliqués dans les facteurs décrits dans le cadre des niveaux de traitement (*i. e.*, PDT, élaboration, adéquation Encodage/Récupération). La potentialisation de ces processus permettant une amélioration des performances, un protocole expérimental ou écologique offrant un support à une telle potentialisation pourra alors être considéré comme une aide à la mémorisation. Deuxièmement, plus les sujets sont âgés, plus ils semblent avoir besoin d'une quantité d'aide importante pour améliorer, voire maintenir, leurs performances. Dans le cadre des niveaux de traitement, ceci implique que plus un sujet a des capacités de mémoire déficientes (ou plus la tâche considérée est difficile), plus la compensation mnésique dépendra

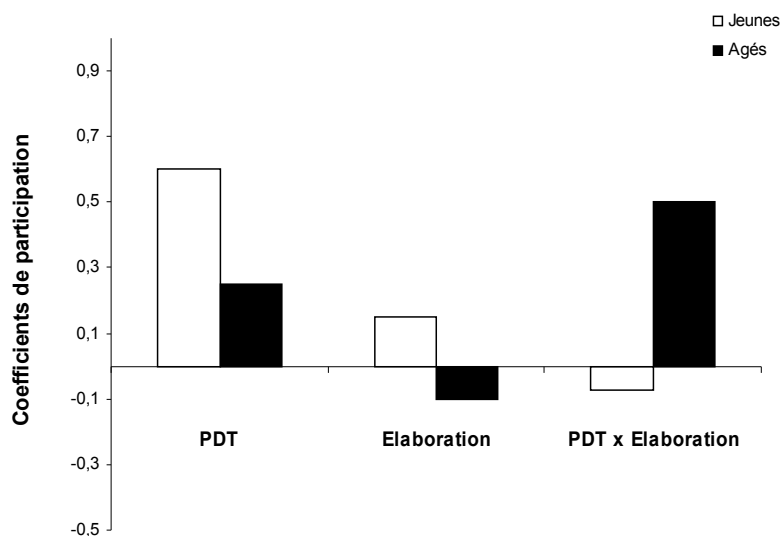


FIG. 4.1 – Représentation des coefficients associés à la profondeur de traitement (*PDT*), à l’élaboration et à leur interaction, obtenus à l’aide de régression multiples, chez des sujets jeunes et âgés (d’après N’Kaoua, 2003).

des interactions entre les aides favorisant les traitements sémantiques, l’élaboration des informations ou l’adéquation Encodage/Récupération, et non plus de l’implication isolée de l’une de ces aides. Par ailleurs, cette dernière suggestion a été confortée par les travaux de N’Kaoua *et al.* (2005).

4.1.2 Des interactions comme support de la compensation

N’Kaoua *et al.* (2005) ont étudié l’influence respective de la *PDT*, de l’élaboration et de leur interaction sur les performances de mémoire de sujets jeunes et âgés. Précisément, l’utilisation de méthodes de régressions multiples a permis d’obtenir un coefficient de participation de chacune des composantes impliquées dans la performance globale. Ensuite, ces coefficients ont été comparés entre les deux groupes de sujets.

La Figure 4.1 représente les coefficients associés à la *PDT*, à l’élaboration et à leur interaction chez des sujets jeunes et âgés. Comme nous pouvons le voir sur cette figure, les coefficients de participation de la *PDT* et de l’élaboration sont plus faibles chez les sujets âgés que chez les jeunes. Ce résultat suggère que les processus cognitifs concernés ont une implication plus faible dans les performances des âgés que des jeunes. En revanche, le coefficient de participation associé à l’interaction $PDT \times Elaboration$ est largement

majoré chez les sujets âgés par rapport aux jeunes. Ce résultat suggère alors que les processus d'interaction entre la PDT et l'élaboration sont plus fortement impliqués dans les performances de mémoire des âgés que des jeunes. Ainsi, bien que la facilitation d'un traitement profond ou élaboré, considérées séparément, ne soit pas réellement profitable aux sujets âgés, la mise en jeu simultanée des processus impliqués dans ces aides offre, en contraste, un soutien cognitif remarquable.

Ces résultats sont interprétés par les auteurs dans le cadre du modèle de compensation de Salthouse (*e.g.*, 1995)². Dans son modèle, Salthouse propose de décomposer la performance globale obtenue sur une tâche cognitive (*i.e.*, ce qu'il appelle la *performance molaire*) par rapport à la participation des différents processus impliqués (*i.e.*, ce qu'il appelle les *processus moléculaires*). D'après ce modèle, si un processus est déficitaire, il y aura une baisse du coefficient qui lui est associé et il participera moins dans la tâche considérée. Dans ce cas, la performance molaire va diminuer. Il y aura alors compensation si au moins un des coefficients associés aux autres processus augmente. Ce rééquilibrage aura pour effet de diminuer le déficit, voire de maintenir la performance globale sur la tâche, d'où le phénomène observable de compensation.

Dans ce cadre, et par rapport à leurs résultats, N'Kaoua *et al.* (2005) ont proposé que la baisse d'implication spontanée de la PDT et de l'élaboration, chez le sujet âgé, a été compensée par une implication plus importante des processus d'interaction entre ces facteurs. Ainsi, faciliter simultanément un traitement sémantique et élaboré à l'encodage a permis aux sujets âgés de pallier la baisse d'efficacité de leurs processus de traitement.

4.2 Hypothèses et objectifs

Sur les bases des travaux de Sauzéon *et al.* (2001) et de N'Kaoua *et al.* (2005), nous avons émis deux hypothèses générales :

1. Dans le cadre des niveaux de traitement, plus les sujets âgés ont des difficultés à effectuer une tâche de mémoire, plus les performances seront dépendantes des interactions entre les aides favorisant les traitements sémantiques, l'élaboration des informations et l'adéquation Encodage/Récupération ;

² Ce modèle se formalise par l'équation suivante : $Y = a_1.X_1 + a_2.X_2 + a_3.X_3 + \dots + a_n.X_n$, où Y est la performance molaire (*i.e.*, performance globale sur la tâche), X_n est le n^{ieme} processus moléculaire intervenant dans la tâche et a_n est le coefficient de participation du n^{ieme} processus.

2. Des résultats similaires à ceux observés chez le sujet âgé, c'est-à-dire dans le cadre d'une diminution des ressources cognitives, devraient être obtenus en augmentant la difficulté de la tâche, chez le sujet jeune.

Afin de vérifier ces hypothèses, nous présenterons quatre expériences de mémoire et plusieurs séries de simulations informatiques. Les objectifs principaux étaient les suivants :

1. *Reproduire expérimentalement* et, ainsi, conforter les résultats de N'Kaoua *et al.* (2005) dans le cadre du vieillissement normal ;
2. *Simuler ces résultats* à l'aide du modèle mathématique de mémoire MINERVA 2, afin de disposer d'un cadre d'analyse formel des résultats expérimentaux ;
3. S'appuyer sur l'expérimentation et la simulation afin de *poser les bases* d'un modèle de la compensation mnésique, centré sur les phénomènes d'interaction entre processus dans le cadre des niveaux de traitement ;
4. *Compléter* ce modèle en conduisant des expériences chez le sujet jeune et en simulant les résultats ;

De l'ensemble des résultats qui seront obtenus, par rapport à ces hypothèses et objectifs, nous tenterons de proposer un modèle général de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement. Après avoir défini les bases théoriques de nos recherches, la partie suivante (*i.e.*, « *Expérimentations & Modélisation* ») sera dédiée à la présentation des travaux empiriques effectués.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Les travaux de Sauzéon *et al.* (2001) ont indiqué que plus les sujets sont âgés, plus ils ont besoin d'une quantité d'aide importante pour améliorer, voire maintenir, leurs performances. Dans le cadre des niveaux de traitement, ceci implique que plus un sujet a des capacités de mémoire déficientes (ou plus la tâche considérée est difficile), plus la compensation mnésique dépendra des interactions entre les aides favorisant les traitements sémantiques, l'élaboration des informations et l'adéquation Encodage/Récupération.
- ❑ N'Kaoua *et al.* (2005) ont par ailleurs confirmé cette suggestion et ont proposé que la baisse d'implication spontanée de la profondeur de traitement et de l'élaboration, chez le sujet âgé, peut être compensée par une implication plus importante de leur interaction.
- ❑ Par rapport à ces études, nous avons émis deux hypothèses générales : (1) Dans le cadre des niveaux de traitement, plus un sujet possède une déficience de mémoire ou plus la tâche de mémorisation est difficile, plus les performances seront dépendantes des interactions entre les aides favorisant les traitements sémantiques, l'élaboration des informations et l'adéquation Encodage/Récupération ; et (2) Des résultats similaires à ceux observés chez le sujet âgé, c'est-à-dire dans le cadre d'une diminution des ressources cognitives, devraient être obtenus en augmentant la difficulté de la tâche, chez le sujet jeune.
- ❑ Dans ce cadre, nos objectifs étaient alors les suivants : (1) *Reproduire expérimentalement* et, ainsi, conforter les résultats de N'Kaoua *et al.* (2005) dans le cadre du vieillissement normal ; (2) *Simuler ces résultats* à l'aide du modèle mathématique de mémoire MINERVA 2, afin de disposer d'un cadre d'analyse formel des résultats expérimentaux ; (3) S'appuyer sur l'expérimentation et la simulation afin de *poser les bases* d'un modèle de la compensation mnésique, centré sur les phénomènes d'interaction dans le cadre des niveaux de traitement ; (4) *Compléter* ce modèle en conduisant des expériences chez le sujet jeune et en simulant les résultats ; et (5) *Proposer un modèle* de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement.

RÉFÉRENCES CLEFS

- ❑ N'Kaoua, B., Sauzéon, H., Corsini, M.-M. et Claverie, B. (accepté en 2005). Age-related differences according to the LOP framework and the Salthouse's compensation model : An application of formal CHARM associative memory model. *Experimental Aging Research*.
- ❑ Sauzéon, H., N'Kaoua, B. et Claverie, B. (2001). The effect of self-generated category cues on organizational processing in the recall performance of young, middle-old and old adults. *Current Psychology Letters : Behavior, Brain & Cognition*, 5, 65-78.

Deuxième partie

Expérimentations & Modélisation

MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Sommaire

- ❶ Expérimentations (p. **127**)
 - ❷ Modélisation et simulations (p. **133**)
-

L'objectif de ce chapitre est de proposer une présentation générale du matériel et des méthodes que nous avons utilisés, aussi bien dans le cadre des expérimentations que des simulations.

5.1 Expérimentations

Au cours de cette thèse, quatre expériences de mémoire ont été menées. Il est alors à noter que la description du matériel et des méthodes expérimentales faite dans cette section concerne particulièrement les expériences du chapitre 7 (p. 181), bien que l'expérience décrite dans le chapitre 6 (p. 141) soit globalement très similaire.

5.1.1 Matériel expérimental

Le matériel expérimental utilisé était des *listes de paires de mots*. Précisément, 8 listes de 21 paires de mots chacune ont été employées. Au sein de chaque paire, le premier mot était considéré comme le mot « cible », c'est-à-dire le mot sur lequel porterait les tests de mémoire. Le deuxième mot était considéré, quant à lui, comme le contexte d'encodage et avait pour vocation d'être restitué lors des tests de rappel indicé.

5.1.2 Manipulations dans le cadre des niveaux de traitement

La profondeur de traitement (PDT) a été manipulée en utilisant des *listes d'orientation de traitement* (voir chapitre 2, § 2.2.1, p. 52) (*e.g.*, Fisher et Craik, 1977). Ainsi, des listes de paires de mots liés sémantiquement (*e.g.*, MARTEAU - OUTIL) ou phonétiquement (*e.g.*, BEURRE - HEURE) ont été construites (voir en Annexe, p. 329 et p. 331). Dans ce cadre, les listes sémantiques favorisant un traitement plus profond de l'information,

il était attendu de meilleures performances de mémoire sur ce type de listes que sur les listes phonétiques. Les listes sémantiques ont été directement tirées de la norme française d'association verbale de Ferrand et Alario (1998). Les listes phonétiques ont quand à elles étaient construites à partir d'une « norme » d'association phonétique que nous avons établie dans une étude préalable. Pour ce faire, nous avons demandé à 40 sujets de générer 10 associés phonétiques (*i.e.*, 10 mots qui riment) pour chacun des 160 mots cibles présentés. Les associés produits ont ensuite été classés en fonction de leur fréquence de production et nous en avons déduit la force d'association des mots produits par rapport à chaque mot cible.

Afin de manipuler le niveau d'élaboration à l'encodage, nous avons utilisé une *tâche d'inversion de lettres* (voir chapitre 2, § 2.2.2, p. 58) (*e.g.*, Nairne et Widner, 1987). Ainsi, les sujets étaient confrontés à deux conditions de présentation des listes : (1) une condition non-élaborée où les paires de mots étaient présentées normalement (*e.g.*, MARTEAU - OUTIL ou BEURRE - HEURE); et (2) une condition élaborée dans laquelle les deux premières lettres des mots cibles étaient inversées (*e.g.*, AMRTEAU - OUTIL ou EBURRE - HEURE). Dans cette deuxième condition, les sujets devaient alors reconstruire mentalement les mots cibles à mémoriser. En conséquence, l'information était supposée plus élaborée en mémoire que dans la condition simple de lecture.

Enfin, la spécificité d'encodage (voir chapitre 2, § 2.3.1, p. 62) (Tulving et Thomson, 1973) a été manipulée en utilisant *différentes tâches de récupération* : tests de (1) rappel libre; de (2) rappel indicé; et de (3) reconnaissance. Ces trois tâches restituent une quantité croissante d'informations mémorisées lors de la phase d'apprentissage. En effet, lors du rappel libre, aucune information contextuelle n'est fournie aux sujets. En revanche, le rappel indicé implique la restitution du contexte associé aux mots cibles (*i.e.*, le deuxième mot de chaque paire) et la tâche de reconnaissance réinstalle littéralement les caractéristiques cibles recherchées (*i.e.*, le mot cible). En considérant l'adéquation entre encodage et récupération, le rappel libre et la reconnaissance fournissent, respectivement, une adéquation minimale et optimale entre les phases d'apprentissage et de test. La tâche de rappel indicé fournit quand à elle une adéquation intermédiaire. La Figure 5.1 résume et illustre les manipulations effectuées dans le cadre des niveaux de traitement.

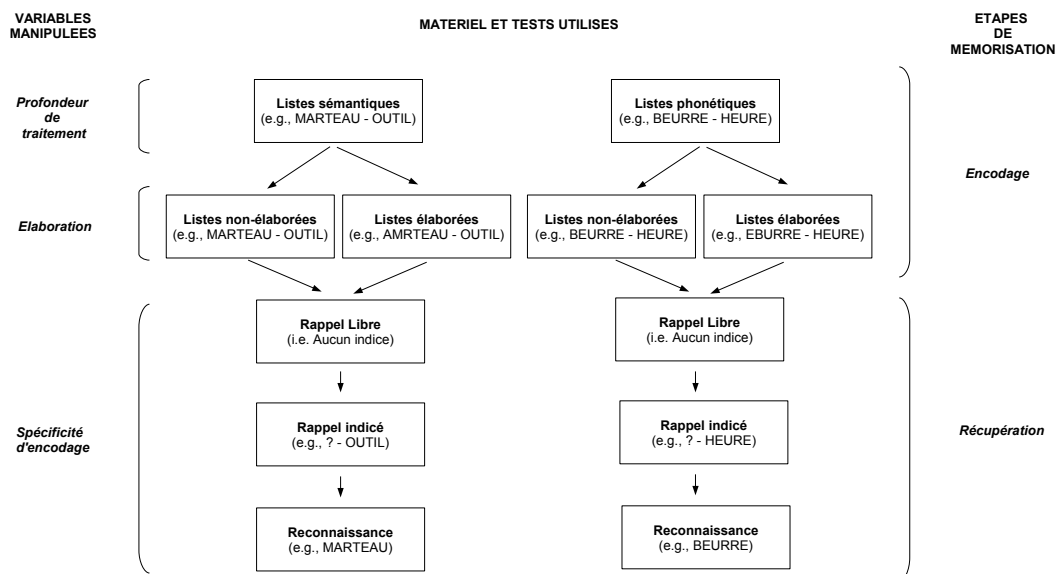


FIG. 5.1 – Illustration des manipulations expérimentales effectuées dans le cadre des niveaux de traitement.

5.1.3 Procédure expérimentale

Le principe général de nos expérimentations était de confronter des sujets à une tâche de mémorisation, en faisant varier la difficulté de la tâche ¹.

Pour ce faire, chaque sujet a été testé individuellement et a été soumis à 8 « blocs » Apprentissage/Test au cours de l'expérience à laquelle il participait. Sur ces 8 blocs, 4 étaient dédiés à une condition dite « facile » (*i.e.*, durée de présentation de 3 secondes, ou matériel organisé en catégories, ou consigne de récupération laxiste) et les 4 autres à une condition dite « difficile » (*i.e.*, respectivement, durée de présentation de 2 secondes, ou matériel non-organisé, ou consigne de récupération rigoureuse). Au sein de ces conditions de difficulté, chacun des 4 blocs correspondait à une des 4 listes d'apprentissage possibles, c'est-à-dire « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée ». Lors de chaque expérience, toutes ces conditions ont été contrebalancées entre les sujets. En outre, sur l'ensemble des participants, chaque liste d'apprentissage a été présentée autant de fois en version élaborée que non-élaborée.

¹Il est à noter que cette démarche n'est vraie que pour les expériences présentées au chapitre 7 (voir p. 181). En effet, dans l'expérience décrite au chapitre 6 (voir § 6.2, p.145), la difficulté de la tâche n'a pas été manipulée *stricto sensu*, mais le facteur de difficulté était inhérent aux sujets et correspondait au facteur « Age ».

Au début des expériences, chaque sujet était informé qu'il devrait tenter de mémoriser des listes de paires de mots et qu'il serait testé en suivant, sans délai de rétention, sur sa mémorisation. Les sujets étaient également informés que les premiers et les deuxièmes mots de chaque paire étaient, respectivement, les mots cibles et indices. L'attention du sujet était alors portée sur le fait que les tests de mémoire ne concerneraient que la récupération des mots cibles, mais que les indices ne devaient pas être négligés à cause des tâches de rappel indicé. Enfin, les sujets étaient avertis que deux conditions de difficulté différente leurs seraient proposées.

Toutes les expériences ont été informatisées et implémentées à l'aide du logiciel *Psy-Scope* (Cohen *et al.*, 1993) sur un ordinateur portable de type Macintosh (PowerBook 3400 Series). Lors de chaque bloc Apprentissage/Test, la séquence suivante était imposée aux sujets : (1) message d'avertissement ; (2) apprentissage d'une liste de paires de mots ; (3) tâche de rappel libre ; (4) tâche de rappel indicé ; et (5) tâche de reconnaissance. Au début des blocs, afin d'éviter un effet de surprise, le message d'avertissement avait pour vocation d'informer les sujets sur le type de listes qu'ils allaient apprendre (*i.e.*, phonétique ou sémantique) et sur le type de présentation (*i.e.*, présentation normale ou avec des lettres inversées). Concernant la phase de test, la tâche de rappel libre était limitée à une minute au cours de laquelle les sujets devaient restituer le plus possible de premiers mots contenus dans la liste dernièrement apprise. Lors de la tâche de rappel indicé, les deuxièmes mots de chaque paire étaient à nouveau présentés aux sujets qui avaient alors 3 secondes pour produire les mots cibles correspondant (*i.e.*, les premiers mots de chaque paire). Lors de ces tâches de rappel (libre et indicé), l'expérimentateur notait manuellement les réponses des sujets sur un formulaire expérimental dédié. En revanche, la tâche de reconnaissance était entièrement informatisée². Lors de cette tâche, les participants devaient répondre par « OUI » ou par « NON », en appuyant sur une touche du clavier, s'ils pensaient reconnaître le mot qui leur était présenté. Précisément, les touches « Q » et « M » ont été employées, ces touches correspondant alternativement, pour un sujet sur deux, à la réponse « OUI » ou à la réponse « NON ». Les réponses manuelles des sujets étaient ainsi contrebalancées. Les listes utilisées pour les tâches de reconnaissance étaient constituées des 21 mots cibles de chaque liste dernièrement apprise et d'autant de mots

²A nouveau, il convient de préciser que la tâche de reconnaissance n'a été utilisée que dans les expériences décrites au chapitre 7 (voir p. 181) et non dans celle du chapitre 6 (voir § 6.2, p. 145).

« distracteurs » (*i.e.*, des mots qui ne faisaient partie d'aucune liste d'apprentissage). Par ailleurs, ces distracteurs étaient tirés aléatoirement à partir d'un lexique de 200 mots constitué à l'aide de la norme française *Brulex* (Content *et al.*, 1990). Les distracteurs ont été sélectionnés au sein de cette norme en respectant le critère de *fréquence d'utilisation* par rapport aux mots des listes d'apprentissage. Bien entendu, les mots distracteurs étaient différents pour chaque liste de reconnaissance.

Concernant le paramétrage, la durée de présentation des paires de mots était généralement de 3 secondes, avec un délai inter-item de 1 seconde³. Lors de chaque expérience, l'ordre de présentation des paires de mots était aléatoire au sein des listes. En outre, les mots étaient écrits en lettres noires majuscules et les paires étaient présentées sur un fond blanc au centre de l'écran.

Les résultats expérimentaux ont été analysés en fonction du nombre de mots cibles correctement restitués lors des phases de test. Par ailleurs, concernant la reconnaissance, les performances de mémoire ont été exprimées en fonction d'un score corrigé, calculé en soustrayant le nombre de mots distracteurs considérés comme reconnus au nombre de mots cibles correctement reconnus (*e.g.*, Budson *et al.*, 2001; Israel et Schacter, 1997). Ce score de reconnaissance avait pour but de corriger les performances par rapport au niveau de base des fausses reconnaissances.

En outre, en accord avec les suggestions de Bäckman et Dixon (1992, p.277), un questionnaire d'« évaluation subjective » était donné aux sujets à la fin de chaque expérience, afin de recueillir leurs impressions sur la difficulté de la tâche (voir en Annexe, p. 333). Dans ces questionnaires, il était notamment demandé aux sujets si la condition dite « difficile » leur avait paru vraiment plus dure que la condition dite « facile ». Il était également demandé si des stratégies de mémorisation avaient été spontanément employées.

5.1.4 Contrôles effectués

Concernant l'approche expérimentale, deux types de contrôle ont été effectués : (1) sur le matériel et (2) sur les sujets.

³Ce paramétrage a été utilisé lors de trois de nos expériences (*i.e.*, l'expérience présentée au chapitre 6, p. 145, et les expériences 2 et 3 du chapitre 7, p. 188 et p. 193), la quatrième concernant justement la manipulation expérimentale de la durée de présentation des stimuli (voir chapitre 7, § 7.1, p. 184).

CONTRÔLE DU MATÉRIEL

Chaque liste a été particulièrement contrôlée sur la *fréquence d'utilisation* des mots et sur la *force d'association* entre les mots cibles et indices.

La fréquence d'utilisation a été contrôlée à l'aide de la norme *Brulex* (Content *et al.*, 1990) et une analyse statistique n'a révélée aucune différence entre les listes d'apprentissage sur ce critère ($F(1,7) = 0.207$; $p > .813$).

Concernant la force d'association entre les mots cibles et indices, les listes sémantiques et phonétiques ont été contrôlées, respectivement, à l'aide de la norme française d'association verbale de Ferrand et Alario (1998) et de notre base de données sur les associations phonétiques. Précisément, nous avons généralement choisi comme indice le *troisième associé* à chaque mot cible. Cependant, en fonction du nombre d'associés disponibles et de leur fréquence d'utilisation, nous avons parfois utilisé le deuxième ou le quatrième associé. Malgré ces variations, une analyse statistique a confirmé qu'aucune différence significative n'était observable entre les listes d'apprentissage sur le critère de force d'association ($F(1,7) = 0.382$; $p > .683$).

Enfin, l'expérimentateur a veillé à ce que les critères de « *concrétude* » (*i.e.*, le caractère concret ou abstrait des mots : *e.g.*, TABLE *vs.* AMOUR) et d'« *émotionnalité* » (*i.e.*, la connotation émotionnelle des mots : *e.g.*, CHAISE *vs.* MEURTRE) soient pris en compte. Ainsi, bien que ces critères n'aient pas été strictement contrôlés à l'aide de normes, l'expérimentateur n'a sélectionné que des mots concrets et sans connotation émotionnelle.

CONTRÔLE DES SUJETS

A la fin de chaque expérience, les sujets devaient passer 4 tests qui nous ont permis d'évaluer leurs capacités de mémoire à court terme et leur vitesse de traitement, mais aussi leurs niveaux attentionnel et linguistique.

Afin d'évaluer les capacités de mémoire à court terme, nous avons utilisé une *mesure d'empan*⁴, directe et inverse, à l'aide du sous-test de la batterie d'évaluation WMS-III (Wechsler Memory Scale-III, Wechsler, 2001), dédié à cet effet.

Les capacités de vitesse de traitement ont été évaluées, quant à elles, à l'aide du *sous-test des codes* de la batterie d'évaluation WAIS-III (Wechsler Adult Intelligence Scale-III, Wechsler, 1997).

Enfin, les niveaux attentionnel et linguistique des sujets ont été évalués, respectivement, à l'aide d'un *test de barrage de chiffres* proposé par Spinnler et Tognoni (1987) et un *test de vocabulaire* issu de Deltour (1993).

Pour chacun de ces tests, nous avons fixé comme seuil de rejet deux écart-types autour de la norme. Ainsi, si un sujet fournissait une performance supérieure ou inférieure à deux écart-types, par rapport à la norme du test considéré, nous l'excluons de l'expérience concernant l'analyse des résultats. En l'occurrence, aucun sujet n'a été exclu de nos expérimentations d'après ces tests.

5.2 Modélisation et simulations informatiques

Toutes les expérimentations menées au cours de cette thèse ont également été simulées. Les simulations ont été conduites à l'aide d'une implémentation du modèle MINERVA 2 réalisée dans le langage informatique *Java*. Similairement aux expériences, toutes les simulations ont été effectuées en fonction de certains choix généraux de modélisation, en suivant une procédure commune et en utilisant les mêmes techniques d'analyse des résultats.

5.2.1 Implémentation du cadre des niveaux de traitement

Sur les bases du travail de Hintzman (1988, p. 534), la PDT a été implémentée dans MINERVA 2 par le *nombre de caractéristiques non-nulles* dans les vecteurs. Plus le nombre de caractéristiques non-nulles était élevé, plus l'information était considérée comme orientée

⁴L'empan est le nombre d'items pouvant être gardé en mémoire à court terme. La mesure de l'empan se fait classiquement en demandant au sujet de répéter des séries d'items (généralement des chiffres) de difficulté croissante (*e.g.*, séries de 3 à 9 chiffres). La mesure est directe si l'expérimentateur demande au sujet de répéter chaque série dans l'ordre de lecture (*i.e.*, du premier au dernier item), elle est inverse si le sujet doit répéter les séries du dernier au premier item.

sémantiquement. En effet, une valeur nulle n'est pas porteuse de « sens » dans le modèle, puisqu'elle n'entraîne ni excitation, ni inhibition, des traces en mémoire (voir chapitre 3, Equation 3.1, p. 105). En conséquence, moins il y a de caractéristiques nulles dans les vecteurs, plus l'information peut être considérée comme « signifiante » pour le modèle. Ainsi, la proportion de caractéristiques non-nulles était généralement fixée à 90% pour figurer des vecteurs « sémantiques » et à 80% pour figurer des vecteurs « phonétiques »⁵. Les vecteurs phonétiques possédaient alors une proportion de « 0 » supérieure à celle des vecteurs sémantiques.

Concernant l'élaboration, nous avons utilisé la même implémentation que celle proposée par Metcalfe Eich (1985) et par N'Kaoua *et al.* (*e.g.*, 2003), dans le modèle CHARM. L'élaboration a ainsi été manipulée dans MINERVA 2 à l'aide de *la dimension des vecteurs*, c'est-à-dire du nombre total de caractéristiques. Précisément, plus un vecteur possédait un grand nombre de caractéristiques, plus l'information était considérée comme élaborée. En effet, comme nous l'avons vu au chapitre 2 (voir § 2.2.2, p. 55), l'élaboration peut être considérée comme une extension du traitement ou comme un enrichissement de l'information dans un domaine de traitement donné. Au sein de MINERVA 2, un vecteur possédant un petit nombre de caractéristiques peut alors figurer un item faiblement élaboré puisqu'il contient peu d'information, contrairement à un vecteur plus grand. Ainsi, des vecteurs de 40 ou 80 caractéristiques⁶ ont généralement été utilisés pour représenter des stimuli non-élaborés ou élaborés, respectivement.

Concernant l'étape de récupération, la spécificité d'encodage a été implémentée à l'aide de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes (*i.e.*, les indices de récupération) et les vecteurs cibles (*i.e.*, les vecteurs mémorisés). Dans ce cadre, plus cette proportion était élevée, plus une bonne adéquation entre les conditions d'encodage et de récupération était considérée. Par ailleurs, il est à noter que la tâche de rappel libre

⁵Cette variation de 10% peut paraître faible mais elle est suffisante pour marquer la différence de niveau de traitement car, comme le souligne Hintzman (1986, p. 415), un changement de 50% des caractéristiques rend deux vecteurs orthogonaux, c'est-à-dire complètement différents.

⁶A l'opposé de la manipulation de la PDT, cette variation peut paraître forte entre les deux niveaux d'élaboration. Cependant, une série de simulations préalables nous a indiqué que la dimension des vecteurs est une variable peu sensible dans le modèle. Afin d'observer des différences notables, il faut ainsi faire varier grandement la dimension.

ne peut pas être simulée dans MINERVA 2⁷, puisque le modèle nécessite un indice de récupération en entrée (*i.e.*, un vecteur sonde). Ainsi, seules les tâches de rappel indicé et de reconnaissance ont été implémentées dans le modèle. Précisément, nous avons utilisé deux indicateurs de réponse différents pour évaluer le rappel ou la reconnaissance d'un item. Comme nous l'avons vu au chapitre 3 (§ 3.4.3, p. 104), lors de la récupération des informations, la réponse du modèle est issue d'un « écho » en mémoire qui se caractérise de deux façons : par (1) son intensité (voir Equation 3.3, p. 106) et par (2) son contenu (voir Equation 3.4, p. 107).

L'intensité de l'écho reflète la familiarité d'une sonde pour le modèle (Hintzman, 1988, p. 530) et cet indicateur est en conséquence classiquement utilisé pour modéliser la reconnaissance (*e.g.*, Arndt et Hirshman, 1998). Ainsi, lors des tests de reconnaissance, les vecteurs mémorisés étaient présentés à nouveau au modèle (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles) et, conformément à la littérature, nous avons analysé les valeurs de *intensité de l'écho* pour évaluer les performances de récupération.

Le contenu de l'écho est quant à lui un vecteur qui est généré par le modèle en réponse à une sonde. Le vecteur écho peut alors être considéré comme l'item récupéré en fonction de l'indice fourni. Ainsi, lors des tests de rappel indicé, les vecteurs mémorisés étaient présentés à nouveau au modèle en modifiant 25% de leurs caractéristiques (*i.e.*, 75% de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles). Précisément, les caractéristiques modifiées étaient mises à « 0 ». Ensuite, les performances de récupération du modèle étaient analysées en comparant le *contenu de l'écho* et le contenu de la sonde donnée en entrée (voir paragraphe suivant).

5.2.2 Procédure générale de simulation

Au début de chaque simulation, une liste de 21 vecteurs était générée afin de figurer une liste de 21 paires de mots. Durant la procédure de génération, la valeur « +1 », « 0 » ou « -1 » était attribuée aléatoirement à chaque caractéristique d'un vecteur, conduisant ainsi à une quantité équivalente (*i.e.*, $P\{+1\} = P\{-1\} = \frac{1}{3}$) de caractéristiques « activées » ou « inhibées ». En outre, la dimension des vecteurs était déterminée en

⁷Du moins pas dans la version originale du modèle (Hintzman, 1984). Voir Damas (2003) pour une modification de MINERVA 2 permettant de simuler le rappel libre.

fonction de la condition d'élaboration simulée, c'est-à-dire 40 ou 80 caractéristiques pour une condition non-élaborée ou élaborée, respectivement.

Une fois la liste de vecteurs générée, ces vecteurs étaient « mémorisés » par le modèle en fonction de la condition de PDT considérée et du coefficient d'apprentissage. Ainsi, les vecteurs étaient recopiés en mémoire en remplaçant 10 ou 20% de leurs valeurs par des « 0 », pour figurer, respectivement, une liste sémantique ou phonétique. Lors de la mémorisation, le coefficient d'apprentissage du modèle n'a généralement pas été manipulé et était fixé à 1⁸. En d'autres termes, la probabilité était nulle que chaque « +1 » ou « -1 » copié en mémoire devienne un « 0 ».

Concernant la phase de récupération, chaque vecteur mémorisé par le modèle lui était à nouveau présenté en tant que sonde. Comme mentionné dans le paragraphe précédent, lors des tests de rappel indicé, seulement 75% des caractéristiques étaient communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles et la performance du modèle en récupération était évaluée en fonction du contenu de l'écho. Précisément, nous avons utilisé un calcul de *distance* entre les sondes et les vecteurs écho. Le calcul de distance était le suivant :

$$D = \left(\sum_{j=1}^n |P_j - E_j| \right) / n$$

où, D représente la distance calculée entre une sonde et le vecteur écho correspondant, j est l'index de la caractéristique considérée, n est la dimension des vecteurs, P_j est la valeur de la caractéristique j dans la sonde et E_j est la valeur de la caractéristique j dans le vecteur écho. Ainsi, la distance calculée représente la différence « absolue » entre une sonde et le vecteur écho qu'elle provoque en mémoire. Plus cette distance est grande, plus les deux vecteurs sont différents et, donc, plus la récupération est erronée. De fait, une bonne performance en rappel indicé est indiquée par de faibles valeurs de distance Sonde/Echo dans le modèle. En outre, lors des simulations, la moyenne des distances servait de *seuil de récupération*. Si la distance calculée était inférieure à la distance moyenne alors le vecteur écho était considéré comme un item correctement rappelé. Dans le cas contraire, un échec de récupération était pris en compte. Un *pourcentage de rappel* correct était alors calculé, sur l'ensemble des sondes et des sujets, pour chaque condition expérimentale simulée.

⁸Le coefficient d'apprentissage n'a été manipulé que dans la première expérience décrite au chapitre 7 (voir § 7.1, p. 184), où la manipulation de ce coefficient nous a permis de simuler des durées de présentation différentes.

Contrairement au rappel indicé, lors des tests de reconnaissance, les vecteurs sondes étaient identiques aux vecteurs cibles (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes) et les performances du modèle étaient évaluées en fonction de l'intensité de l'écho. Comme pour la distance Sonde/Echo, la moyenne des intensités était calculée et servait de seuil de reconnaissance. Dans le cas de l'intensité de l'écho, une bonne performance en reconnaissance est figurée par des valeurs élevées de cet indicateur dans le modèle. De fait, une sonde provoquant une valeur d'intensité de l'écho supérieure à la moyenne des intensités était considérée comme correctement reconnu par le modèle. Au contraire, si l'intensité de l'écho était inférieure à la moyenne, un échec de récupération était pris en compte. Comme pour le rappel indicé, un *pourcentage de reconnaissance* correct était calculé, sur l'ensemble des sondes et des sujets, pour chaque condition expérimentale simulée.

La procédure générale de simulation qui vient d'être décrite représente l'apprentissage d'une liste de paires de mots, par un « sujet » simulé, dans une des conditions expérimentales possibles (*i.e.*, « phonétique non-élaborée » ou « phonétique élaborée » ou « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée »). Pour chacune de ces conditions, 100 sujets ont été simulés.

5.2.3 Analyse et présentation des résultats

Dans les chapitres suivants, tous les résultats de nos simulations seront analysés et présentés de deux façons : (1) soit en termes *numériques* ; soit (2) en termes *graphiques*.

RÉSULTATS NUMÉRIQUES

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent, les performances de mémorisation de MINERVA 2 ont été analysées en utilisant deux indicateurs différents, que sont l'intensité de l'écho (référant à une valeur de familiarité) et la distance Sonde/Echo (référant à la comparaison entre l'indice de récupération fourni au modèle et sa réponse). Par rapport à ces indicateurs, les résultats seront présentés soit par rapport aux valeurs « brutes » de ces indicateurs, soit en termes de pourcentage de rappel ou de reconnaissance déterminés en utilisant la moyenne des indicateurs, comme seuil de réponse.

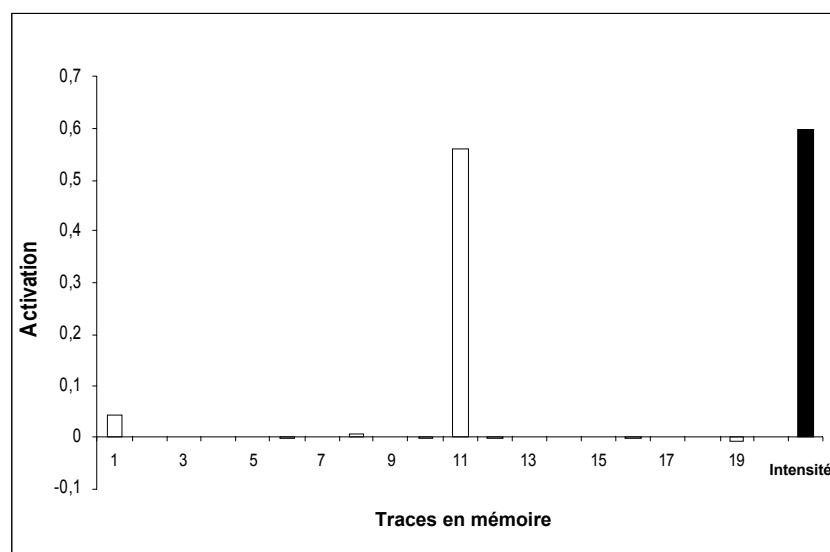


FIG. 5.2 – Exemple d'un profil d'activation dans *Minerva 2*.

RÉSULTATS GRAPHIQUES

Un des intérêts majeurs de MINERVA 2 est que, étant un modèle à traces multiples, l'analyse des traces mnésiques permet de comprendre l'effet des variables manipulées. En effet, dans le modèle, l'indicateur clef est la valeur d'*activation* des traces en mémoire. Plus une sonde ressemble à une trace, plus cette trace est activée. L'intensité et le contenu de l'écho étant tous deux fortement dépendants de l'activation des traces (voir Equations 3.3 et 3.4, p. 106 et p. 107, respectivement), les performances du modèle reposent donc essentiellement sur la façon dont sont activées les traces en mémoire.

Afin de mieux comprendre l'effet des variables manipulées sur les performances de MINERVA 2, nous avons choisi de représenter la mémoire du modèle sous forme de *profils d'activation*. Comme illustré sur la Figure 5.2, un profil se compose de la valeur d'activation de toutes les traces en mémoire (*i.e.*, dans l'exemple, 20 traces). En outre, nous avons également représenté la valeur de l'intensité de l'écho, provoquée par la sonde considérée (*i.e.*, ici, le vecteur n°11), figurée par le dernier histogramme (*i.e.*, histogramme noir). Le profil d'activation illustré en Figure 5.2 est typique d'une bonne reconnaissance d'une sonde par le modèle, après un encodage parfait, ou presque, de l'item correspondant. En effet, si un vecteur n'est pas, ou peu, altéré lors de l'encodage alors, lorsqu'il sera présenté à nouveau au modèle, le vecteur entraînera une forte activation de la trace qui lui

correspond et de très faibles activations des autres traces ⁹. L'intensité de l'écho étant la somme des activation, la valeur d'intensité sera alors quasiment égale à l'activation de la trace du vecteur sonde.

Ainsi, l'analyse des profils d'activation permet d'observer directement l'effet d'une variable manipulée sur le contenu de la mémoire. En outre, l'analyse des profils d'activation permet également d'observer la participation de chaque trace en mémoire dans l'intensité de l'écho. Les profils d'activation ont ainsi été particulièrement utiles pour l'analyse des performances du modèle en reconnaissance.

Après cette présentation générale du matériel et des méthodes utilisées au cours de la thèse, le chapitre suivant exposera la première étude menée dans le cadre de nos recherches.

⁹Il est à noter que ce résultat n'est vrai que si tous les vecteurs de la liste d'apprentissage sont différents. Nous verrons dans le chapitre 7 (voir § 7.2, p. 188) qu'il n'en est pas de même si des vecteurs se ressemblent.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Concernant l'approche expérimentale, quatre expériences de mémoire ont été menées à l'aide d'une épreuve de mémorisation correspondant à l'apprentissage de listes de paires de mots (*i.e.*, CIBLE - INDICE).
- ❑ Dans le cadre des niveaux de traitement, la profondeur de traitement et l'élaboration ont été manipulées *via* des listes d'orientation de traitement et une tâche d'inversion de lettres, respectivement. La spécificité d'encodage a été testée, quant à elle, à l'aide de trois tâches de récupération différentes (*i.e.*, rappel libre, rappel indicé et reconnaissance), restituant une quantité croissante d'informations mémorisées.
- ❑ La procédure expérimentale consistait en 8 blocs Apprentissage/Test divisés en deux conditions de difficulté (*i.e.*, une condition « facile » et une « difficile »), au cours desquelles chaque condition d'encodage était testée (*i.e.*, « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée »).
- ❑ Lors de nos expériences, le matériel a particulièrement été contrôlé sur la familiarité des mots et sur la force d'association entre les mots cibles et indices. Les sujets ont quant à eux été contrôlés sur leurs capacités de mémoire à court terme et leur vitesse de traitement, ainsi que sur leurs niveaux attentionnel et linguistique.
- ❑ Concernant la modélisation et les simulations informatiques, la profondeur de traitement et l'élaboration ont été implémentées, dans MINERVA 2, par la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs et par la dimension des vecteurs, respectivement. Comme dans les expérimentations, la spécificité d'encodage a été testée à l'aide de la proportion de caractéristiques communes entre les indices de rappel fournis au modèle (*i.e.*, les vecteurs sondes) et les vecteurs mémorisés (*i.e.*, les vecteurs cibles). Ainsi, le rappel indicé et la reconnaissance ont été simulés, respectivement, en utilisant 75 ou 100% de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles.
- ❑ Les performances du modèle sur ces tâches ont été évaluées, respectivement, à l'aide de la distance Sonde/Echo (référant à la comparaison entre l'indice de récupération fourni au modèle et sa réponse) et de l'intensité de l'écho (correspondant à un indice de familiarité).
- ❑ Les résultats des simulations seront analysés et présentés de façon numérique ou graphique.

**VERS UN MODÈLE DE COMPENSATION
DANS LE CADRE DES NIVEAUX DE
TRAITEMENT**

Sommaire

- ❶** Rappels théoriques (p. **143**)
 - ❷** Expérimentation (p. **145**)
 - ❸** Simulation (p. **153**)
 - ❹** Conclusion générale (p. **176**)
-

Après avoir présenté les bases théoriques et méthodologiques de notre travail, nous allons maintenant exposer la première étude que nous avons menée dans le cadre de cette thèse.

6.1 Rappels théoriques

Comme nous l'avons vu au chapitre 2, selon le cadre des niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990), les processus cognitifs impliqués dans la profondeur de traitement (PDT) et dans l'élaboration semblent fondamentaux dans la mémorisation, puisqu'ils déterminent en partie la probabilité de récupération des informations mémorisées. En effet, un traitement élaboré et/ou orienté sémantiquement permet d'augmenter les performances de mémoire (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978). Le cadre des niveaux de traitement offre ainsi un support intéressant pour étudier les phénomènes de compensation mnésique.

Si l'on se réfère à ce cadre théorique, une baisse des performances mnésiques peut être due, à l'encodage, à un problème d'initiation d'un traitement sémantique et/ou élaboré des informations à mémoriser. Selon Craik (1983), des difficultés d'initiation de ces traitements seraient particulièrement responsables des baisses de performance généralement observées chez les sujets âgés, comparé aux jeunes. Précisément, d'après l'hypothèse environnementale (Craik, 1983; Craik et Jennings, 1992), les processus de PDT et d'élaboration deviendraient moins accessibles chez les sujets âgés mais pourraient être « réactivés » par le biais de soutiens environnementaux, permettant de compenser les difficultés. Par ailleurs, un certain nombre de travaux tendent à démontrer que ce sont essentiellement les processus de PDT qui seraient touchés au cours du vieillissement (*e.g.*, Bäckman, 1989; Craik et Jennings, 1992; Shaw et Craik, 1989) et non les processus d'élaboration (*e.g.*,

Bäckman et Mäntylä, 1988; Hashtroudi *et al.*, 1989; Johnson *et al.*, 1989; McDaniel *et al.*, 1989).

Concernant les phénomènes compensatoires, Salthouse (*e.g.*, 1995) propose un modèle dans lequel l'origine de la compensation est une déficience d'un ou plusieurs processus cognitifs impliqués dans une tâche donnée, cette déficience étant éventuellement compensée par une augmentation d'implication d'un ou d'autres processus non-altérés (voir chapitre 4, § 4.1.2, p. 119). En outre, Salthouse (*e.g.*, 1995) propose de décomposer chaque tâche en fonction des processus cognitifs impliqués et, ainsi, de considérer séparément leur participation dans la performance globale.

Dans une vision intégrée du cadre des niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990) et du modèle de compensation de Salthouse (*e.g.*, 1995), N'Kaoua *et al.* (2005) ont proposé de décomposer une tâche de mémoire verbale (*i.e.*, apprentissage de listes de paires de mots) en fonction de la PDT, de l'élaboration et de leur interaction. L'équation de Salthouse ¹ s'écrit alors de la façon suivante :

$$Perf. \text{ mémoire} = (a_1 \times PDT) + (a_2 \times Elaboration) + (a_3 \times (PDT \times Elaboration))$$

D'après cette équation, les performances de mémoire dépendraient de l'implication de chacun des processus mentionnés. Chez les sujets âgés, N'Kaoua *et al.* (2005) ont alors émis l'hypothèse que la baisse d'implication de la PDT (*i.e.*, diminution de a_1), et/ou de l'élaboration (*i.e.*, diminution de a_2), pouvait être compensée par une implication plus importante des processus cognitifs sous-tendant leur interaction (*i.e.*, augmentation de a_3), lorsqu'un soutien cognitif était apporté. A l'aide d'une méthode de régressions multiples, permettant de calculer l'implication respective de chaque composante de l'équation, les auteurs ont confirmé leur hypothèse et ont ainsi démontré que l'interaction $PDT \times Elaboration$ était effectivement majorée chez les sujets âgés, par rapport aux jeunes (voir chapitre 4, Figure 4.1, p. 119). N'Kaoua *et al.* (2005) ont alors suggéré que, du moins chez la personne âgée, les phénomènes de compensation mnésique sont dépendants des processus d'interaction entre PDT et élaboration.

¹Pour rappel, ce modèle se formalise par l'équation suivante : $Y = a_1.X_1 + a_2.X_2 + a_3.X_3 + \dots + a_n.X_n$, où Y est la performance molaire (*i.e.*, performance globale sur la tâche), X_n est le n^{ieme} processus moléculaire intervenant dans la tâche et a_n est le coefficient de participation du n^{ieme} processus.

Dans ce cadre, le but de notre première étude était de conforter et d'approfondir les travaux de N'Kaoua *et al.* (2005). Pour ce faire, nous avons conduit une nouvelle expérimentation de mémoire chez des sujets jeunes, d'âge moyen et âgés. Nous avons également simulé les résultats expérimentaux à l'aide du modèle MINERVA 2.

6.2 Expérimentation

L'objectif de cette expérience était d'étudier le bénéfice obtenu sur les performances de mémoire après l'utilisation simultanée d'aides favorisant un traitement profond et élaboré des informations. En outre, nous voulions étudier ce bénéfice chez trois groupes de sujets : (1) jeunes ; (2) d'âge moyen ; et (3) âgés. Dans ce cadre, nous nous attendions à observer de moins bonnes performances chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés, par rapport aux jeunes, sans l'utilisation des aides. En revanche, nous espérions que la présence concomitante des aides de mémoire serait plus profitable aux deux groupes de sujets les plus âgés, par rapport aux jeunes.

6.2.1 Matériel et méthodes

Les travaux de N'Kaoua *et al.* (2005) étaient basés sur les expériences de Sauzéron *et al.* (2001; 2000). Nos travaux s'inscrivant également dans cette lignée, la méthode expérimentale décrite ici reprend en grande partie la méthodologie utilisée par Sauzéron et ses collègues. En conséquence, bien que la description générale soit proche de celle exposée dans le chapitre précédent (voir § 5.1, p. 127), cette expérience possède un certain nombre de caractéristiques propres.

SUJETS

L'échantillon de sujets qui a participé à cette expérience était divisé en trois groupes d'âge différent : (1) jeunes (20-39 ans, $M = 26.6$, $DS = 5.5$)² ; (2) d'âge moyen (50-69 ans, $M = 60.8$, $DS = 5.6$) ; et (3) âgés (70-89 ans, $M = 77.4$, $DS = 6.0$). Chaque groupe d'âge était composé de 20 individus et la distribution Hommes/Femmes était de 9/11, 17/3 et 15/5, respectivement.

²Par convention, nous utilisons les abréviations « M » et « DS », respectivement, pour « *Moyenne* » et « *Déviation Standard* ».

Les sujets jeunes et d'âge moyen ont été recrutés dans l'entourage des expérimentateurs ou par petite annonce. Concernant les sujets âgés, ils ont été sélectionnés à l'aide du service municipal gérant les activités associatives dédiées aux personnes âgées. Aucun des âgés ne vivait en institution.

Tous les sujets avaient pour langue maternelle le Français et étaient droitiers. Aucun d'entre eux n'avait eu de problème neurologique ou de traumatisme crânien et n'avait d'antécédent psychiatrique ou d'alcoolisme.

MATÉRIEL ET PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Le matériel utilisé dans cette expérience était constitué de 4 listes de 21 paires de mots chacune (voir en Annexe, p. 327). Pour chacun des trois groupes de sujets, la PDT et l'élaboration ont été manipulées à l'encodage et des tests de rappel libre ou indicé étaient proposés lors de la récupération.

Dans cette expérience, la PDT a été manipulée à l'aide de *listes d'orientation de traitement* (*i.e.*, sémantiques *vs.* phonétiques), comme décrit dans le chapitre précédent (voir § 5.1, p. 129). L'élaboration des informations a été manipulée, quant à elle, à l'aide du protocole de *génération d'indices* de Mäntylä et Nilsson (1983) (voir chapitre 2, § 2.2.2, p. 58). Ainsi, dans les conditions non-élaborées, les sujets devaient simplement lire les paires de mots qui leur étaient présentées, contrairement aux conditions élaborées où ils devaient générer un mot associé, pour chaque mot cible, suivant une règle de génération (*i.e.*, soit, dans la condition d'encodage profond, « Donnez un mot sémantiquement lié à chaque mot présenté », soit, dans la condition d'encodage superficiel, « Donnez un mot qui rime avec chaque mot présenté »).

Les listes non-élaborées (*i.e.*, indices imposés) ont été construites à l'aide de la norme française d'association verbale de Ferrand et Alario (1998) et de notre base d'associations phonétiques (voir chapitre précédent, § 5.1, p. 129), respectivement, pour les listes sémantiques et phonétiques. Concernant les listes élaborées (*i.e.*, indices générés), les mots cibles de chaque paire ont également été sélectionnés dans ces normes, les mots indices étant quant à eux générés par les sujets lors de l'encodage. Par ailleurs, comme évoqué précédemment, le matériel expérimental a été contrôlé sur les critères de fréquence d'utilisation des mots, de concrétude et d'émotionnalité.

Récupération	Encodage		Groupe d'âge		
			Jeunes (20-39 ans)	Age moyen (50-69 ans)	Âgés (70-89 ans)
Rappel libre	Sémantique	Indices imposés	8.8 (2.7)	4.6 (2.7)	3.4 (2.1)
		Indices produits	9.1 (2.2)	8.4 (3.2)	5.9 (2.4)
	Phonétique	Indices imposés	6.4 (3.0)	3.1 (2.0)	1.8 (1.1)
		Indices produits	6.2 (2.7)	2.8 (1.8)	2.0 (1.2)
Rappel indicé	Sémantique	Indices imposés	14.3 (2.9)	11.1 (4.2)	11.0 (5.0)
		Indices produits	19.3 (1.2)	17.2 (2.9)	15.9 (4.0)
	Phonétique	Indices imposés	7.2 (3.0)	4.3 (3.4)	3.2 (2.6)
		Indices produits	9.8 (4.2)	5.6 (3.3)	4.5 (3.3)

TAB. 6.1 – Performances de mémoire (*i.e.*, nombre de mots cibles correctement rappelés) en fonction des conditions d'encodage et de récupération, chez trois groupes de sujets d'âge différent. Les déviations standards sont indiquées entre parenthèses.

La procédure expérimentale qui a été utilisée dans cette expérience est celle décrite dans le chapitre précédent (voir § 5.1.3, p. 129), à deux exceptions près. Premièrement, ici, la difficulté de la tâche n'a pas été manipulée *stricto sensu*³. En conséquence, chaque sujet n'a passé que 4 blocs Apprentissage/Test (au lieu de 8 blocs pour 2 conditions de difficulté différente), chacun de ces blocs correspondant à l'une des 4 listes d'apprentissage possibles (*i.e.*, « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée »). Deuxièmement, à la récupération, la tâche de reconnaissance n'a pas été utilisée et seules les tâches de rappel libre et indicé ont été proposées aux sujets, conformément aux expériences de Sauzéron *et al* (2001; 2000).

6.2.2 Résultats expérimentaux

Les performances de mémoire des sujets sont présentées dans le Tableau 6.1. Les résultats ont été analysés à l'aide d'une ANOVA de type 3 (Age) × 2 (PDT) × 2 (Elaboration) × 2 (Type de rappel) appliquée sur le nombre de mots cibles correctement rappelés. Cette ANOVA a révélé un effet fortement significatif des quatre facteurs impliqués : (1) « Age » [F(2,57) = 22.853, p < .0001]; (2) « PDT » [F(1,57) = 541.280, p < .0001]; (3) « Elaboration » [F(1,57) = 632.502, p < .0001]; et (4) « Type de rappel » [F(1,57) = 426.510, p < .0001].

³Précisément, le facteur « Difficulté » a été manipulé mais il était inhérent aux sujets, non à la tâche, et correspondait au facteur « Age ».

L'examen des moyennes a indiqué que les meilleures performances ont été obtenues chez les sujets jeunes, puis chez ceux d'âge moyen et, enfin, chez les âgés. En outre, la différence de performance était plus importante entre les sujets jeunes et ceux d'âge moyen qu'entre ces derniers et les âgés. Les résultats ont également indiqué que, globalement, les performances de mémoire étaient supérieures en utilisant des listes sémantiques, un encodage actif (*i.e.*, indices générés) et un test de rappel indicé par rapport, respectivement, à des listes phonétiques, un encodage passif (*i.e.*, indices imposés) et un test de rappel libre.

Concernant les interactions à deux facteurs, une interaction significative a été observée entre la PDT et l'élaboration [$F(1,57) = 74.428$, $p < .0001$], indiquant un effet d'élaboration augmenté en utilisant des listes sémantiques, par rapport aux listes phonétiques. Deux autres interactions ont également été obtenues, impliquant, d'une part, le type de rappel proposé et, d'autre part, la PDT ou l'élaboration. Précisément, les résultats ont indiqué que les effets de PDT [$F(1,57) = 207.436$, $p < .0001$] et d'élaboration [$F(1,57) = 63.688$, $p < .0001$] étaient tous deux augmentés en rappel indicé par rapport au rappel libre.

Par ailleurs, la triple interaction impliquant la PDT, l'élaboration et le type de rappel était significative [$F(1,57) = 5.491$, $p < .023$], indiquant que l'interaction *PDT* \times *Elaboration* était augmentée en rappel indicé par rapport au rappel libre. Ainsi, les meilleures performances de mémoire ont été obtenues à l'aide des listes sémantiques et de la tâche de génération d'indices, à l'encodage, associées à un test de rappel indicé, à la récupération, quel que soit le groupe de sujets.

De plus, l'analyse des interactions entre le facteur « Age » et les autres facteurs manipulés a révélé deux interactions significatives. Premièrement, l'interaction impliquant les facteurs « Age », « PDT » et « Élaboration » a été obtenue [$F(2,57) = 6.099$, $p < .004$]. Ce résultat a indiqué que l'interaction *PDT* \times *Elaboration* était la plus forte chez les sujets d'âge moyen, puis chez les âgés et, enfin, chez les jeunes. En d'autres termes, comme nous l'espérions, les sujets d'âge moyen et les âgés ont bénéficié davantage de l'utilisation simultanée des listes sémantiques et de la tâche de génération d'indices que les jeunes. Deuxièmement, l'interaction impliquant les facteurs « Age », « Élaboration » et « Type de rappel » a également été obtenue [$F(2,57) = 3.885$, $p < .027$]. Ce résultat a indiqué, quant à lui, que l'interaction *Type de rappel* \times *Elaboration* était la plus forte chez

les sujets âgés, puis chez les jeunes et, enfin, chez ceux d'âge moyen. Ainsi, il semblerait que seuls les sujets âgés aient particulièrement profité de l'utilisation simultanée d'un encodage actif et d'une récupération indicée.

6.2.3 Discussion

L'objectif de cette expérience était d'étudier le bénéfice obtenu sur les performances de mémoire après l'utilisation simultanée d'aides favorisant un traitement profond et élaboré des informations, chez trois groupes d'âge différent.

HYPOTHÈSE ENVIRONNEMENTALE

Tout d'abord, la baisse de performance classiquement obtenue chez les sujets âgés a été retrouvée indiquant, de fait, une supériorité des sujets jeunes par rapport aux deux autres groupes (*e.g.*, Sauzçon *et al.*, 2001; 2000).

Comme évoqué en introduction de ce chapitre, selon l'hypothèse environnementale (Craik, 1983; Craik et Jennings, 1992), la baisse de performance mnésique des âgés serait due non pas à une altération des processus cognitifs impliqués dans la mémorisation mais à un manque d'initiation spontanée de ces processus. Expérimentalement, il est alors facile de tester cette hypothèse puisque si les difficultés viennent seulement d'un défaut d'initiation, alors une aide favorisant les processus déficients doit améliorer les performances. En revanche, si les processus sont altérés, l'aide n'aura aucun effet.

Les résultats obtenus dans cette expérience ont montré que les interactions $Age \times PDT$ et $Age \times Elaboration$ n'étaient pas significatives. En d'autres termes, l'effet de l'aide sémantique et de l'aide à l'élaboration était le même quel que soit l'âge du sujet. Bien que les performances des sujets d'âge moyen et âgés soient restées inférieures aux performances des sujets jeunes, une efficacité équivalente des aides de mémoire indique que les processus sont bien préservés au cours du vieillissement et ne sont donc pas altérés. Ces résultats sont ainsi en accord avec l'hypothèse environnementale et reproduisent les résultats précédemment obtenus dans la littérature, concernant un défaut d'initiation des processus impliqués dans la PDT (*e.g.*, Bäckman, 1989; Craik et Jennings, 1992; Shaw et Craik, 1989) et l'élaboration (*e.g.*, Rankin et Collins, 1985). En conséquence, les résultats semblent indiquer que la PDT et l'élaboration sont toutes deux diminuées au cours du vieillissement.

CADRE DES NIVEAUX DE TRAITEMENT

Concernant le cadre des niveaux de traitement, les résultats expérimentaux ont répliqués les effets bien connus de PDT (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975) et d'élaboration (*e.g.*, Mäntylä et Nilsson, 1983), ainsi que leur interaction (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978).

En outre, dans cette expérience, les interactions $PDT \times Type\ de\ rappel$ et $Elaboration \times Type\ de\ rappel$ ont été obtenues. Ces interactions ont indiqué, respectivement, que les effets de PDT et d'élaboration étaient augmentés en rappel indicé par rapport au rappel libre. Ainsi, les effets étaient potentialisés lorsque des indices contextuels étaient restitués à la récupération. L'effet des aides à l'encodage était ainsi supérieur lorsqu'une meilleure adéquation Encodage/Récupération était proposée. Les meilleures performances ont alors été obtenues lors de l'utilisation simultanée d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration, associée à une restitution des indices. Ces résultats sont ainsi en accord avec le principe de spécificité d'encodage (Tulving et Thomson, 1973) et reproduisent les résultats de la littérature évoqués dans le chapitre 2 (voir § 2.4, p. 65).

En conséquence, tous les effets décrits dans le cadre des niveaux de traitement ont été répliqués dans cette expérimentation.

VIEILLISSEMENT ET EFFET D'INTERACTION

Dans cette expérience, nous nous attendions à observer de moins bonnes performances chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés, que chez les jeunes, sans l'utilisation des aides. En revanche, nous espérions que la présence concomitante d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration permettrait de réduire le déficit des deux groupes les plus âgés. Précisément, nous avons fait l'hypothèse que les aides à l'encodage, utilisées de façon simultanée, seraient plus efficaces chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés que chez les jeunes. L'interaction significative, observée entre les facteurs « Age », « PDT » et « Élaboration », tend alors à confirmer cette hypothèse. En effet, les résultats ont indiqué que l'interaction $PDT \times Elaboration$ était la plus forte chez les sujets d'âge moyen, puis chez les âgés et, enfin, chez les jeunes. En d'autres termes, l'aide sémantique et l'aide à l'élaboration se sont potentialisées davantage chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés que chez les jeunes.

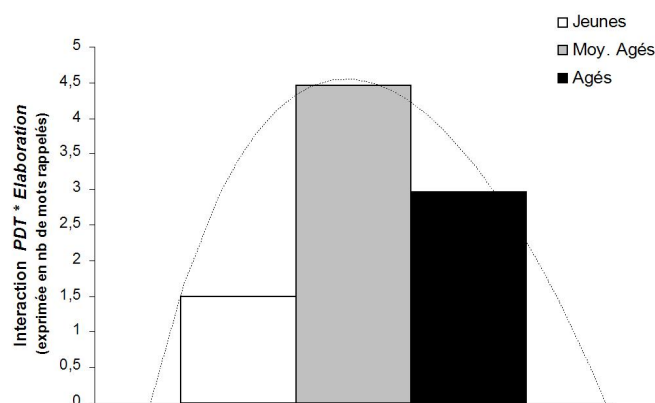


FIG. 6.1 – *Effet d'interaction (exprimé en nombre de mots rappelés) entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent. Les résultats semblent indiquer une relation en U inversé.*

La Figure 6.1 représente l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration ⁴, chez les trois groupes de sujets. Cet effet a été calculé en faisant la différence entre l'effet d'élaboration obtenu sur les listes sémantiques et celui observé sur les listes phonétiques. Si l'interaction est positive cela indique que l'effet d'élaboration est plus fort sur les listes sémantiques que phonétiques et, donc, que les deux aides se potentialisent. Si l'effet d'élaboration reste le même quel que soit le type de listes, alors l'interaction est nulle. Enfin, si l'interaction est négative, c'est que l'une des deux aides inhibe l'effet de l'autre. En conséquence, plus l'effet d'interaction est positif, plus le bénéfice total des aides est important.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 6.1, l'effet d'interaction le plus fort a été obtenu chez le groupe de sujets d'âge moyen. En outre, l'effet d'interaction a été augmenté entre les sujets jeunes et ceux d'âge moyen, mais diminué entre ces derniers et les plus âgés. Ce profil de résultats ressemble alors fortement à la courbe en U inversé mentionnée par Bäckman et Dixon (1992, p. 272) (voir Figure 6.2). Une telle courbe décrit les relations entre, d'une part, la probabilité de compensation et, d'autre part, le déficit des sujets ou la difficulté de la tâche.

⁴ $\delta_{PDT \times Elab.} = \delta_{Elab.}$ en encodage profond $-\delta_{Elab.}$ en encodage superficiel, avec $\delta_{Elab.} = \text{Perf. en condition élaborée} - \text{Perf. en condition non-élaborée}$.

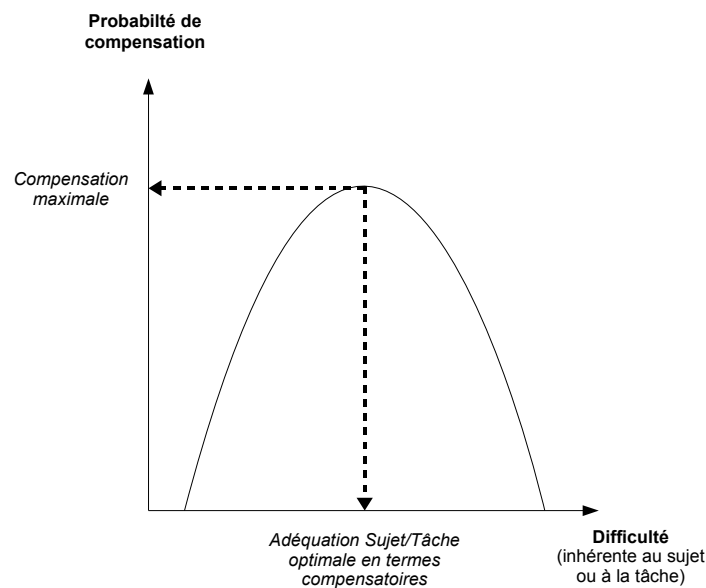


FIG. 6.2 – Illustration de la courbe en U inversé décrivant la probabilité de compensation en fonction du déficit des sujets ou de la difficulté de la tâche (d'après Bäckman et Dixon, 1992).

La Figure 6.2 illustre cette courbe en U inversé. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, cette fonction indique que la probabilité de compensation est faible, voire nulle, lorsque le déficit du sujet ou la difficulté de la tâche est trop faible ou trop grand. En effet, dans le premier cas, l'apport d'une aide est inutile car le sujet n'en a pas besoin pour accomplir correctement la tâche considérée. De même, dans le deuxième cas, l'apport d'une aide est inutile car, si le niveau de difficulté est trop grand, les aides seront inefficaces. En revanche, un phénomène compensatoire est possible dans une zone intermédiaire de difficulté ⁵. Précisément, la probabilité de compensation augmente jusqu'à un maximum puis diminue avant de s'annuler à nouveau. Le maximum de compensation correspond alors à une adéquation spécifique entre les caractéristiques du sujet et celles de la tâche, induisant une relation optimale en termes compensatoires.

Dans ce cadre, nos résultats expérimentaux pourraient alors indiquer que l'utilisation concomitante d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration a permis d'obtenir un rapport privilégié entre les caractéristiques de la tâche et les compétences cognitives des

⁵Par exemple, Bäckman et ses collègues ont démontré que la compensation mnésique induite par des aides de mémoire, internes ou externes, est plus probable chez le sujet âgé « normal » (*i.e.*, sans pathologie) que chez le sujet jeune ou les patients atteints de la maladie d'Alzheimer (*e.g.*, Bäckman, 1989; Bäckman *et al.*, 1990).

sujets d'âge moyen. Le maximum d'interaction obtenu chez ce groupe pourrait ainsi résulter d'une adéquation Sujet/Tâche optimale en termes compensatoires. Par ailleurs, nous pouvons également supposer que si l'interaction $PDT \times Elaboration$ était plus faible chez les jeunes et les âgés, c'est que l'adéquation Sujet/Tâche était, respectivement, supérieure ou inférieure à celle des sujets d'âge moyen.

En conclusion : A l'encodage, faciliter de façon concomitante un traitement élaboré et orienté sémantiquement permet d'augmenter les performances de mémoire quel que soit l'âge des sujets. Cependant, l'interaction $PDT \times Elaboration$ semble fortement dépendante de l'adéquation entre les caractéristiques de la tâche et les compétences cognitives des sujets, induisant des effets compensatoires variables. Précisément, les effets d'interaction les plus forts ont été observés chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés, indiquant que ces deux groupes ont bénéficié davantage de l'apport simultané des aides à l'encodage que les jeunes. La conclusion principale qui peut être tirée de cette expérience est que l'interaction $PDT \times Elaboration$ semble refléter l'adéquation Sujet/Tâche, sous la forme d'une courbe en U inversé.

6.3 Simulation

La simulation qui a été menée, à l'aide de MINERVA 2 (Hintzman, 1984), avait pour objectif de répliquer les résultats expérimentaux exposés dans la section précédente. Ici, il est à noter que seuls les résultats obtenus en rappel indicé ont été simulés. Concernant le vieillissement, l'hypothèse d'un déficit d'initiation des processus de PDT, chez les sujets âgés, a été testée⁶. A nouveau, l'interaction $PDT \times Elaboration$ a été analysée en tant que support aux phénomènes compensatoires. Précisément, sur les bases des résultats expérimentaux, notre hypothèse était que faciliter simultanément un traitement « sémantique » et « élaboré » des vecteurs à mémoriser induirait un effet compensatoire dépendant de l'adéquation entre les caractéristiques des sujets simulés et la difficulté de la tâche.

⁶Comme mentionné en introduction de ce chapitre, cette hypothèse est la plus couramment admise dans la littérature.

6.3.1 Implémentations et paramètres

Dans cette étude, la PDT et l'élaboration ont été implémentées à l'aide, respectivement, de la *proportion de caractéristiques non-nulles* dans les vecteurs et de la *dimension* des vecteurs (*i.e.*, nombre total de caractéristiques). Dans ce cadre, une forte proportion de caractéristiques non-nulles figure un traitement profond car un grand nombre de caractéristiques « signifiantes »⁷ (*i.e.*, « +1 » et « -1 ») sera présent en mémoire. Similairement, des vecteurs de grande dimension figurent des informations élaborées car les vecteurs contenant plus d'information pourront être considérés comme plus « riches ». Tout d'abord, nous avons manipulé la proportion de caractéristiques non-nulles de 10 à 100% (*i.e.*, d'un traitement superficiel à un traitement profond) et la dimension des vecteurs de 10 à 100 caractéristiques (*i.e.*, de non-élaboré à très élaboré), afin d'observer, respectivement, les effets de PDT et d'élaboration dans le modèle. Nous avons également manipulé ces variables de façon concomitante afin d'étudier leur effet d'interaction. Ensuite, nous avons simulé l'expérience décrite dans la section précédente en utilisant les implémentations suivantes :

- 90% *vs.* 80%, 85% *vs.* 75% et 80% *vs.* 70% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, respectivement, pour simuler un encodage sémantique et phonétique chez le sujet jeune, d'âge moyen ou âgé ;
- 40 *vs.* 80 caractéristiques dans les vecteurs, respectivement, pour simuler un encodage non-élaboré ou élaboré

Ainsi, l'hypothèse d'un déficit d'initiation de la PDT chez les sujets âgés a été implémentée en modifiant la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs en fonction du groupe d'âge simulé.

Les simulations ont été conduites selon la procédure générale décrite au chapitre 5 (voir § 5.2.2, p. 135). Pour rappel, cette procédure consiste à générer aléatoirement une liste de 20 vecteurs, de dimension n , qui sont copiés dans la mémoire du modèle en fonction du coefficient d'apprentissage⁸ et de la proportion de caractéristiques non-nulles choisis. Lors de la phase de récupération, les vecteurs qui ont été mémorisés (*i.e.*, les vecteurs cibles) sont présentés à nouveau au modèle en tant que sondes, soit sans aucune modification

⁷Puisque, par opposition, la valeur « 0 » indique une caractéristique indéterminée dans les vecteurs.

⁸Ici, le coefficient d'apprentissage n'a pas été manipulé et a toujours été fixé à 1. De fait, les vecteurs traces en mémoire étaient des copies parfaites des vecteurs présentés au modèle lors de la phase d'apprentissage.

(*i.e.*, 100% de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles), afin de simuler une tâche de reconnaissance, soit en modifiant 25% de leurs caractéristiques (*i.e.*, 75% de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles), afin de simuler une tâche de rappel indicé. Dans toutes les conditions testées, 100 sujets ont été simulés.

Concernant les performances du modèle, elles ont été analysées en fonction de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho. Pour rappel, l'intensité de l'écho est une valeur numérique qui renseigne sur la familiarité des indices de récupération (*i.e.*, les vecteurs sondes). Des valeurs élevées de cet indicateur renvoient à de bonnes performances en reconnaissance. La distance Sonde/Écho concerne, quant à elle, la comparaison directe entre les vecteur sondes, présentés en entrée, et le vecteur écho généré par le modèle en sortie (*i.e.*, sa réponse). Pour cet indicateur, des valeurs faibles indiqueront que la réponse du modèle est très proche de l'indice de récupération, ce qui induira des bonnes performances en rappel indicé.

Afin de comparer directement les performances du modèle à celles des sujets, nous avons calculé des pourcentages de rappel par rapport aux valeurs de la distance Sonde/Écho. Pour ce faire, un seuil de réponse doit être déterminé. Ici, nous avons utilisé la *moyenne* des distances comme seuil de rappel. Dans ce cadre, un item était correctement rappelé lorsque la distance Sonde/Écho était *en-dessous* du seuil de rappel. De fait, le pourcentage de rappel correct correspond au nombre d'itérations du programme, sur l'ensemble des itérations, au cours desquelles la distance Sonde/Echo était inférieure au seuil.

6.3.2 Résultats et discussion

Afin de faciliter la compréhension des résultats obtenus au sujet du vieillissement, nous allons tout d'abord décrire en détails les effets de PDT et d'élaboration, ainsi que leur interaction, dans MINERVA 2. Ensuite, nous analyserons les résultats de la simulation et les comparerons avec ceux issus de l'expérimentation.

LA PROFONDEUR DE TRAITEMENT

L'effet de PDT renvoie à de meilleures performances lorsque l'encodage des informations est « profond » (*i.e.*, traitement sémantique) que lorsqu'il est « superficiel » (*e.g.*, traitement orthographique ou phonétique) (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975).

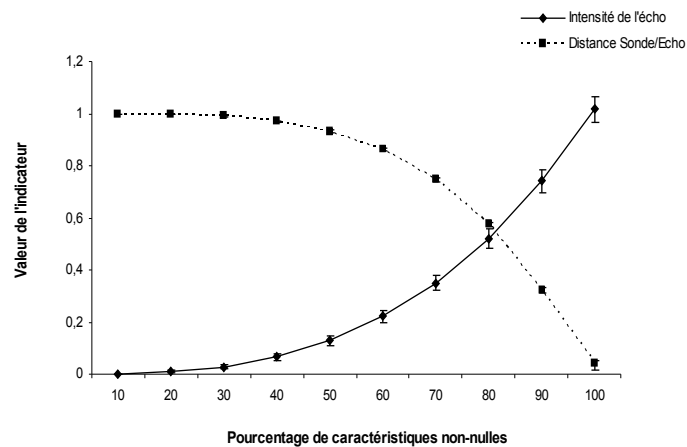


FIG. 6.3 – Variation de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs.

La Figure 6.3 représente cet effet dans MINERVA 2, en considérant l'intensité de l'écho et la distance Sonde/Écho. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, le modèle permet de simuler correctement les données expérimentales. En effet, plus la proportion de caractéristiques non-nulles est importante dans les vecteurs (*i.e.*, plus le traitement est profond), plus la valeur de l'intensité de l'écho est élevée et plus la distance Sonde/Écho est faible. Les bonnes performances du modèle en rappel indicé et en reconnaissance étant obtenues, respectivement, par des valeurs faibles de la distance Sonde/Écho et élevées de l'intensité de l'écho, le comportement du modèle indique alors des performances augmentées en augmentant la profondeur du traitement, pour les deux types de tâche simulés.

L'effet d'accélération

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 6.3, les valeurs des indicateurs de performance (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho) varient de façon *accélérée* en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (figurant la PDT). En d'autres termes, plus cette proportion est élevée, plus l'intensité de l'écho et la distance Sonde/Écho tendent, respectivement, à augmenter et diminuer rapidement. Ce résultat traduit alors des propriétés d'optimisation des performances, inhérentes au fonctionnement de MINERVA 2. Ces propriétés peuvent être expliquées par l'Équation 3.2, décrite au chapitre 3 (voir § 3.4, p. 100).

En effet, la fonction « cube » utilisée dans le modèle induit une relation non-linéaire entre la similitude Sonde/Trace (voir Équation 3.1, p. 105) et la valeur d'activation correspondante. Précisément, cette fonction tend à maximiser l'activation des traces proches de la sonde (*i.e.*, de l'indice de récupération) et à minimiser l'activation des traces qui s'en éloignent. Le rapport Signal/Bruit est ainsi optimisé dans MINERVA 2. En conséquence, dû à la fonction cube du modèle, une variable qui augmente la similitude entre les sondes et les traces (ce qui est le cas de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) va augmenter d'autant plus l'activation des traces. L'intensité et le contenu de l'écho étant directement dépendants des valeurs d'activation (voir Équations 3.2 et 3.4, respectivement, p. 105 et p. 107), l'effet de la fonction cube va alors se ressentir sur ces indicateurs. Concernant les résultats présentés sur la Figure 6.3, la variation accélérée des valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho, en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, s'explique alors par le calcul de l'activation des traces dans le modèle (*i.e.*, fonction cube).

Par ailleurs, puisque le comportement du modèle décrit des relations accélérées entre, d'une part, les indicateurs de performance et, d'autre part, la proportion de caractéristiques non-nulles (figurant la PDT), alors, en termes expérimentaux, MINERVA 2 prédit une plus grande différence de résultats entre des niveaux de traitement « moyens » et « profonds », qu'entre des niveaux de traitement « superficiels » et « moyens ». En effet, par exemple, nous pouvons constater sur la Figure 6.3 que les différences de performances sont plus importantes entre 80% et 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (*e.g.*, $\Delta_{intensité\ de\ l'écho} = 0.221$), pouvant figurer, respectivement, des niveaux de traitement « moyens » et « profonds », qu'entre 70% et 80% de caractéristiques non-nulles (*e.g.*, $\Delta_{intensité\ de\ l'écho} = 0.171$), pouvant figurer, de façon équivalente, des traitements « superficiels » et « moyens », respectivement .

Cette prédiction est alors en accord avec les résultats de Craik et Tulving (1975, Expériences 2, 3 et 4). Dans leurs expériences, les auteurs ont utilisé des tâches d'orientation orthographique, phonétique et sémantique. Les tâches orthographiques et sémantiques représentaient le niveau de traitement le plus superficiel et le plus profond, respectivement, et les tâches phonétiques représentaient un niveau de traitement intermédiaire. L'examen des résultats obtenus par Craik et Tulving (1975) révèle que, globalement, les différences de performance sont plus importantes entre une tâche phonétique et une tâche sémantique,

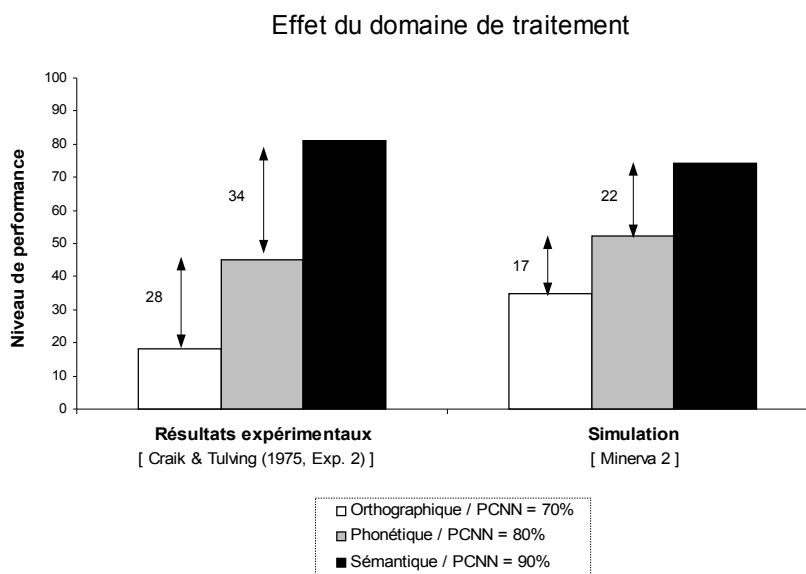


FIG. 6.4 – Représentation des résultats expérimentaux obtenus par Craik et Tulving (1975, Expérience 2) et de la simulation correspondante, effectuée à l'aide de MINERVA 2. Les résultats expérimentaux sont exprimés en pourcentages de reconnaissance correcte. Les résultats de la simulation sont exprimés, quant à eux, par rapport aux valeurs de l'intensité de l'écho (ces valeurs ont été multipliées par un facteur 100 afin d'utiliser la même échelle). PCNN = Proportion de Caractéristiques Non-Nulles.

qu'entre une tâche orthographique et une tâche phonétique. La Figure 6.4 représente ce profil de résultats et illustre les capacités de simulation de MINERVA 2.

La distinctibilité des traces

En dehors des valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho, nous avons également étudié l'effet de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (*i.e.*, l'effet de la PDT) sur l'activation des traces en mémoire. La Figure 6.5 représente l'évolution du profil d'activation de la mémoire en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles (de 10 à 100%). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, plus la proportion de caractéristiques non-nulles augmente dans les vecteurs, plus une trace s'active spécifiquement en mémoire (ici, la trace n°11) en réponse à la sonde (ici, le vecteur n°11) et plus l'activation des autres traces tend à s'affaiblir. Ainsi, l'augmentation de la proportion de caractéristiques non-nulles induit deux conséquences dans le modèle : (1) une augmentation d'activation de la trace spécifiquement visée par la sonde (l'activation

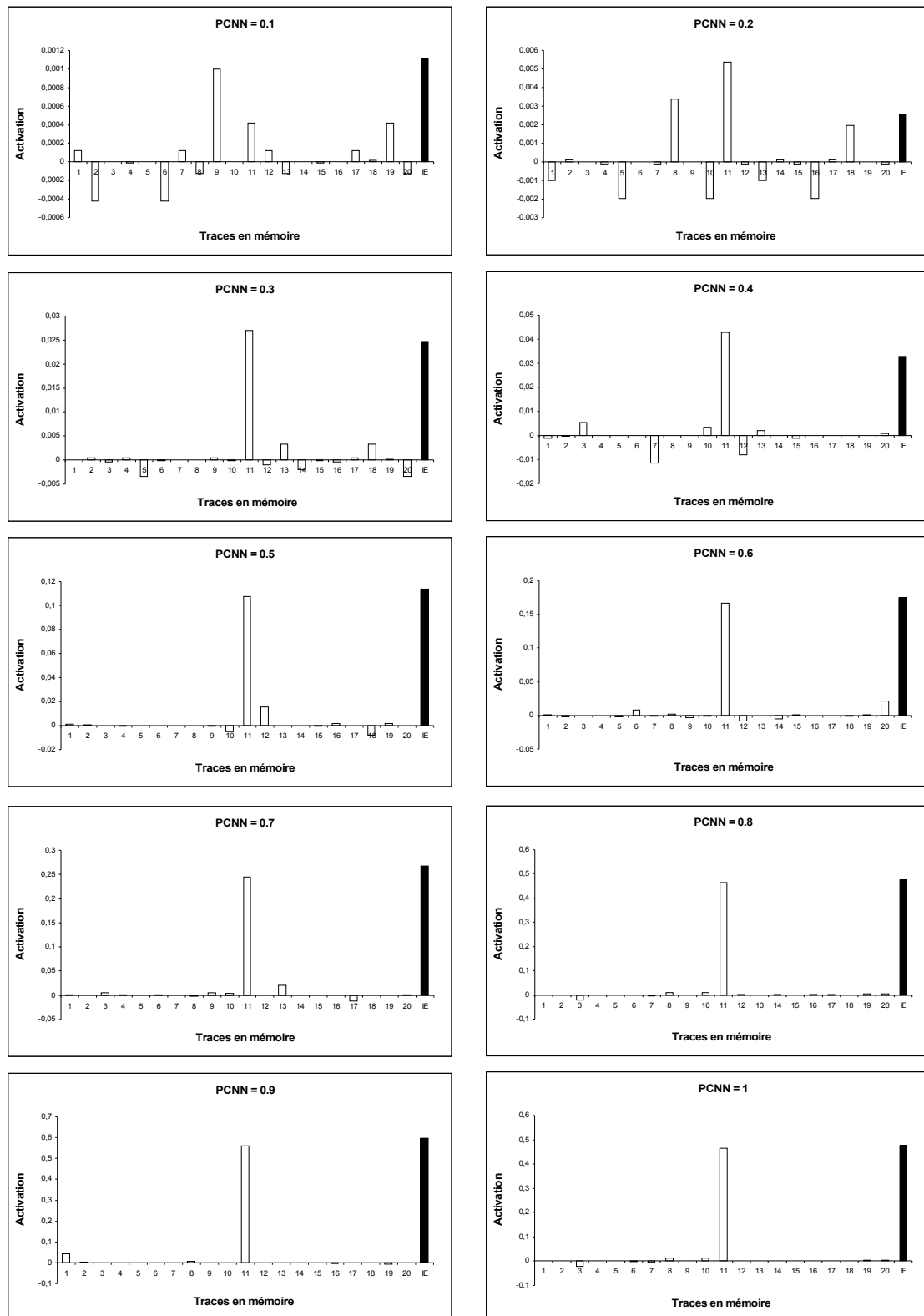


FIG. 6.5 – Évolution des profils d'activation de la mémoire, dans MINERVA 2, en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles (PCNN) dans les vecteurs. L'exemple pris ici est celui de la sonde n°11. IE = Intensité de l'écho.

de la trace n°11 passe de 0.0004 à 0.8574); et (2) une diminution de l'activation erronée des autres traces. De fait, comme nous pouvons le constater sur la Figure 6.5, l'intensité de l'écho (*i.e.*, histogramme noir) tend à n'être déterminée que par l'activation de la trace spécifiquement visée par la sonde, à mesure que la la proportion de caractéristiques non-nulles augmente. Ainsi, dans MINERVA 2, il semble que l'augmentation de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (figurant l'augmentation de PDT) rende les traces plus distinctes en mémoire, lors de la récupération. En conséquence, dans le modèle, l'effet de la PDT sur les performances s'explique par une meilleure *distinctibilité* des traces en mémoire ⁹. Le comportement du modèle est alors en accord avec les suggestions de Craik et ses collègues (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976) indiquant, justement, que l'effet de PDT pourrait être expliqué par des traces mnésiques plus distinctes après un encodage profond, comparé à un encodage superficiel, induisant une meilleure récupération ultérieure des informations.

Concernant le fonctionnement du modèle, l'augmentation de distinctibilité s'explique par deux mécanismes. Premièrement, le calcul de similitude Sonde/Trace est fortement dépendant de la proportion de caractéristiques non-nulles. En effet, les caractéristiques nulles ne font pas varier la valeur de similitude entre une sonde et une trace ¹⁰. De fait, augmenter la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs permet d'augmenter le nombre de caractéristiques pertinentes qui vont pouvoir « interagir » (*i.e.*, être comparées) entre les sondes et les traces lors de la récupération. Ainsi, la présence d'une quantité importante de « +1 » et de « -1 » dans les traces permet de donner à ces dernières une « identité » propre, augmentant leur caractère distinctif en mémoire. Les valeurs de similitude et d'activation vont alors augmenter ¹¹. Ce mécanisme est alors en accord avec les suggestions de Lockhart (2002) ou de Schacter (1996), indiquant que des domaines de traitement profond des informations, à l'encodage, pourraient étendre le nombre d'éléments interagissant avec l'environnement lors de la récupération.

Deuxièmement, nous avons vu dans le paragraphe précédent que la fonction cube utilisée dans le modèle permet de maximiser la similitude entre deux vecteurs partageant

⁹Ce résultat a été évoqué par Hintzman (1988, p. 535) dans une de ces études.

¹⁰D'après l'Équation 3.1 présentée au chapitre 3 (p. 105), la similitude Sonde/Trace ne varie que lorsque la caractéristique d'un rang donnée est différente de « 0 » sur la trace et sur la sonde.

¹¹Précisément, les activations augmentent en valeur absolue, sachant qu'elles peuvent être positives ou négatives.

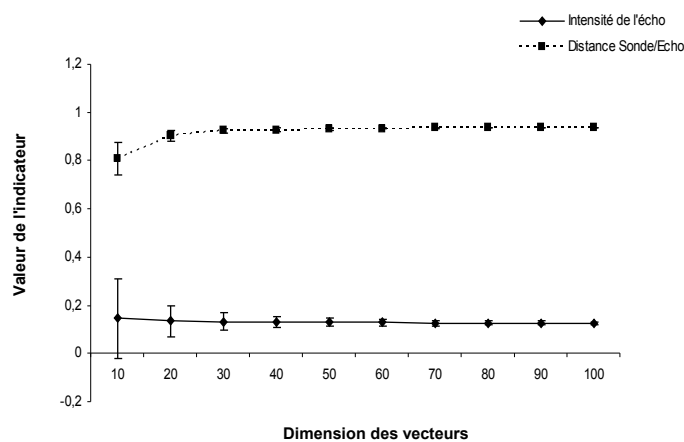


FIG. 6.6 – Variation de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho en fonction de la dimension des vecteurs, dans MINERVA 2.

des caractéristiques communes et de minimiser la similitude entre deux vecteurs différents. De fait, la fonction cube favorise intrinsèquement la distinctibilité des traces puisqu'elle optimise l'activation d'une trace par les sondes qui lui ressemblent.

En conclusion : Dans MINERVA 2, nous pouvons proposer que la proportion de caractéristiques non-nulles est une implémentation intéressante de la PDT, puisqu'elle permet de simuler les résultats expérimentaux. En outre, dans ce cadre, le fonctionnement du modèle indique que des domaines de traitement profond induisent des traces plus distinctes en mémoire que des traitements superficiels. Ainsi, le modèle est en accord avec l'hypothèse de distinctibilité des traces proposée par Craik et ses collègues (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976). Par ailleurs, lors d'un encodage profond, MINERVA 2 permet d'expliquer l'augmentation de distinctibilité des traces en mémoire par une interaction augmentée entre les sondes et les traces et par l'implication d'un processus d'optimisation (*i.e.*, la fonction cube).

L'ÉLABORATION

L'effet d'élaboration renvoie à une augmentation de performance lorsque l'information peut être « enrichie » à l'encodage. Généralement, une plus grande richesse de l'information est induite par une tâche de mémoire permettant une implication active du sujet (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978).

La Figure 6.6 représente l'effet d'élaboration dans MINERVA 2, considérant l'intensité de l'écho et la distance Sonde/Écho. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, l'augmentation de la dimension des vecteurs (figurant l'augmentation de l'élaboration) influence peu la valeur des indicateurs de performance. En effet, les valeurs de l'intensité de l'écho diminuent légèrement en passant de 10 à 30 caractéristiques, puis tendent à se stabiliser. Similairement, les valeurs de distance Sonde/Écho augmentent sur l'intervalle 10-30 caractéristiques, puis se stabilisent. En revanche, pour les deux indicateurs (particulièrement pour l'intensité), nous pouvons constater que les déviations standards des valeurs tendent à diminuer en augmentant la dimension. Ainsi, dans MINERVA 2, manipuler la dimension des vecteurs influence principalement les déviations standards et non les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho. La dimension des vecteurs (*i.e.*, l'élaboration) influence donc la *variabilité* de la réponse du modèle. Précisément, des vecteurs de grande dimension diminuent la variabilité de la réponse lors de la récupération. Ces résultats sont alors en accord avec les études de Metcalfe Eich (1985) et N'Kaoua *et al.* (*e.g.*, 2003), ayant obtenus le même type de résultats à l'aide du modèle CHARM (Metcalfe Eich, 1982) (pour une description de ce modèle voir chapitre 3, § 3.3.2, p. 95).

La question du seuil de réponse

Comme nous venons de le voir, la dimension des vecteurs exerce essentiellement son effet sur les déviations standards des indicateurs et non sur leurs valeurs. De fait, en termes de pourcentage de réponses correctes (*i.e.*, en imposant un seuil de réponse), l'effet d'élaboration dans le modèle va alors dépendre de la relation entre, d'une part, les valeurs de l'indicateur considéré et leurs déviations standards et, d'autre part, la valeur du seuil de réponse. En prenant comme exemple la distance Sonde/Écho (*i.e.*, en simulant une tâche de rappel indicé), la Figure 6.7 représente, de façon théorique, les différentes configurations de résultats possibles dans MINERVA 2, en fonction de ces trois variables. Avant toute explication, il convient de rappeler que les bonnes performances en rappel indicé sont indiquées dans le modèle par de *faibles* valeurs de la distance Sonde/Écho. De fait, pour qu'un item soit considéré comme correctement rappelé, la distance Sonde/Écho devra être *inférieure* au seuil de réponse. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, cinq configurations peuvent être particulièrement distinguées :

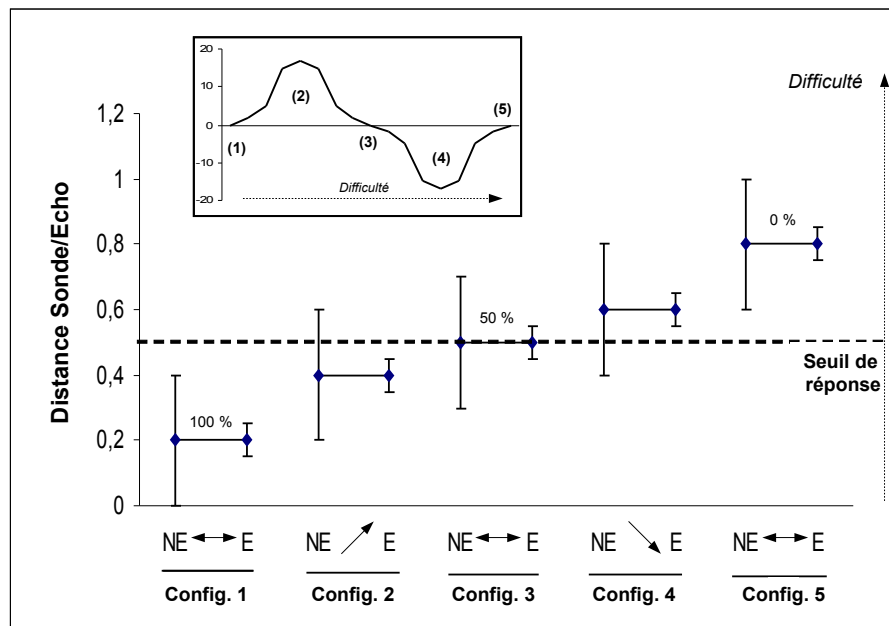


FIG. 6.7 – Modèle théorique de l'effet d'élaboration dans MINERVA 2 (panneau interne), via une manipulation de la dimension des vecteurs, en fonction de la distance Sonde/Écho, de sa déviation standard et du seuil de réponse du modèle. Cinq configurations peuvent être distinguées (voir texte pour les détails). NE = Non-Élaboré ; E = Élaboré.

1. Configuration 1 : le seuil de réponse du modèle est *largement supérieur* à la distance Sonde/Écho. Dans ce cas, aucun effet d'élaboration ne sera observable (*i.e.*, $NE = E$) car réduire la valeur de la déviation standard, *via* l'augmentation de la dimension des vecteurs, n'augmentera pas la probabilité que la distance soit inférieure au seuil de réponse. Cette configuration induit un effet « plafond » sur les performances (*i.e.*, 100% de rappel correct quelle que soit la condition d'élaboration).
2. Configuration 2 : le seuil de réponse du modèle est *supérieur* à la distance Sonde/Écho. Dans ce cas, l'effet d'élaboration sera positif (*i.e.*, $NE < E$) car réduire la valeur de la déviation standard augmentera la probabilité que la distance soit inférieure au seuil de réponse.
3. Configuration 3 : le seuil de réponse du modèle est *égal* à la distance Sonde/Écho. Ici encore, aucun effet d'élaboration ne sera observable (*i.e.*, $NE = E$) car la probabilité que la distance soit inférieure au seuil sera de 50%, quelle que soit la valeur de la déviation standard et, donc, quelle que soit la dimension des vecteurs.
4. Configuration 4 : le seuil de réponse du modèle est *inférieur* à la distance Sonde/Écho. Dans ce cas, l'effet d'élaboration sera négatif (*i.e.*, $NE > E$) car réduire la valeur

de la déviation standard diminuera la probabilité que la distance soit inférieure au seuil de réponse.

5. Configuration 5 : enfin, le seuil de réponse du modèle est *largement inférieur* à la distance Sonde/Écho. Dans ce cas également, aucun effet d'élaboration ne sera observable (*i.e.*, $NE = E$) car réduire la valeur de la déviation standard ne changera pas la probabilité que la distance soit inférieure au seuil de réponse. Cette configuration induit un effet « plancher » sur les performances (*i.e.*, 0% de rappel correct quelle que soit la condition d'élaboration).

Ainsi, nous pouvons constater que l'effet d'élaboration (panneau interne de la Figure 6.7) dans MINERVA 2 est fortement dépendant du seuil de réponse du modèle, lorsque les résultats sont analysés en termes de pourcentage de réponses correctes. Précisément, en fixant un seuil de réponse, l'effet positif de l'élaboration observé dans la littérature ne peut être retrouvé que lorsque les valeurs de la distance Sonde/Echo sont relativement proches et inférieures au seuil. Nous venons de décrire le modèle théorique de l'effet d'élaboration en nous appuyant sur la distance Sonde/Écho mais, bien entendu, ce modèle s'applique également à l'intensité de l'écho. Dans ce cas, le modèle de la Figure 6.7 doit être inversé puisque, dans MINERVA 2, une bonne performance en reconnaissance correspond à des valeurs *élevées* de l'intensité de l'écho. Par rapport à cet indicateur, l'effet positif de l'élaboration sera alors simulable lorsque le seuil de réponse sera fixé en-dessous des valeurs d'intensité. Dans cette situation particulière, la Figure 6.8 illustre comment MINERVA 2 permet de simuler les résultats de Slamecka et Graf (1978). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, les résultats des auteurs indiquent une augmentation des performances lorsque les informations ont été élaborées par les sujets (*i.e.*, tâche de génération de cibles), lors de l'encodage. Le modèle reproduit ce résultat en augmentant la taille des vecteurs (*i.e.*, 80 *vs.* 40 caractéristiques) pour simuler un encodage élaboré.

La distinctibilité des traces

Comme précédemment, nous avons analysé l'effet de la dimension des vecteurs (figurant l'élaboration des informations) sur l'activation des traces en mémoire. La Figure 6.9 représente l'évolution du profil d'activation de la mémoire en fonction de la dimension des vecteurs (manipulée de 10 à 100 caractéristiques). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, plus la dimension des vecteurs augmente, plus une trace tend à se distinguer en

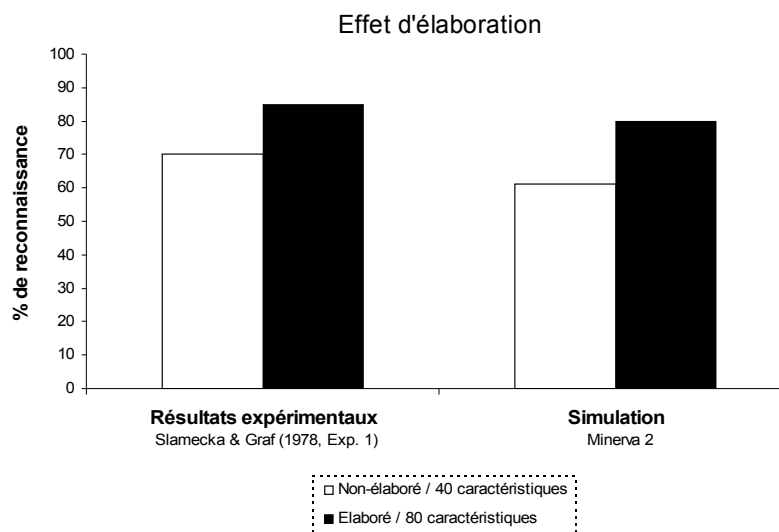


FIG. 6.8 – Simulation des résultats de Slamecka et Graf (1978, Expérience 1, p. 594) dans MINERVA 2. Les résultats expérimentaux représentent les moyennes des pourcentages de reconnaissance obtenus sur les conditions non-élaborée et élaborée.

mémoire (ici, la trace n°11) en réponse à la sonde (ici, le vecteur n°11). Contrairement à la proportion de caractéristiques non-nulles, nous pouvons constater ici que l'influence de la dimension des vecteurs concerne essentiellement l'activation des traces erronées et non l'activation de la trace visée par la sonde. En effet, l'activation de la trace n°11 est toujours forte et relativement stable (valeur généralement comprise entre 0.5 et 0.6), hormis pour la plus petite dimension. En revanche, les résultats indiquent que plus la dimension des vecteurs augmente, plus la quantité d'activations erronées issues des autres traces diminue (diminution très rapide à partir seulement d'une dimension de 20 caractéristiques). De fait, l'intensité de l'écho (histogramme noir) va être essentiellement déterminée par la seule trace activée. En conséquence, comme avec la proportion de caractéristiques non-nulles, augmenter la dimension des vecteurs (*i.e.*, augmenter l'élaboration) permet d'augmenter la distinctibilité des traces en mémoire, puisque les activations non-pertinentes tendent à disparaître. Concernant l'effet d'élaboration, le comportement de MINERVA 2 est donc également en accord avec l'hypothèse de distinctibilité des traces, proposée par Craik et ses collègues (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976).

Concernant le fonctionnement du modèle, la plus grande distinctibilité des traces s'explique ici par des notions de probabilité. En effet, étant donné que chaque caractéristique

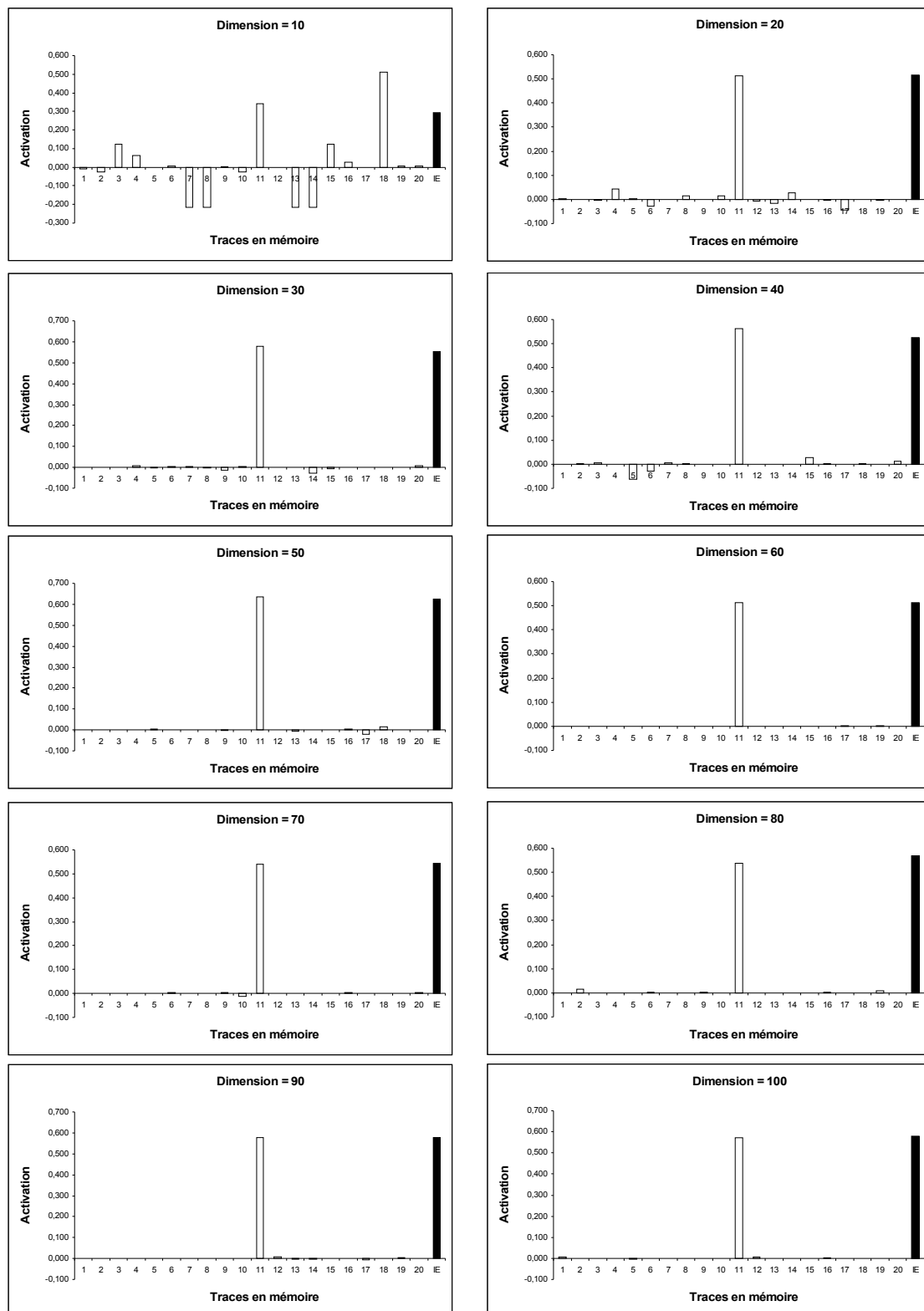


FIG. 6.9 – Évolution des profils d'activation de la mémoire, dans MINERVA 2, en fonction de la dimension des vecteurs. L'exemple pris ici est celui de la sonde n°11. IE = Intensité de l'écho.

dans les vecteurs ne peut prendre que trois valeurs (*i.e.*, « -1 », « 0 » ou « $+1$ »), la probabilité que deux vecteurs possèdent la même valeur sur la caractéristique de rang j est de $\frac{1}{3}$. Pour des vecteurs de dimension n , la probabilité que deux vecteurs soient identiques est donc de $(\frac{1}{3})^n$. Ainsi, plus la dimension est grande, plus la probabilité de ressemblance est faible entre deux vecteurs. L'augmentation de dimension apporte donc intrinsèquement un caractère plus distinctif aux traces en mémoire. De plus, à nouveau, l'effet de la dimension est potentialisé par la fonction cube du modèle.

En conclusion : Dans MINERVA 2, nous pouvons proposer que la dimension des vecteurs est une implémentation intéressante de l'élaboration, puisqu'elle permet, dans une certaine mesure, de simuler les données expérimentales. En termes de pourcentage de réponses correctes, l'effet d'élaboration sera cependant fortement dépendant de la valeur du seuil de réponse utilisée. En outre, le fonctionnement du modèle indique qu'un encodage élaboré induit des traces plus distinctes en mémoire qu'un encodage non-élaboré. Ainsi, le modèle est en accord avec l'hypothèse de distinctibilité des traces proposée par Craik et ses collègues (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976). Après un encodage élaboré, MINERVA 2 permet d'expliquer l'augmentation de distinctibilité des traces par la baisse de probabilité d'activer de mauvais souvenirs lors de la récupération.

PROFONDEUR DE TRAITEMENT \times ÉLABORATION

L'effet d'interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration renvoie généralement à une augmentation de l'effet d'élaboration (*i.e.*, augmentation des performances lors d'un encodage élaboré comparé à un encodage non-élaboré) lorsque le traitement des informations est profond (*i.e.*, traitement sémantique), par rapport à un encodage superficiel (*e.g.*, traitement orthographique ou phonétique) (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978; Stein et Bransford, 1979).

La Figure 6.10 représente les valeurs de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (de 20 à 100% figurant un traitement de plus en plus profond) et de la dimension des vecteurs (de 20 à 100 caractéristiques figurant des informations de plus en plus élaborées). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, les résultats indiquent, premièrement, que les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho tendent,

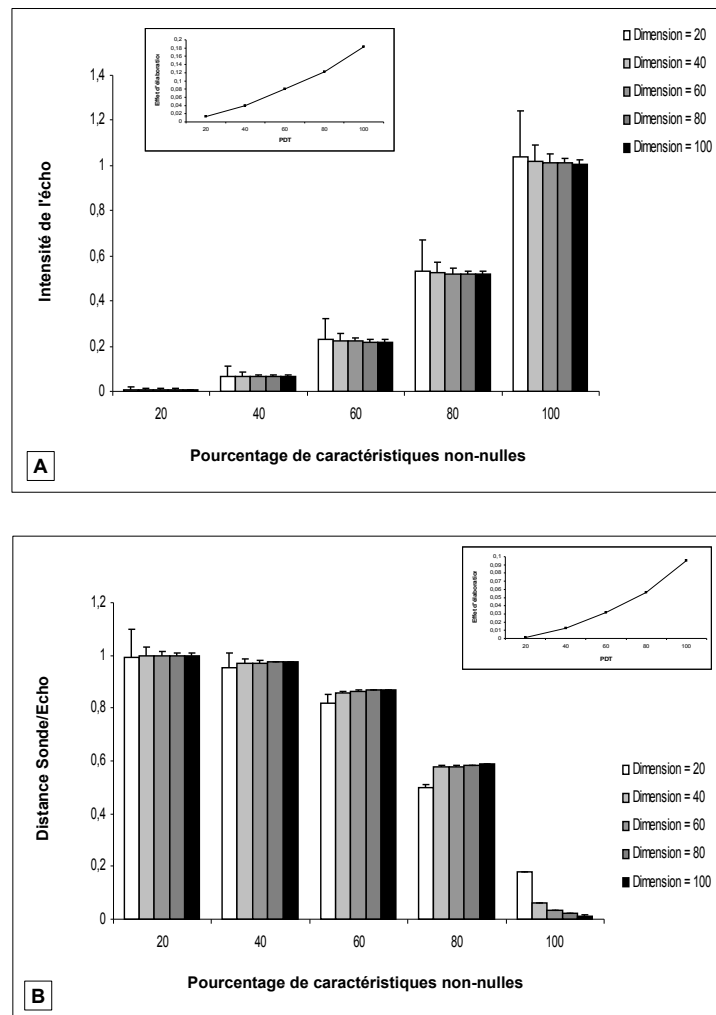


FIG. 6.10 – Variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles et de la dimension des vecteurs. Les panneaux internes de chaque figure représentent l'effet d'élaboration en fonction de la profondeur de traitement (PDT).

respectivement, à augmenter et à diminuer en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs. Deuxièmement, quelle que soit cette proportion, augmenter la dimension des vecteurs diminue les déviations standards des indicateurs de performance. Ainsi, les effets respectifs de la PDT (*i.e.*, proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) et de l'élaboration (*i.e.*, la dimension des vecteurs) sont retrouvés dans cette simulation.

En outre, comme nous pouvons également le constater sur la Figure 6.10, la baisse des déviations standards est de plus en plus forte à mesure que l'on augmente la proportion de caractéristiques non-nulles (*i.e.*, augmentation de la PDT), quelle que soit l'indicateur de performance. Pour chaque indicateur, la différence de déviation standard entre la plus petite et la plus grande dimension (*i.e.*, effet d'élaboration) est représentée en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles (*i.e.*, figurant la PDT) sur les panneaux internes des figures. Comme nous pouvons alors le constater, l'effet d'élaboration tend à augmenter en augmentant la PDT.

La question du seuil de réponse

L'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ étant dépendant de l'effet d'élaboration, en termes de pourcentage de réponses correctes, il va à nouveau se poser la question du rapport entre les valeurs de l'indicateur de performance utilisé, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. La Figure 6.11 (panneaux B et C) représente de façon théorique l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration dans MINERVA 2, en fonction de ce rapport (panneau A).

Ici, afin de garder une cohérence avec les résultats présentés au sujet de l'élaboration, nous décrirons l'interaction $PDT \times Elaboration$ par rapport à la distance Sonde/Écho, c'est-à-dire pour une tâche de rappel indicé simulée. Rappelons à nouveau que les bonnes performances en rappel indicé sont indiquées par de *faibles* valeurs de la distance Sonde/Écho. De fait, pour qu'un item soit considéré comme correctement rappelé, la distance Sonde/Écho doit être *inférieure* au seuil de réponse. Sur la Figure 6.11 (panneau A), nous avons représenté l'augmentation du seuil de réponse (de la position 1 à 7) par rapport aux valeurs de distance obtenues en simulant un encodage profond ou superficiel, pouvant être élaboré ou non. Il est à noter que la difficulté est croissante lorsque le seuil diminue. Dans ce cadre,

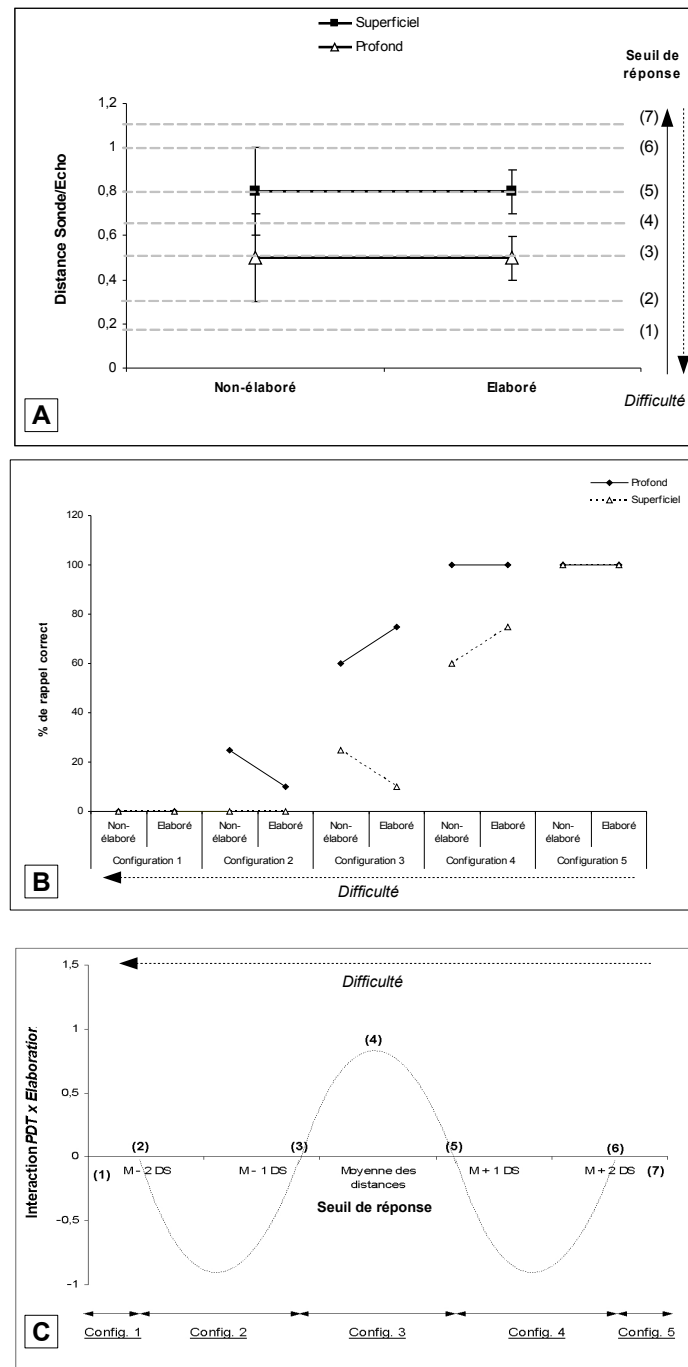


FIG. 6.11 – *Modèle théorique de l'effet d'interaction PDT × Elaboration dans Minerva 2 (panneaux B et C) en fonction des distances Sonde/Écho, de leurs déviations standards et du seuil de réponse du modèle (panneau A). Sept positions du seuil de réponse s'avèrent critiques sur l'effet d'interaction, induisant cinq configurations particulières (voir texte pour les détails). Le panneau B représente une traduction du panneau A en termes de pourcentage de réponses correctes, afin d'expliquer la variation de l'effet d'interaction PDT × Elaboration décrite sur le panneau C. Sur cette figure, il est à noter que les échelles des axes sont données à titre purement illustratif. M = Moyenne des distances ; DS = Déviation Standard.*

comme nous pouvons le constater sur les panneaux B et C, cinq configurations peuvent être particulièrement distinguées (la description est faite ici par rapport au panneau B) :

1. *Configuration 1 (seuil inférieur à la position 2)* : l'effet d'interaction est nul car un effet « plancher » (*i.e.*, 0% de rappel correct) est observé sur les performances, quel que soit le domaine de traitement simulé (*i.e.*, « profond » ou « superficiel »). Il n'y a donc pas de différence de l'effet d'élaboration entre les deux domaines de traitement.
2. *Configuration 2 (entre position 2 et 3)* : l'effet d'interaction devient négatif car les performances tendent à diminuer en condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage profond. En revanche, elles restent inchangées en simulant un encodage phonétique. La différence de l'effet d'élaboration entre les deux domaines de traitement simulés est donc négative.
3. *Configuration 3 (entre position 3 et 5)* : l'effet d'interaction devient positif car les performances tendent à augmenter dans la condition élaborée, comparé à la condition non-élaborée, en simulant un encodage profond. A l'opposé, les performances tendent à diminuer dans la condition élaborée lorsqu'un encodage superficiel est simulé. L'effet d'élaboration dans les deux domaines de traitement est donc opposé, induisant une forte positivité de l'interaction, jusqu'à un maximum lorsque la valeur du seuil de réponse est équivalente à la moyenne des distances.
4. *Configuration 4 (entre position 5 et 6)* : l'effet d'interaction redevient négatif car, cette fois-ci, un effet « plafond » (*i.e.*, 100% de rappel correct) est observé en simulant un encodage profond, n'induisant pas de variation entre les conditions d'élaboration. En revanche, en simulant un encodage superficiel, les performances tendent à augmenter dans la condition élaborée, comparé à la condition non-élaborée. La différence de l'effet d'élaboration entre les deux domaines de traitement simulés est donc à nouveau négative.
5. *Configuration 5 (seuil supérieur à la position 6)* : l'interaction est nulle car un effet plafond est observé sur les performances, quel que soit le domaine de traitement simulé. Il n'y a donc pas de différence de l'effet d'élaboration entre les deux domaines de traitement.

Dans ce cadre, l'interaction positive entre la PDT et l'élaboration est alors observée lorsque le seuil de réponse utilisé se situe entre les valeurs de distances obtenues après un

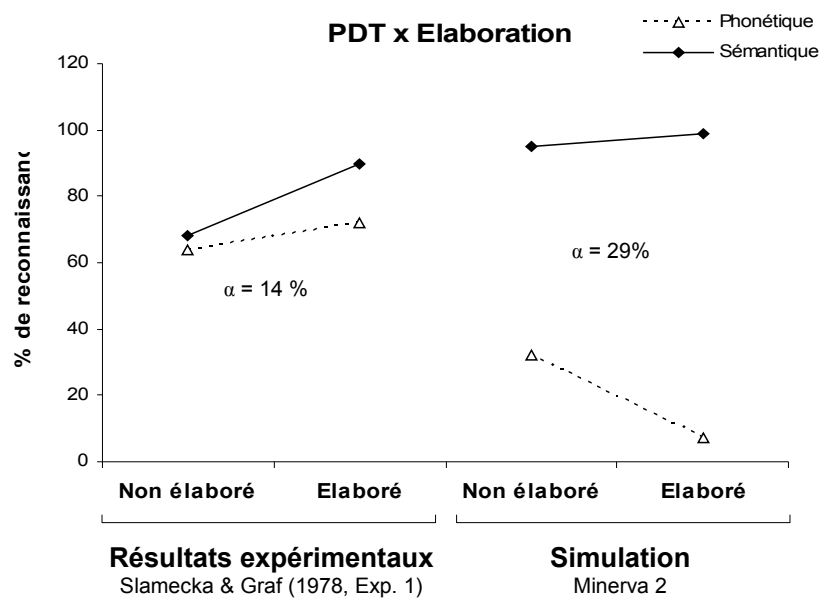


FIG. 6.12 – Simulation dans MINERVA 2 de l'interaction positive entre la profondeur de traitement (PDT) et l'élaboration, observée par Slamecka et Graf (1978, Expérience 1, p. 594). L'angle α entre les vecteurs représente l'interaction $PDT \times Elaboration$.

encodage « profond » et celles obtenues après un encodage « superficiel », c'est-à-dire en position médiane par rapport au niveau de difficulté de la tâche. Dans cette configuration particulière, la Figure 6.12 illustre comment MINERVA 2 permet de simuler les résultats de Slamecka et Graf (1978).

Nous tenons ici à indiquer au lecteur l'importance de cette description théorique de l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration. En effet, ce modèle permettra d'expliquer une grande partie des résultats qui seront décrits dans la suite de cette thèse et, particulièrement, ceux exposés au chapitre 9 (voir p. 227).

RÉSULTATS DE LA SIMULATION

Après ce « détour » technique sur le fonctionnement de MINERVA 2 et sur les effets de PDT et d'élaboration dans le modèle, revenons aux résultats obtenus dans le cadre du vieillissement cognitif. Pour rappel, les résultats expérimentaux ont indiqué que : (1) plus le sujet est âgé, plus les performances de mémoire diminuent ; (2) un traitement sémantique ou actif des informations permet d'augmenter les performances par rapport, respectivement, à un traitement phonétique ou passif ; (3) l'interaction $PDT \times Elaboration$

Récupération	Encodage	Groupe d'âge simulé			
		Jeunes	Age moyen	Agés	
Rappel indicé	Profond	Non-élaboré	100	84	44
		Élaboré	100	88	35
	Superficiel	Non-élaboré	44	24	5
		Élaboré	35	7	1

TAB. 6.2 – Pourcentage de rappel correct (en rappel indicé) obtenu dans MINERVA 2 en fonction des conditions d'encodage, chez trois groupes de sujets simulés.

est maximale chez les sujets d'âge moyen ; et (4) la variation de cette interaction semble suivre une relation en U inversé en fonction de l'âge des sujets.

Pour rappel également, les implémentations utilisées dans le modèle étaient les suivantes :

- 90% vs. 80%, 85% vs. 75% et 80% vs. 70% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, respectivement, pour simuler un encodage sémantique et phonétique chez le sujet jeune, d'âge moyen ou âgé ;
- 40 vs. 80 caractéristiques dans les vecteurs, respectivement, pour simuler un encodage non-élaboré ou élaboré

Les résultats de la simulation sont présentés dans le Tableau 6.2. Ces résultats ont été obtenus en calculant des pourcentages de réponses correctes par rapport aux valeurs de distance Sonde/Écho et du seuil de réponse (*i.e.*, moyenne des distances). Les résultats indiquent deux effets majeurs : l'effet des facteurs « Age » et « PDT ». Comme nous pouvons le constater dans le Tableau 6.2, les différences de performance du modèle sont bien marquées entre les différents groupes d'âge simulés ainsi qu'entre les conditions d'encodage « profond » et « superficiel ». Précisément, concernant le facteur « Age », les meilleures performances ont été obtenues en simulant des sujets jeunes, puis d'âge moyen et, enfin, âgés. Concernant le facteur « PDT », les meilleures performances ont été obtenues dans les conditions d'encodage « profond » comparé aux conditions d'encodage « superficiel », c'est-à-dire en augmentant la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs. En ce sens, nous pouvons dire que MINERVA 2 est en mesure de reproduire correctement la baisse de performance classiquement obtenue expérimentalement chez les sujets âgés (*e.g.*, Sauzéron *et al.*, 2001, 2000), de même que l'effet de PDT décrit dans le cadre des niveaux de traitement (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975).

A la lumière du cadre interprétatif exposé en Figure 6.7 (p. 163), et après examen des valeurs de distances et de leurs déviations standards, l'effet plafond de l'élaboration observé en simulant des sujets jeunes, lors d'un encodage sémantique, s'explique par la configuration de résultats de *type 1* (*i.e.*, valeurs de distance largement inférieures au seuil de réponse du modèle). De plus, l'effet d'élaboration positif obtenu en simulant des sujets d'âge moyen, toujours lors d'un encodage sémantique, est explicable par la configuration de résultats de *type 2* (*i.e.*, valeurs de distance inférieures au seuil de réponse). Enfin, l'effet négatif de l'élaboration obtenu dans toutes les autres situations simulées s'explique par la configuration de résultats de *type 4* (*i.e.*, valeurs de distance supérieures au seuil de réponse).

L'interaction $PDT \times Elaboration$ en fonction du groupe d'âge simulé est représentée sur la Figure 6.13 (panneau A). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, l'effet d'interaction le plus fort a été obtenu en simulant les sujets d'âge moyen. En outre, les résultats indiquent une augmentation de l'interaction $PDT \times Elaboration$ entre les simulations correspondant aux sujets jeunes et à ceux d'âge moyen mais une diminution entre les simulations correspondant aux sujets d'âge moyen et aux âgés. Bien que les résultats soient quantitativement différents des résultats expérimentaux, nous pouvons tout de même remarquer que le profil obtenu dans le modèle présente des ressemblances avec le profil observé chez les sujets (panneau B).

En utilisant le modèle interprétatif exposé en Figure 6.11 (p. 170), et après examen des valeurs de distance et de leurs déviations standards, l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ obtenu en simulant des sujets jeunes et d'âge moyen s'explique alors par la configuration de *type 3* (*i.e.*, des distances Sonde/Écho correspondant aux niveaux superficiel et profond qui encadrent le seuil de réponse). Par ailleurs, la simulation des sujets d'âge moyen induit un effet d'interaction plus fort que la simulation des sujets jeunes car le seuil de réponse se trouve en position plus médiane par rapport aux valeurs de distance. L'effet d'interaction négatif observé en simulant les sujets âgés s'explique, quant à lui, par la configuration de *type 2* (*i.e.*, des valeurs de distance qui se situent essentiellement au-dessus du seuil de réponse quel que soit le domaine de traitement simulé).

Comme le montre la Figure 6.11 (panneau B), aucun effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ ne peut être observé dans MINERVA 2 lorsque les valeurs de distance sont

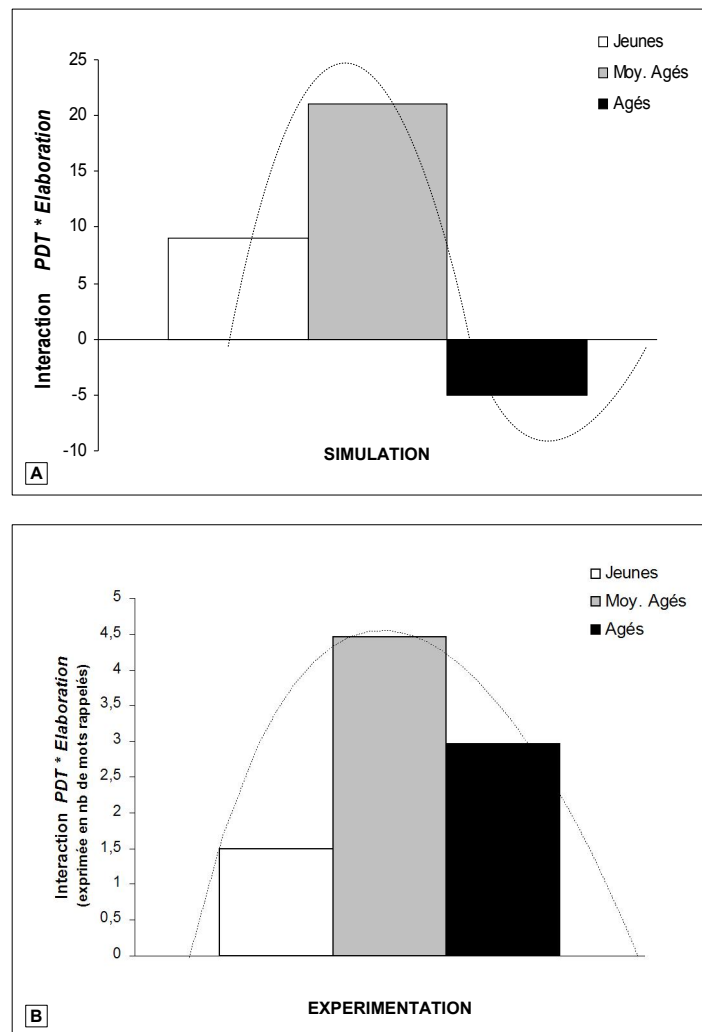


FIG. 6.13 – Effet d'interaction (exprimé en pourcentage de mots rappelés) entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent simulés dans Minerva 2 (panneau A). Les résultats obtenus chez les sujets sont présentés à nouveau (panneau B).

largement inférieures (*i.e.*, configuration 5) ou supérieures (*i.e.*, configuration 1) au seuil de réponse du modèle. En comparaison à une situation expérimentale, ces deux configurations pourraient figurer, respectivement, une situation trop facile (*i.e.*, effet plafond) ou trop difficile (*i.e.*, effet plancher) pour les sujets.

Concernant les phénomènes de compensation, la configuration de *type 3* de la Figure 6.11 (panneau B) est particulièrement intéressante, puisqu'elle est la seule à décrire un effet positif de l'interaction $PDT \times Elaboration$. Selon cette configuration, un effet positif apparaît lorsque les valeurs de distance entourent le seuil de réponse du modèle. En comparaison à une situation expérimentale, cette configuration se trouve alors strictement à mi-chemin entre une situation trop facile et une situation trop difficile. En conséquence, l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ semble augmenter lors d'une condition modérée de difficulté. En outre, il est à noter que la partie de la courbe correspondant à la configuration de *type 3* décrit une relation en U inversé, du même type que celle illustrée en Figure 6.2, représentant la probabilité de compensation en fonction de la difficulté.

6.4 Conclusion générale

L'objectif de cette première étude était de confirmer et d'approfondir les résultats expérimentaux de N'Kaoua *et al.* (2005), indiquant que l'interaction entre les processus cognitifs sous-tendant la PDT et l'élaboration jouent un rôle crucial dans les phénomènes de compensation mnésique chez les sujets âgés. Pour ce faire, nous avons mené une expérience de mémoire verbale pour tenter de reproduire ces résultats et nous avons simulé cette expérience à l'aide du modèle MINERVA 2.

Les résultats de l'expérimentation ont indiqué tout d'abord que l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ était plus fort chez des sujets d'âge moyen, ou âgés, que chez des jeunes. Ces résultats confirment alors ceux de N'Kaoua *et al.* (2005) et indiquent que les processus cognitifs sous-tendant l'interaction $PDT \times Elaboration$ semblent bien jouer un rôle important dans les phénomènes de compensation mnésique au cours du vieillissement. Les résultats expérimentaux ont également révélé que l'interaction entre les processus de PDT et d'élaboration était augmentée entre les sujets jeunes et d'âge moyen mais diminuée entre ces derniers et les âgés. Nous avons alors interprété ce profil de résultats comme décrivant une relation en U inversé entre l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$

et la difficulté mnésique inhérente au type de sujets (*i.e.*, facteur « Age »). Ce genre de relation en U inversé décrivant, par ailleurs, la probabilité de compensation en fonction de la difficulté, ce deuxième résultat conforterait l'idée que l'interaction $PDT \times Elaboration$ reflète des phénomènes compensatoires.

Les résultats de la simulation ont majoritairement répliqué les résultats expérimentaux, du moins qualitativement. En effet, ici encore, le maximum d'interaction entre la PDT et l'élaboration a été obtenu en simulant des sujets d'âge moyen. En outre, les variations de l'effet d'interaction, obtenues expérimentalement, ont également été observées entre les groupes de sujets, à savoir une augmentation entre la simulation des sujets jeunes et ceux d'âge moyen et une diminution entre la simulation des sujets d'âge moyen et des âgés. La relation en U inversé entre l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ et la difficulté mnésique, inhérente au type de sujets, a ainsi été correctement répliquée dans MINERVA 2. Le modèle explique alors ce résultat en fonction du rapport entre les valeurs de la distance Sonde/Écho (*i.e.*, l'indicateur de performance en rappel indicé), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. Dans une tentative prudente de comparaison entre le modèle et les sujets, nous pourrions proposer que les deux premiers paramètres reflètent les traitements cognitifs mis en jeu dans la mémorisation (*i.e.*, les compétences mnésiques du sujet) et que le dernier figure la difficulté de la tâche.

En conclusion, d'après l'expérience et la simulation présentées dans ce chapitre, nous proposons que la compensation mnésique peut être analysée en fonction de l'interaction $PDT \times Elaboration$ décrite dans le cadre des niveaux de traitement (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978), comme exposé sur la Figure 6.14. Le point particulièrement intéressant ici est que cette interaction semble refléter l'adéquation entre les capacités mnésiques des sujets et la difficulté de la tâche considérée. Nous pouvons alors suggérer que la mesure de l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ est un indicateur utile pour évaluer l'adéquation Sujet/Tâche lors d'une épreuve de mémorisation. Dans des perspectives de remédiation cognitive, l'évaluation de cette interaction chez un sujet ayant des difficultés de mémoire pourrait permettre de déterminer un intervalle de difficulté (*i.e.*, difficulté minimale à difficulté maximale) dans lequel le sujet pourrait compenser et donc progresser. De plus, puisque MINERVA 2 permet de simuler et d'expliquer les effets de compensation (voir Figure 6.7, p. 163), ce modèle semble un outil intéressant pour tester des hypothèses sur

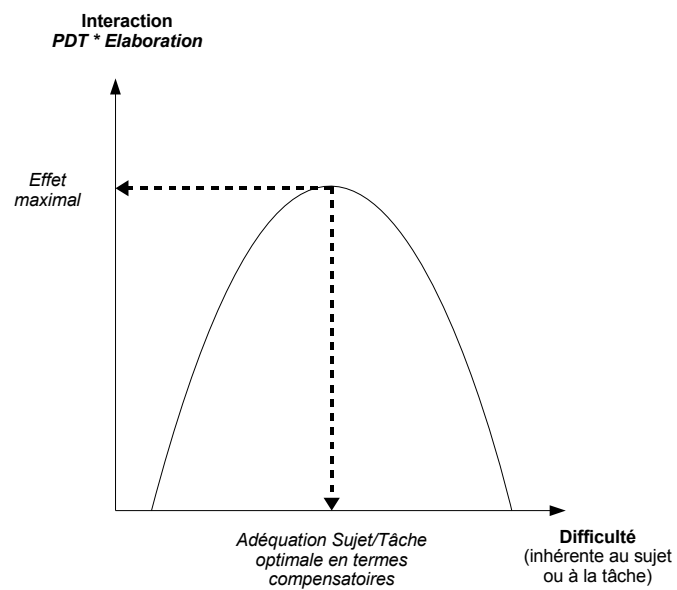


FIG. 6.14 – *Modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement basé sur l'interaction entre les notions de profondeur de traitement (PDT) et d'élaboration.*

la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement et, donc, pour prédire des résultats expérimentaux.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Une expérience de mémoire a été menée (*i.e.*, apprentissage de listes de paires de mots) afin d'étudier le bénéfice d'une aide favorisant un traitement profond des informations (*i.e.*, listes de paires sémantiques) et d'une aide à l'élaboration (*i.e.*, tâche de génération d'indice), utilisées séparément ou simultanément. Trois groupes de sujets ont été testés : (1) jeunes (20-39 ans) ; (2) d'âge moyen (50-69 ans) ; et (3) âgés (70-89 ans).
- ❑ Les résultats ont indiqué que faciliter de façon concomitante un traitement élaboré et orienté sémantiquement permet d'augmenter les performances de mémoire quel que soit l'âge des sujets. Cependant, l'interaction $PDT \times Elaboration$ semble fortement dépendante de l'adéquation entre les caractéristiques de la tâche et les compétences cognitives des sujets, induisant des effets compensatoires variables. Précisément, les effets d'interaction les plus forts ont été observés chez les sujets d'âge moyen et âgés, indiquant que ces deux groupes ont bénéficié davantage de l'apport simultané des aides. La conclusion principale qui peut être tirée de cette expérience est que l'interaction $PDT \times Elaboration$ semble refléter l'adéquation Sujet/Tâche, *via* une courbe en U inversé.
- ❑ L'expérience a été simulée à l'aide du modèle MINERVA 2. La profondeur de traitement et l'élaboration ont alors été implémentées en utilisant la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs et la dimension des vecteurs, respectivement. En outre, l'hypothèse d'un problème d'initiation des traitements profonds lors du vieillissement a été testée, en diminuant les proportions de caractéristiques non-nulles lors de la simulation des sujets d'âge moyen et âgés, par rapport aux jeunes.
- ❑ Les résultats de la simulation ont majoritairement répliqué les résultats expérimentaux, du moins qualitativement. Notamment, concernant l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$, la relation en U inversé a été correctement répliquée dans le modèle. MINERVA 2 explique alors ce résultat en fonction du rapport entre les valeurs de l'indicateur de performance, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. Par analogie avec les sujets, les deux premiers paramètres pourraient figurer les capacités cognitives des sujets simulés et le dernier figurerait la difficulté de la tâche.
- ❑ D'après l'expérience et la simulation, un modèle de compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement a alors été proposé. Ce modèle est une courbe en U inversé décrivant l'interaction $PDT \times Elaboration$ en fonction de la difficulté déterminée par l'adéquation Sujet/Tâche.

COMPENSATION MNÉSIQUE CHEZ LE SUJET JEUNE

Sommaire

- ❶ Durée de présentation (p. 184)
 - ❷ Organisation du matériel (p. 188)
 - ❸ Consignes de récupération (p. 193)
 - ❹ Discussion générale (p. 198)
-

Dans le chapitre précédent, nous avons posé les bases d'un modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement (voir Figure 6.14, p. 178). Ce modèle, établi chez le sujet âgé, place l'interaction entre les notions de *profondeur de traitement* (PDT) (*e.g.*, Craik et Lockhart, 1972) et d'*élaboration* (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975) au centre des effets de compensation mnésique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter trois expériences qui avaient pour but de compléter le modèle proposé par des expérimentations effectuées, cette fois-ci, chez le sujet jeune. L'hypothèse principale était que les résultats obtenus chez le sujet âgé pourraient être retrouvés, chez le sujet jeunes, en manipulant la *difficulté de la tâche*. L'objectif général des expérimentations était alors d'étudier les effets respectifs et interactifs d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration en fonction du degré et du type de difficulté. En outre, nous voulions non seulement conforter le modèle mais aussi l'approfondir. Pour ce faire, nous avons intégré dans nos investigations une tâche de reconnaissance, en plus des tâches de rappel (libre et indicé) préalablement étudiées. En prenant en compte des types de restitution offrant un support contextuel croissant à la récupération (*i.e.*, rappel libre < rappel indicé < reconnaissance), nous voulions inclure dans nos expériences la notion de *spécificité d'encodage* (Tulving et Thomson, 1973). De fait, l'ensemble des interactions possibles entre PDT, élaboration et spécificité d'encodage (voir chapitre 2, p. 59 et p. 65) ont été analysées en tant que support potentiel aux phénomènes compensatoires.

Dans ce contexte, chez le sujet jeune, nous nous attendions à observer une baisse de performances en augmentant modérément la difficulté de la tâche, mais nous espérions également une augmentation concomitante des effets d'interaction entre les facteurs décrits dans le cadre des niveaux de traitement.

7.1 Durée de présentation

Dans la littérature, la *durée de présentation* des informations est connue pour diminuer les performances de mémoire des sujets (*e.g.*, Ackerman, 1987; Arndt et Hirshman, 1998; Arnett, 2004; Goldinger *et al.*, 1991; McDermott et Watson, 2001; Nobel et Shiffrin, 2001). L'objectif de cette première expérience était d'étudier le bénéfice d'une aide sémantique (*i.e.*, listes de paires de mots sémantiquement liés), d'une aide à l'élaboration (*i.e.*, encodage actif) et d'une aide à la récupération (*i.e.*, restitution partielle ou totale des informations mémorisées) en fonction de ce facteur de difficulté. Notre hypothèse était ici qu'une durée de présentation de 3 secondes devrait diminuer les performances des sujets mais augmenter les effets d'interaction entre les aides de mémoire, par rapport à une présentation de 2 secondes.

7.1.1 Sujets

Les sujets ayant participé à cette expérience étaient 34 étudiants volontaires, inscrits à l'Université *Victor Segalen* Bordeaux 2 ou à l'Institut de Formation en Ergothérapie du C.H.U. Pellegrin de Bordeaux. Le groupe était constitué de 19 femmes et 15 hommes, âgés de 18 à 30 ans ($M = 23.0$, $DS = 2.6$). Tous les sujets étaient droitiers et avaient pour langue maternelle le Français.

7.1.2 Matériel et méthodes

Le matériel et la procédure expérimentale utilisés dans cette expérience ont été décrits au chapitre 5 (voir § 5.1, p. 127). Pour rappel, la PDT a été manipulée en utilisant des listes de paires de mots liés sémantiquement (*e.g.*, MARTEAU - OUTIL) ou phonétiquement (*e.g.*, BEURRE - HEURE) (voir en Annexe pp. 329 et 331). L'élaboration a été manipulée, quant à elle, à l'aide d'une tâche d'inversion de lettres (*e.g.*, condition non-élaborée = MARTEAU - OUTIL ; condition élaborée = AMRTEAU - OUTIL). Enfin, la spécificité d'encodage a été manipulée en utilisant trois tests de récupération différents (*i.e.*, rappel libre, rappel indicé et reconnaissance).

Huit blocs Apprentissage/Test ont été proposés aux sujets, 4 blocs étant alloués à la condition de présentation « lente » (*i.e.*, 3 secondes) et les 4 autres blocs à la condition de présentation « rapide » (*i.e.*, 2 secondes). Au sein de ces conditions de présentation,

Encodage		Récupération	2 s. de présentation	3 s. de présentation
Sémantique	Passif	Rappel libre	6.8 (2.8)	8.6 (2.8)
		Rappel indicé	9.8 (5.0)	12.0 (3.4)
		Reconnaissance	13.5 (2.6)	15.5 (2.2)
	Actif	Rappel libre	7.0 (1.8)	8.2 (2.4)
		Rappel indicé	12.0 (3.8)	12.4 (4.0)
		Reconnaissance	16.5 (2.0)	16.4 (2.4)
Phonétique	Passif	Rappel libre	4.8 (1.6)	6.8 (3.8)
		Rappel indicé	3.6 (3.2)	4.8 (3.8)
		Reconnaissance	12.3 (3.0)	14.0 (2.8)
	Actif	Rappel libre	5.2 (2.0)	6.2 (2.2)
		Rappel indicé	3.6 (3.4)	4.4 (3.2)
		Reconnaissance	14.1 (2.6)	14.4 (2.6)

TAB. 7.1 – Performances de mémoire (*i.e.*, nombre de mots cibles correctement restitués) en fonction des conditions d’encodage et de récupération, ainsi que de la durée de présentation du matériel. Les déviations standards sont indiquées entre parenthèses.

chacun des 4 blocs correspondait à une des 4 listes d’apprentissage possibles, c’est-à-dire « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée ». La Figure 5.1 (voir chapitre 5, p. 129) résume les manipulations expérimentales effectuées pour chaque condition de présentation.

7.1.3 Résultats

Les performances de mémoire des sujets sont présentées dans le Tableau 7.1. Les résultats ont été analysés à l’aide d’une ANOVA de type 2 (durée de présentation) \times 2 (PDT) \times 2 (élaboration) \times 3 (type de restitution), en mesures répétées.

L’ANOVA indique un effet significatif des 4 facteurs manipulés : « Durée de présentation » [$F(1,33) = 18.206$, $p < .0001$]; « PDT » [$F(1,33) = 283.609$, $p < .0001$]; « Elaboration » [$F(1,33) = 12.969$, $p < .002$]; et « Type de restitution » [$F(2,66) = 385.150$, $p < .0001$]. L’examen des moyennes révèle que les sujets obtiennent de meilleures performances en utilisant une durée de présentation de 3 secondes, des listes sémantiques et un encodage actif, comparé à une durée de présentation de 2 secondes, des listes phonétiques et un encodage passif, respectivement. Les résultats démontrent également que les performances sont croissantes du rappel libre à la reconnaissance, en passant par le rappel indicé.

Concernant les effets d’interaction, l’interaction $PDT \times Elaboration$ est significative et indique un effet d’élaboration augmenté sur les listes sémantiques comparé aux listes pho-

nétiques [$F(1,33) = 5.910, p < .021$]. De plus, les interactions $PDT \times Type\ de\ restitution$ [$F(2,66) = 117.306, p < .0001$] et $Elaboration \times Type\ de\ restitution$ [$F(2,66) = 6.791, p < .003$] sont également significatives, indiquant que les effets de PDT et d'élaboration sont augmentés en rappel indicé et en reconnaissance, respectivement. La triple interaction $PDT \times Elaboration \times Type\ de\ restitution$ présente une tendance à la significativité [$F(2,66) = 2.816, p = .068$]. Ce résultat tend à démontrer que l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée en rappel indicé et en reconnaissance par rapport au rappel libre. Les meilleures performances sont par ailleurs obtenues en utilisant des listes sémantiques et un encodage actif, associés à un test de reconnaissance.

Pour finir, une interaction significative entre la durée de présentation et l'élaboration a été révélée, indiquant un effet d'élaboration augmenté en utilisant une présentation de 2 secondes, par rapport à une présentation de 3 secondes [$F(1,33) = 7.706, p < .010$]. Précisément, l'aide à l'élaboration a permis d'obtenir, globalement, le même niveau de performance dans la condition « rapide » que dans la condition « lente ».

7.1.4 Discussion

Comme attendu, nous avons observé dans cette expérience une baisse de performance des sujets en utilisant une durée de présentation de 2 secondes, comparé à 3 secondes de présentation. Nous avons également obtenu un effet global des aides de mémoire, utilisées séparément ou simultanément. Le résultat majeur qui sera discuté ici est celui de l'interaction spécifique entre l'aide à l'élaboration et la durée de présentation des items. Ce résultat pourrait être expliqué à la fois par la théorie de « vitesse de traitement » de Salthouse (1996) et par le modèle de compensation de Bäckman et Dixon (1992).

ÉLABORATION ET VITESSE DE TRAITEMENT

Dans la littérature du vieillissement, Salthouse (*e.g.*, 1991, 1992, 1994, 2000) a reporté de nombreux résultats indiquant que la baisse de performance des sujets âgés pourrait être expliquée par une baisse de la vitesse de traitement lors des opérations cognitives. Précisément, selon l'hypothèse de Salthouse (1996), les performances sont dégradées lorsque les capacités de traitement diminuent car les opérations cognitives ne peuvent plus être correctement exécutées dans le temps de traitement imparti et, de fait, les produits des traitements « primaires » sont peu pertinents, voire indisponibles, pour les opérations de

plus « haut niveau ». Cette hypothèse a particulièrement été formulée dans le cadre du vieillissement cognitif, mais il semblerait que l'idée générale soit valide tout au long de la vie puisque des études reportent des résultats concordants au sujet du développement des fonctions cognitives chez l'enfant (*e.g.*, Kail, 1986, 1991; Kail et Park, 1992).

Salthouse (1996) propose que manipuler la durée de présentation des items permet de recueillir des informations sur le lien entre les performances de mémoire et le temps de traitement disponible. Précisément, il peut être supposé que plus une opération cognitive nécessite de temps pour être menée à bien, plus une durée de présentation courte va être critique en termes de performance. En outre, lors d'une tâche de mémoire associative, Salthouse (1994) a démontré que les faibles performances des sujets âgés, par rapport aux jeunes, pouvaient être expliquées par une déficience d'encodage des informations. L'auteur a alors suggéré que la baisse de vitesse de traitement des sujets âgés avaient réduit la quantité d'élaboration possible dans le temps imparti. En d'autres termes, les baisses de performances mnésiques des âgés pourraient être expliquées par des difficultés d'élaboration spontanée des informations, dues à une vitesse de traitement ralentie.

Dans ce cadre, il peut être supposé que réduire la durée de présentation des items chez des sujets jeunes devrait entraîner les mêmes effets que ceux normalement observés dans le vieillissement. Précisément, une durée de présentation courte devrait particulièrement affecter les processus d'élaboration. Les résultats de notre expérience semblent alors apporter une réponse positive en indiquant une sensibilité spécifique de l'aide à l'élaboration par rapport à la durée de présentation ¹.

EFFET COMPENSATOIRE

Nous venons de voir que lorsque la durée de présentation des items est réduite, la baisse de performance pourrait être imputée à une déficience des processus d'élaboration. Dans notre expérience, l'effet d'interaction observé entre la durée de présentation et l'aide à l'élaboration indique pourtant que l'effet d'élaboration est augmenté en utilisant une présentation de 2 secondes, comparé à 3 secondes. Si, comme nous le supposons, la durée de présentation a bien affecté la probabilité d'engager spontanément des processus

¹L'interaction semble effectivement spécifique puisque aucun effet significatif de la durée de présentation n'est observé sur les facteurs « PDT » ou « Type de restitution ». Ces résultats indiquent que les effets de l'aide sémantique et de l'aide à la récupération sont identiques, quelle que soit la durée de présentation.

d'élaboration et puisque, cependant, l'effet de l'aide a été augmenté dans la condition de présentation la plus rapide, c'est qu'un phénomène de compensation est apparu. Nous proposons alors d'interpréter ce résultat à l'aide du modèle de Bäckman et Dixon (1992).

Dans leur modèle, les auteurs suggèrent que l'un des mécanismes compensatoires possibles est un surinvestissement en temps ou en effort dans un processus cognitif déficient. Ce mécanisme est appelé *remédiation* (voir chapitre 1, § 1.2.2, p. 17). Nous proposons alors que le phénomène compensatoire observé dans notre expérience (*i.e.*, même niveau de performance entre les deux conditions de présentation lors de l'utilisation d'une aide à l'élaboration) est dû à un surinvestissement des processus d'élaboration engendré par la tâche d'inversion de lettres.

En conclusion : Il est probable que la durée de présentation influence l'efficacité des processus d'élaboration. Précisément, il peut être supposé qu'une durée de présentation courte réduit la probabilité d'une mise en jeu spontanée de ces processus. Cependant, chez des sujets jeunes, nos résultats semblent indiquer qu'une aide à l'élaboration permet de compenser l'effet délétère d'une courte présentation des informations à mémoriser.

7.2 Organisation du matériel

Similairement à la durée de présentation, l'*organisation du matériel* peut être utilisée afin de manipuler la difficulté de la tâche. En effet, plusieurs travaux ont démontré que du matériel non-organisé induit de moins bonnes performances que du matériel organisé, par l'expérimentateur ou par les sujets eux-mêmes (*e.g.*, Burack et Lachman, 1996; Hulstsch, 1971; Olofsson et Bäckman, 1993; Sharps, 1997). L'objectif de cette nouvelle expérimentation était de reproduire l'expérience précédente en utilisant cet autre facteur de difficulté. Notre hypothèse était ici qu'un matériel non-organisé devrait réduire les performances des sujets mais augmenter les effets d'interaction entre les aides de mémoire, par rapport à un matériel organisé.

7.2.1 Sujets

Les sujets ayant participé à cette expérience étaient 34 étudiants volontaires, inscrits à l'Université *Victor Segalen* Bordeaux 2 ou à l'Institut de Formation en Ergothérapie

du C.H.U. Pellegrin de Bordeaux. Le groupe était constitué de 24 femmes et 10 hommes, âgés de 18 à 30 ans ($M = 21.4$, $DS = 1.6$). Tous les sujets étaient droitiers et avaient pour langue maternelle le Français.

7.2.2 Matériel et méthodes

La démarche expérimentale utilisée ici est identique à celle de l'expérience précédente (voir chapitre 5, § 5.1.2, p. 127), excepté pour le facteur de difficulté (*i.e.*, organisation du matériel). Concernant ce facteur, 2 conditions ont été employées : (1) une condition « organisée » dans laquelle les listes de paires de mots étaient constituées de 5 blocs « catégoriels » de 4 items reliés chacun ; et (2) une condition « non-organisée » dans laquelle les listes étaient composées à partir de paires de mots sélectionnées aléatoirement parmi toutes les catégories utilisées.

Les catégories sémantiques ont été tirées du travail de Jaunaux (1991) qui a adapté le matériel de Battig et Montague (1969) à la langue Française (voir en Annexe, p. 335). Les catégories phonétiques ont été construites, quant à elles, à partir de notre base d'associations phonétiques (voir en Annexe, p. 337). Chaque liste sémantique a alors été assemblée à partir de 5 blocs « sémantiques » (*e.g.*, 4 paires de mots successives appartenant à la catégorie « Animaux » + 4 paires de mots successives appartenant à la catégorie « Outils » + *etc.*) et chaque liste phonétique a été construite à partir de 5 blocs « phonétiques » (*e.g.*, 4 paires de mots successives rimant avec « Panier » + 4 paires de mots successives rimant avec « Signal » + *etc.*). Pour chaque liste, l'ordre de présentation des blocs catégoriels a été contrebalancé entre les sujets.

Ici, les 8 blocs Apprentissage/Test étaient divisés en 4 blocs alloués à la condition « organisée » et les 4 autres à la condition « non-organisée ». Au sein de ces conditions d'organisation, chacun des 4 blocs correspondait à une des 4 listes d'apprentissage possibles, c'est-à-dire « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée ». La Figure 5.1 (voir chapitre 5, p. 129) résume les manipulations expérimentales effectuées pour chaque condition d'organisation.

Encodage		Récupération	Organisé (en catégories)	Non-organisé
Sémantique	Passif	Rappel libre	12.0 (3.4)	10.2 (3.0)
		Rappel indicé	13.2 (3.8)	11.0 (3.4)
		Reconnaissance	17.2 (1.6)	15.6 (2.2)
	Actif	Rappel libre	13.2 (2.8)	10.0 (2.6)
		Rappel indicé	13.8 (3.8)	12.2 (3.0)
		Reconnaissance	18.2 (1.2)	17.1 (1.6)
Phonétique	Passif	Rappel libre	7.0 (2.4)	6.0 (2.2)
		Rappel indicé	3.0 (2.6)	3.2 (2.2)
		Reconnaissance	14.0 (3.2)	12.6 (2.8)
	Actif	Rappel libre	6.8 (2.8)	7.2 (2.2)
		Rappel indicé	4.0 (2.4)	4.4 (3.2)
		Reconnaissance	15.9 (2.4)	15.3 (3.2)

TAB. 7.2 – Performances de mémoire (*i.e.*, nombre de mots cibles correctement restitués) en fonction des conditions d’encodage et de récupération, ainsi que de l’organisation du matériel. Les déviations standards sont indiquées entre parenthèses.

7.2.3 Résultats

Les performances de mémoire des sujets sont présentées dans le Tableau 7.2. Les résultats ont été analysés à l’aide d’une ANOVA de type 2 (organisation) \times 2 (PDT) \times 2 (élaboration) \times 3 (type de restitution), en mesures répétées.

L’ANOVA indique un effet significatif des 4 facteurs manipulés : « Organisation » [F(1,33) = 36.136 ; p < .0001] ; « PDT » [F(1,33) = 717.501 ; p < .0001] ; « Elaboration » [F(1,33) = 40.397 ; p < .0001] ; et « Type de restitution » [F(2,66) = 393.760 ; p < .0001]. L’examen des moyennes révèle que les sujets obtiennent de meilleures performances en utilisant un matériel organisé, des listes sémantiques et un encodage actif, comparé à un matériel non-organisé, des listes phonétiques et un encodage passif, respectivement. Les résultats démontrent également que les performances sont croissantes du rappel libre à la reconnaissance, en passant par le rappel indicé.

Concernant les effets d’interaction, comme dans l’expérience précédente, les interactions *PDT* \times *Type de restitution* [F(2,66) = 117.306, p < .0001] et *Elaboration* \times *Type de restitution* [F(2,66) = 6.791, p < .003] sont significatives. Encore une fois, ces interactions indiquent que les effets de PDT et d’élaboration sont augmentés en rappel indicé et en reconnaissance, respectivement.

Concernant les relations entre le facteur de difficulté et les autres facteurs manipulés, une interaction significative est observée entre l’organisation du matériel et la PDT

[$F(1,33) = 12.471$; $p < .002$]. Précisément, cette interaction indique une baisse de l'effet de PDT en utilisant un matériel non-organisé. Cependant, l'interaction *Organisation* \times *PDT* \times *Type de restitution* est également significative et indique que l'effet délétère d'un matériel non-organisé sur les listes sémantiques est réduit en utilisant une tâche de reconnaissance [$F(2,66) = 5.534$; $p < .007$]. En d'autres termes, une aide à la récupération permet de compenser partiellement la baisse d'efficacité de l'aide sémantique induite par un matériel non-organisé. En outre, la quadruple interaction *Organisation* \times *PDT* \times *Elaboration* \times *Type de restitution* indique que cet effet compensatoire est encore augmenté en utilisant un encodage actif [$F(2,66) = 3.035$; $p < .050$]. Les résultats indiquent ainsi que bien qu'un matériel non-organisé défavorise l'efficacité de l'aide sémantique, cette baisse d'efficacité peut être compensée par l'utilisation concomitante d'une aide à l'élaboration, à l'encodage, et d'une aide à la récupération.

7.2.4 Discussion

Comme attendu, nous avons observé dans cette expérience une baisse de performance des sujets en utilisant un matériel non-organisé, comparé à un matériel organisé. Nous avons également obtenu un effet global des aides de mémoire, utilisées séparément ou simultanément. Précisément, trois résultats principaux ont été observés : (1) une interaction spécifique peut être remarquée entre l'organisation du matériel et la PDT, indiquant que l'aide sémantique est moins efficace en utilisant du matériel non-organisé qu'organisé ; (2) cependant, cette baisse d'efficacité peut être compensée partiellement par une aide à la récupération ; (3) l'effet compensatoire est encore augmenté lorsque l'on ajoute une aide à l'élaboration, aux deux autres aides.

Ces résultats sont alors en accord avec notre hypothèse principale puisque une condition expérimentale plus difficile (*i.e.*, matériel non-organisé *vs.* organisé en catégories) baisse les performances mnésiques des sujets, mais augmente de façon concomitante les interactions entre les aides de mémoire utilisées. Ces interactions augmentées permettent alors une compensation partielle de la difficulté de la tâche. Ici, nous aborderons en premier l'interaction particulière entre les facteurs « Organisation » et « PDT ». Comme dans l'expérience précédente, nous proposerons ensuite une explication du phénomène compensatoire dans le cadre du modèle de Bäckman et Dixon (1992).

PROFONDEUR DE TRAITEMENT ET ORGANISATION DU MATÉRIEL

L'interaction spécifique observée dans cette expérience, entre l'organisation du matériel et la PDT, est en accord avec de nombreux travaux de la littérature indiquant qu'un encodage sémantique des informations s'avère particulièrement efficace pour augmenter les performances de mémoire lorsque le matériel est « catégorisé » (*e.g.*, Einstein *et al.*, 1984, 1990; Hunt et Smith, 1996; McDaniel *et al.*, 1988). La différence de performance obtenue entre un matériel organisé et un matériel non-organisé pourrait s'expliquer par une meilleure intégration en mémoire des nouvelles informations, lorsque celles-ci sont organisées en catégories (*e.g.*, Shimamura *et al.*, 1995). L'utilisation de paires de mots reliés sémantiquement et d'une organisation en catégories du matériel sont alors deux aides qui vont permettre de donner plus de sens et de cohérence aux informations à mémoriser (voir chapitre 2, § 2.2.1, p. 52). De fait, les informations vont être mieux intégrées dans les connaissances du sujet, elles seront alors plus facilement récupérables en mémoire, ce qui augmentera les performances. Par opposition, un matériel non-organisé n'offrira pas un tel soutien aux processus mnésiques, induisant de fait de moins bonnes performances.

EFFET COMPENSATOIRE

Dans cette expérimentation, nous avons pu observer qu'un matériel non-organisé défavorise l'efficacité de l'aide sémantique mais que cette baisse d'efficacité peut être compensée par l'utilisation concomitante d'une aide à la récupération, et ceci d'autant plus si l'on ajoute également une aide à l'élaboration. A nouveau, nous proposons d'interpréter ce résultat à l'aide du modèle de Bäckman et Dixon (1992).

Dans leur modèle, les auteurs suggèrent que l'un des mécanismes compensatoires possibles est l'utilisation d'une compétence préservée dans le répertoire cognitif afin de compenser un processus déficient. Ce mécanisme est appelé *substitution* (voir chapitre 1, § 1.2.2, p. 17). Bien qu'ici les processus de traitement sémantique ne soient pas littéralement « substitués » mais plutôt potentialisés, nous proposons que le phénomène compensatoire observé dans cette expérience est dû à un effet de substitution partielle des traitements sémantiques par des processus d'élaboration et de récupération augmentés.

Par ailleurs, ce résultat pourrait être également interprété à l'aide du modèle de compensation de Salthouse (1995) ² qui indique que l'origine de la compensation est une altération objective d'un ou de plusieurs processus cognitifs, cette altération pouvant être compensée par une efficacité augmentée d'un ou plusieurs processus non-affectés.

En conclusion : L'organisation du matériel semble influencer particulièrement l'efficacité de l'aide au traitement sémantique. Précisément, un matériel non-organisé semble réduire la probabilité d'une mise en jeu spontanée de la PDT. Cependant, chez des sujets jeunes, nos résultats indiquent qu'une aide à l'élaboration et une aide à la récupération, utilisées de façon concomitante avec une aide sémantique, permettent de compenser l'effet délétère d'un matériel non-organisé sur les performances.

7.3 Consignes de récupération

Plusieurs auteurs ont rapporté qu'une *consigne de récupération* rigoureuse induit une baisse de performance sur les items mémorisés, lorsqu'aucune aide n'est proposée aux sujets ³ (*e.g.*, Koutstaal *et al.*, 1999; Roediger et McDermott, 1999). L'objectif de cette dernière expérimentation était de reproduire les deux expériences précédentes en utilisant la consigne de récupération (*i.e.*, consigne laxiste *vs.* consigne rigoureuse) comme facteur de difficulté. Ici, il est à noter que la difficulté de la tâche n'est pas manipulée *stricto sensu* ⁴, mais ce sont les exigences de réponse qui peuvent être plus ou moins contraignantes. Notre hypothèse était qu'une consigne rigoureuse devrait réduire les performances des sujets, mais augmenter les effets d'interaction entre les aides de mémoire, par rapport à une consigne laxiste.

²Pour rappel, ce modèle se formalise par l'équation suivante : $Y = a_1.X_1 + a_2.X_2 + a_3.X_3 + \dots + a_n.X_n$, où Y est la performance molaire (*i.e.*, performance globale sur la tâche), X_n est le n^{ieme} processus moléculaire intervenant dans la tâche et a_n est le coefficient de participation du n^{ieme} processus.

³Ce résultat est particulièrement vrai sur des tâches de reconnaissance.

⁴En effet, le matériel et le protocole expérimental sont strictement les mêmes dans les deux conditions de « difficulté ».

7.3.1 Sujets

Les sujets ayant participé à cette expérience étaient 43 étudiants volontaires, inscrits à l'Université *Victor Segalen* Bordeaux 2 ou à l'Institut de Formation en Ergothérapie du C.H.U. Pellegrin de Bordeaux. Le groupe était constitué de 29 femmes et 14 hommes âgés, de 18 à 30 ans ($M = 20.2$, $DS = 1.2$). Tous les sujets étaient droitiers et avaient pour langue maternelle le Français.

7.3.2 Matériel et méthodes

A nouveau, la démarche expérimentale utilisée ici est identique aux expériences précédentes (voir chapitre 5, § 5.1.2, p. 127), excepté pour le facteur de difficulté (*i.e.*, consignes de récupération). Concernant ce facteur, 2 conditions ont été employées : (1) une condition « laxiste » dans laquelle les sujets devaient répondre, lors des tests, en respectant la consigne suivante : « Donnez une réponse même si vous n'êtes pas sûr de votre réponse » ; et (2) une condition « rigoureuse » dans laquelle les sujets devaient répondre en respectant la consigne suivante : « Ne répondez que si vous êtes sûr de votre réponse ». Au début de chaque bloc, il était alors demandé aux sujets de répondre soit en utilisant la consigne laxiste ou rigoureuse lors des tests.

Ici, les 8 blocs Apprentissage/Test étaient divisés en 4 blocs alloués à la condition « laxiste » et les 4 autres à la condition « rigoureuse ». Au sein de ces conditions de consigne, chacun des 4 blocs correspondait à une des 4 listes d'apprentissage possibles, c'est-à-dire « phonétique non-élaborée », « phonétique élaborée », « sémantique non-élaborée » ou « sémantique élaborée ». La Figure 5.1 (voir chapitre 5, p. 129) résume les manipulations expérimentales effectuées pour chaque condition de consigne.

Dans cette expérimentation, le matériel utilisé était le même que celui de l'expérience 2 (voir en Annexe, p. 329 et p. 331) et la durée de présentation a été fixée à 3 secondes.

7.3.3 Résultats

Les performances de mémoire des sujets sont présentées dans le Tableau 7.3. Les résultats ont été analysés à l'aide d'une ANOVA de type 2 (type de consigne) \times 2 (PDT) \times 2 (élaboration) \times 3 (type de restitution), en mesures répétées.

Encodage		Récupération	Consigne laxiste	Consigne rigoureuse
Sémantique	Passif	Rappel libre	6.6 (2.1)	6.7 (1.9)
		Rappel indicé	11.8 (4.1)	11.1 (3.7)
		Reconnaissance	15.8 (2.4)	14.8 (4.7)
	Actif	Rappel libre	7.4 (2.0)	7.8 (1.7)
		Rappel indicé	12.2 (3.7)	11.7 (4.0)
		Reconnaissance	15.8 (2.1)	16.0(2.7)
Phonétique	Passif	Rappel libre	4.6 (1.8)	4.7 (1.9)
		Rappel indicé	6.4 (2.6)	5.2 (2.9)
		Reconnaissance	12.8 (2.5)	12.0 (3.8)
	Actif	Rappel libre	5.6 (2.0)	5.7 (1.8)
		Rappel indicé	5.6 (3.1)	5.1 (2.5)
		Reconnaissance	14.4 (2.3)	14.8 (3.8)

TAB. 7.3 – Performances de mémoire (*i.e.*, nombre de mots cibles correctement restitués) en fonction des conditions d'encodage et de récupération, ainsi que des consignes de récupération. Les déviations standards sont indiquées entre parenthèses.

L'ANOVA indique un effet significatif des facteurs suivants : « PDT » [$F(1,41) = 386.701$, $p < .0001$]; « Elaboration » [$F(1,41) = 46.072$, $p < .0001$]; et « Type de restitution » [$F(2,82) = 335.575$, $p < .0001$]. L'examen des moyennes révèle que les sujets obtiennent de meilleures performances en utilisant des listes sémantiques et un encodage actif, comparé à des listes phonétiques et un encodage passif, respectivement. Les résultats démontrent également que les performances sont croissantes du rappel libre à la reconnaissance, en passant par le rappel indicé.

Concernant les effets d'interaction, toutes les interactions se révèlent significatives. L'interaction $PDT \times Elaboration$ indique un effet d'élaboration significativement augmenté sur les listes sémantiques, comparé aux listes phonétiques [$F(2,82) = 5.205$, $p < .028$]. Comme dans les deux expériences précédentes, l'interaction $PDT \times Type\ de\ restitution$ révèle un effet de PDT augmenté en rappel indicé, comparé aux autres tests [$F(2,82) = 70.031$, $p < .0001$]. En outre, contrairement cette fois-ci aux deux expériences précédentes (où l'effet d'élaboration était maximal en reconnaissance), l'interaction $Elaboration \times Type\ de\ restitution$ démontre que l'effet d'élaboration le plus fort est obtenu en rappel libre, puis en reconnaissances et, enfin, en rappel indicé [$F(2,82) = 26.790$, $p < .0001$]. Similairement, la triple interaction $PDT \times Elaboration \times Type\ de\ restitution$ indique que l'interaction $PDT \times Elaboration$ est la plus forte en rappel libre, comparé aux deux autres type de récupération [$F(2,82) = 39.529$, $p < .0001$].

Concernant les relations entre le facteur de difficulté et les autres facteurs manipulés, toutes les interactions se révèlent également significatives. Les résultats indiquent que les effets de PDT [$F(1,41) = 10.297, p < .003$] et d'élaboration [$F(1,41) = 22.249, p < .0001$] sont tous deux augmentés en utilisant une consigne rigoureuse, comparé à une consigne laxiste. De plus, l'interaction *Type de consigne* \times *Type de restitution* révèle qu'une consigne rigoureuse a un effet plutôt bénéfique sur les tâches de rappel libre alors qu'elle n'a pas d'effet, voire un effet délétère, sur les tâches de reconnaissance et de rappel indicé, respectivement. Les interactions à trois facteurs indiquent que les interactions *PDT* \times *Elaboration*, *PDT* \times *Type de restitution* et *Elaboration* \times *Type de restitution* sont significativement différentes entre la condition rigoureuse et la condition laxiste. Précisément, la première de ces interactions démontre que le bénéfice cumulé d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration est d'autant plus fort que la consigne est rigoureuse [$F(1,41) = 17.483, p < .0001$]. Les deux autres interactions révèlent, quant à elles, qu'en condition rigoureuse les effets de PDT [$F(2,82) = 10.410, p < .0001$] et d'élaboration [$F(2,82) = 11.597, p < .0001$] sont augmentés en rappel libre par rapport aux autres tests. Enfin, la quadruple interaction (*i.e.*, *Type de consigne* \times *PDT* \times *Elaboration* \times *Type de restitution*) indique particulièrement que le bénéfice d'un encodage actif, en utilisant des listes sémantiques et des tests de reconnaissance, est augmenté en condition rigoureuse, comparé à la condition laxiste [$F(2,82) = 11.305, p < .0001$].

7.3.4 Discussion

Dans cette expérience, les résultats ont indiqué un effet bénéfique des aides de mémoire, utilisées séparément ou simultanément. En revanche, le facteur « Type de consigne » ne s'est pas montré significatif. Ce résultat peut être expliqué de deux façons : (1) soit le changement de consigne n'a eu aucun effet sur les performances ; (2) soit la difficulté potentiellement entraînée par la consigne rigoureuse a été globalement compensée par les aides de mémoire. Après examen des données expérimentales, les résultats ont révélé que les performances des sujets étaient diminuées en utilisant une consigne rigoureuse lorsqu'aucune aide n'était fournie au sujet (*e.g.*, listes phonétiques ou encodage passif). En revanche, dans la condition rigoureuse, les performances sont augmentées en utilisant les aides de mémoire (*e.g.*, listes sémantiques et encodage actif), dépassant même les performances obtenues en condition laxiste. Ainsi, puisque les performances des sujets diminuent

sans l'utilisation des aides et puisque nous constatons un grand nombre d'effets d'interaction entre les aides dans la condition rigoureuse, alors nous proposons que le manque de significativité du facteur « Type de consigne » pourrait refléter une compensation globale de la difficulté.

Concernant notre sujet d'investigation, les résultats de cette expérience sont particulièrement intéressants. En effet, ils indiquent que le bénéfice d'un encodage sémantique ou actif est augmenté en utilisant une consigne rigoureuse, par rapport à une consigne laxiste, que les aides soient utilisées séparément ou de façon concomitante. En d'autres termes, lorsque les contraintes sur la tâche augmentent, l'efficacité d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration (et *a fortiori* leur interaction) augmente également. En outre, les résultats démontrent aussi que l'association d'un encodage sémantique et élaboré avec un support à la récupération (*i.e.*, tâche de reconnaissance) est plus efficace dans la condition rigoureuse que laxiste. L'ensemble de ces résultats est donc en accord avec notre hypothèse générale puisqu'une condition expérimentale plus contraignante rend les performances de mémoire plus dépendantes des interactions entre les processus cognitifs impliqués dans la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage.

Nous allons maintenant discuter de l'augmentation des effets d'interaction dans cette expérimentation par rapport aux autres expériences.

EFFET COMPENSATOIRE, ÉTAT DE CONSCIENCE ET COMPORTEMENT AUTO-INITIÉ

Dans le modèle de Bäckman et Dixon (1992), les auteurs soulignent que la question de l'*état de conscience* est crucial dans les phénomènes de compensation. Précisément, la position des auteurs est que les mécanismes compensatoires peuvent être dépendants de différents états de conscience, correspondant à un comportement plus ou moins auto-initié ou automatique des sujets. Selon Bäckman et Dixon (1992), les états de conscience se succèdent sur un continuum le long duquel les mécanismes compensatoires peuvent être initiés avec plus ou moins d'effort de la part du sujet. Par exemple, selon cette conception, l'apprentissage de stratégies mnémotechniques va tout d'abord nécessiter de la concentration et de l'investissement de la part du sujet puis, à mesure qu'il s'entraîne, l'application de ces stratégies sera de plus en plus facile. Dixon et Bäckman (2005) suggèrent alors que les mécanismes compensatoires peuvent être automatisés, mais qu'un certain état de

conscience est cependant nécessaire (accompagné d'un effort cognitif), du moins au départ du processus de compensation.

Dans cette expérience, nous pouvons supposer que, bien que la consigne rigoureuse rende la tâche plus contraignante et donc *a priori* plus difficile, l'utilisation de cette consigne a également permis de focaliser l'attention et la motivation des sujets sur leurs performances, offrant une probabilité augmentée qu'ils s'investissent dans la tâche. Les sujets voulant optimiser leurs performances afin de respecter la consigne rigoureuse, ils pourraient avoir auto-initié des stratégies compensatoires concordantes avec les aides de mémoire.

Ainsi, les effets d'interaction entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage sembleraient dépendants de l'état de conscience du sujet et de sa capacité à profiter « explicitement » des aides de mémoire proposées. Précisément, plus l'attention du sujet est focalisé sur ses performances, plus le bénéfice est grand de faciliter simultanément les processus cognitifs impliqués dans les facteurs décrits dans le cadre des niveaux de traitement. Par ailleurs, bien que les effets de PDT et d'élaboration puissent être obtenus sur des tâches de mémoire implicites (*e.g.*, Challis et Brodbeck, 1992; Nicolas *et al.*, 1996), il est bien connu dans la littérature que ces effets sont particulièrement marqués lors de tâches de mémoire explicites (*e.g.*, Roediger *et al.*, 1992; Toth *et al.*, 1994). Les résultats de cette expérience sont alors en accord avec ces travaux, indiquant que les effets d'interaction dans le cadre des niveaux de traitement, comme les effets isolés, seraient dépendants de l'état de conscience du sujet.

En conclusion : Une consigne rigoureuse semble réduire les performances des sujets, sans utilisation d'aide de mémoire (*e.g.*, encodage phonétique ou non-élaboré). En revanche, dans cette situation, les effets des aides sont potentialisés permettant de compenser totalement la difficulté de la tâche. En outre, le bénéfice des aides, utilisées séparément ou de façon concomitante, pourrait dépendre des comportements auto-initiés par les sujets et de leur état de conscience.

7.4 Discussion générale

Dans ce chapitre, nous avons présenté trois expériences qui avaient pour but d'étudier les effets respectifs et interactifs de trois types d'aide de mémoire, issus du cadre des

niveaux de traitement, en fonction de la difficulté de la tâche. L'objectif principal était de démontrer que, chez le sujet jeune, augmenter modérément la difficulté de la tâche permet de potentialiser les interactions entre les aides, offrant un support aux phénomènes de compensation mnésique.

Pour ce faire, nous avons considéré des listes de paires de mots sémantiquement liés, un encodage actif et des tests de rappel indicé ou de reconnaissance comme des aides de mémoire. Trois expériences ont été menées afin de manipuler la durée de présentation des items, l'organisation du matériel et la consigne de récupération. Dans ce contexte, nous nous attendions à ce qu'une durée de présentation relativement courte, du matériel non-organisé en catégories et une consigne rigoureuse diminuent les performances. Nous nous attendions également à ce que l'utilisation simultanée des aides de mémoire compense les difficultés, du moins partiellement.

7.4.1 Compensation et cadre des niveaux de traitement

Tout d'abord, les résultats ont indiqué que les trois facteurs de difficulté manipulés tendent bien à faire baisser les performances lorsqu'aucune aide n'est apportée aux sujets.

Les résultats ont révélé également que les trois aides de mémoire utilisées ont apporté un soutien significatif dans chaque expérience. Ainsi, quel que soit le type de difficulté manipulé, ces résultats répliquent les données bien connues du cadre des niveaux de traitement, démontrant qu'un encodage sémantique (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975) ou élaboré (*e.g.*, Mäntylä et Nilsson, 1983) des informations, de même qu'une restitution du contexte d'encodage (*e.g.*, Tulving et Thomson, 1973), permet d'augmenter les performances de mémoire.

Au sujet des interactions entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage, les résultats indiquent en revanche des effets variables de ces interactions en fonction du facteur de difficulté manipulé. Précisément, l'aide sémantique et l'aide à l'élaboration semblent particulièrement sensibles, respectivement, à l'organisation du matériel et à la durée de présentation des items. De plus, une des observations principales est que les effets d'interaction ont été augmentés en utilisant une consigne rigoureuse, qui focalise l'attention des sujets (*i.e.*, leur état de conscience) sur leurs performances. L'augmentation des interactions pourrait alors avoir supporté un phénomène de compensation globale de la difficulté sur les performances des sujets. De fait, il semblerait que, chez le sujet jeune, les

effets d'interaction supportent des phénomènes de compensation mnésique, particulièrement, lorsque les sujets sont conscients des contraintes de la tâche. Un premier élément de réponse à cette suggestion est donné par l'analyse des questionnaires d'évaluation subjective qui ont été utilisés. Pour rappel, ces questionnaires servaient à recueillir des données subjectives concernant la difficulté de la tâche. Dans ces questionnaires, il était notamment demandé aux sujets si la condition dite « difficile » leur avait paru vraiment plus contraignante que la condition dite « facile ». Les résultats des questionnaires ont alors indiqué que la proportion de sujets qui ont répondu « OUI » à cette question était de 93, 60 et 13%, respectivement, lorsque le facteur de difficulté manipulé était l'organisation du matériel, la consigne de récupération et la durée de présentation des items. Étant donné que la manipulation de l'organisation du matériel et de la consigne de récupération ont engendré plus d'interaction entre les aides de mémoire que la durée de présentation et que ce sont également ces deux manipulations qui ont induit le plus de difficulté subjective chez les sujets, il pourrait être proposé que la mise en jeu des processus d'interaction entre les aides est dépendant de l'état de conscience des sujets. Il est alors nécessaire de vérifier cette suggestion par de plus amples investigations, en utilisant un protocole expérimental visant à séparer des mesures explicites et implicites de l'effet des aides.

7.4.2 Performances de mémoire

La Figure 7.1 représente les performances des sujets en fonction du type et du nombre d'aides proposées, ainsi que du type de facteur de difficulté manipulé. Ici, les performances obtenues en utilisant une aide sémantique (Sem.), une aide à l'élaboration (Elab.) et une aide à la récupération (Récup.) (*i.e.*, tâche de reconnaissance), séparément ou de façon concomitante, sont comparées entre les trois expériences qui ont été menées (*i.e.*, manipulation de la durée de présentation, de l'organisation du matériel et du type de consignes de récupération). D'après ces résultats, il peut être constaté, premièrement, que le profil observé est similaire dans les trois expériences, c'est-à-dire quel que soit le type de difficulté rencontré par les sujets. Deuxièmement, sur l'ensemble des expériences, trois conclusions générales peuvent être formulées : (1) aider la récupération des informations (*i.e.*, test de reconnaissance) est toujours plus profitable en termes de performance qu'aider l'encodage des informations (*i.e.*, traitement sémantique ou élaboré) ; (2) associer une aide à l'encodage et une aide à la récupération (*i.e.*, traitement sémantique + tâche de reconnaissance

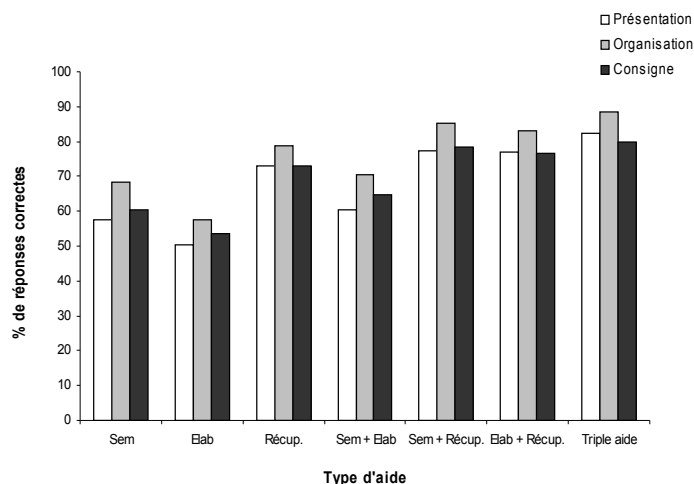


FIG. 7.1 – Performances des sujets en fonction du type et du nombre d'aides proposées, ainsi que du type de facteur de difficulté manipulé. Ici, les performances obtenues en utilisant une aide sémantique (*Sem.*), une aide à l'élaboration (*Elab.*) et une aide à la récupération (*Récup.*) (*i.e.*, tâche de reconnaissance), séparément ou de façon concomitante, sont comparées entre les trois expériences qui ont été menées (*i.e.*, manipulation de la durée de présentation, de l'organisation du matériel et du type de consignes de récupération).

ou traitement élaboré + tâche de reconnaissance) est toujours plus profitable qu'associer deux aides à l'encodage (*i.e.*, traitement sémantique + traitement élaboré); enfin, (3) bien que l'utilisation simultanée des trois aides (*i.e.*, traitement sémantique + traitement élaboré + tâche de reconnaissance) offre toujours les meilleures performances, cette situation n'est pas beaucoup plus avantageuse que l'association d'une seule aide à l'encodage et d'une aide à la récupération (*i.e.*, traitement sémantique + tâche de reconnaissance ou traitement élaboré + tâche de reconnaissance).

Ainsi, les interactions $PDT \times Type\ de\ restitution$ et $Elaboration \times Type\ de\ restitution$ semblent supporter de puissants phénomènes compensatoires. Par ailleurs, il se trouve que ces deux interactions sont justement les seules à avoir toujours été significatives dans chacune des expériences menées. Ce point nous semble alors particulièrement intéressant à discuter.

Premièrement, l'interaction $PDT \times Type\ de\ restitution$ a révélé que l'effet d'un traitement sémantique se ressent spécifiquement sur les tâches de rappel indicé, par rapport aux tâches de rappel libre ou de reconnaissance. Deuxièmement, l'interaction $Elaboration \times Type\ de\ restitution$ a indiqué un effet d'élaboration essentiellement mar-

qué sur la tâche de reconnaissance, comparé aux autres tâches. En analysant les tâches, il apparaît que la tâche de rappel indicé est la seule tâche de récupération qui nécessite la mise en jeu de processus associatifs dont des processus de traitement sémantique. En outre, la tâche d'élaboration que nous avons utilisée (*i.e.*, inversion de lettres) concerne le traitement des mots cibles à mémoriser et la tâche de reconnaissance est la seule tâche de récupération qui restitue spécifiquement les caractéristiques des mots cibles.

Les résultats obtenus semblent alors en accord avec le principe de transfert approprié (Morris *et al.*, 1977) puisque les performances de mémoire ont été potentialisées lorsque les conditions de récupération étaient en accord avec les traitements initiés lors de l'encodage des informations. L'adéquation Encodage/Récupération semble donc un facteur crucial dans les performances mnésiques. Par ailleurs, ces résultats sont également compatibles avec les suggestions de Craik et Lockhart (Craik, 2002; Lockhart, 2002; Lockhart et Craik, 1990), indiquant que la PDT et l'élaboration influenceraient l'adéquation Encodage/Récupération en favorisant la probabilité de transfert approprié des informations.

En conclusion : Pour répondre à notre questionnement principal, chez le sujet jeune, la compensation mnésique semble dépendante des interactions entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage, lorsque la difficulté ou les contraintes de la tâche sont manipulées. Cependant, cette affirmation semble particulièrement valide lorsque les sujets sont supposés engager un effort cognitif conscient dans la tâche. Concernant la relation entre les effets d'interaction dans le cadre des niveaux de traitement et le phénomène de compensation mnésique, toute proportion gardée, des phénomènes similaires sont donc observables entre les sujets jeunes et les âgés. Enfin, dans des considérations de pure assistance à la mémorisation, l'association d'une aide à l'encodage et d'une aide à la récupération semble le soutien cognitif le plus pertinent pour les sujets, d'autant plus si les traitements initiés lors des phases d'encodage et de récupération sont concordants.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Dans ce chapitre, nous avons présenté trois expériences qui avaient pour objectif d'étudier les effets respectifs et interactifs d'une aide facilitant un traitement profond (*i.e.*, listes de paires de mots liés sémantiquement), d'une aide à l'élaboration (*i.e.*, encodage actif) et d'une aide à la récupération (*i.e.*, restitution partielle ou complète des informations mémorisées), en fonction du facteur de difficulté manipulé (*i.e.*, durée de présentation, organisation du matériel, consignes de récupération).
- ❑ D'après les résultats de la première expérience, il pourrait être proposé que la durée de présentation influence particulièrement l'efficacité des processus d'élaboration. Précisément, une durée de présentation courte réduirait la probabilité d'une mise en jeu spontanée de ces processus. Cependant, chez des sujets jeunes, nos résultats semblent indiquer qu'une aide à l'élaboration permet de compenser l'effet délétère d'une courte présentation des informations à mémoriser (*i.e.*, mécanisme de compensation par remédiation).
- ❑ La seconde expérience a révélé, quant à elle, que l'organisation du matériel influence particulièrement l'efficacité des processus de traitement sémantique. Précisément, un matériel non-organisé semble réduire la probabilité d'une mise en jeu spontanée de ces processus. Cependant, chez des sujets jeunes, nos résultats indiquent qu'une aide à l'élaboration et une aide à la récupération, utilisées de façon concomitante avec une aide sémantique, permettent de compenser l'effet délétère d'un matériel non-organisé sur les performances (*i.e.*, mécanisme de compensation par substitution).
- ❑ Enfin, d'après la troisième expérience, une consigne rigoureuse réduit les performances des sujets sans utilisation d'aide de mémoire. En revanche, dans une situation de consigne rigoureuse, les effets des aides sont potentialisés permettant de compenser la difficulté de la tâche. En outre, le bénéfice des aides, utilisées séparément ou de façon concomitante, pourrait dépendre de l'état de conscience des sujets.
- ❑ En conclusion, chez le sujet jeune, la compensation mnésique semble majoritairement dépendante des interactions entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage, lorsque la difficulté ou les contraintes de la tâche sont augmentées. Cependant, cette affirmation semble particulièrement valide lorsque les sujets sont supposés engager un effort cognitif conscient dans la tâche. Concernant la relation entre les effets d'interaction dans le cadre des niveaux de traitement et le phénomène de compensation mnésique, toute proportion gardée, des phénomènes similaires sont donc observables entre les sujets jeunes et les âgés. Enfin, dans des considérations de pure assistance à la mémorisation, l'association d'une aide à l'encodage et d'une aide à la récupération semble le soutien cognitif le plus pertinent pour les sujets, d'autant plus si les traitements initiés lors des phases d'encodage et de récupération sont concordants.

SIMULER LE CADRE DES NIVEAUX DE TRAITEMENT

Sommaire

- ❶ Implémentations et paramètres (p. **207**)
 - ❷ Résultats et discussions (p. **208**)
 - ❸ Conclusion générale (p. **223**)
-

Au chapitre 6 (voir § 6.3.2, p. 155), nous avons présenté des résultats concernant la simulation des effets respectifs de la profondeur de traitement (PDT) et de l'élaboration, ainsi que de leur interaction, à l'aide de MINERVA 2. Au regard de ces résultats, l'objectif des simulations présentées dans ce chapitre était d'étendre la modélisation, en implémentant également la notion de *spécificité d'encodage* (Tulving et Thomson, 1973). Ainsi, dans le cadre des niveaux de traitement, toutes les interactions décrites au chapitre 2 (voir § 2.4, p. 65) ont pu être simulées.

8.1 Implémentations et paramètres

Dans cette étude, la PDT et l'élaboration ont été implémentées à l'aide, respectivement, de la *proportion de caractéristiques non-nulles* dans les vecteurs et de la *dimension* des vecteurs (*i.e.*, nombre total de caractéristiques). Dans ce cadre, une forte proportion de caractéristiques non-nulles figure un traitement profond car un grand nombre de caractéristiques « signifiantes » (*i.e.*, « +1 » et « -1 ») sera présent en mémoire. Similairement, des vecteurs de grande dimension figurent des informations élaborées car, les vecteurs contenant plus d'information, ils pourront être considérés comme plus « riches ». Nous avons alors fait varier la proportion de caractéristiques non-nulles de 20 à 100% (*i.e.*, d'un traitement superficiel à un traitement profond) et la dimension des vecteurs de 20 à 100 caractéristiques (*i.e.*, de non-élaboré à très élaboré), afin d'observer, respectivement, les effets de PDT et d'élaboration dans le modèle. Dans les simulations, lorsque la PDT et l'élaboration n'étaient pas manipulées, la proportion de caractéristiques non-nulles était fixée à 50% et la dimension des vecteurs à 50 caractéristiques, respectivement.

La spécificité d'encodage a été implémentée, quant à elle, à l'aide de la *proportion de caractéristiques communes* entre les vecteurs sondes (*i.e.*, les indices de récupération) et les

vecteurs appris par le modèle (*i.e.*, les vecteurs cibles). Dans ce cadre, plus la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles est élevée, plus l'adéquation entre l'encodage et la récupération est importante. La proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles a alors été manipulée de 10 à 100% (*i.e.*, d'une faible à une forte adéquation Encodage/Récupération), afin d'observer l'effet d'encodage spécifique dans le modèle. Dans les simulations, lorsque la spécificité d'encodage n'était pas manipulée, toutes les caractéristiques étaient identiques entre les sondes et les cibles (*i.e.*, 100% de valeurs communes).

Les simulations ont été conduites selon la procédure générale décrite au chapitre 5 (voir § 5.2.2, p. 135). Pour rappel, cette procédure consiste à générer aléatoirement une liste de 20 vecteurs, de dimension n , qui sont copiés dans la mémoire du modèle en fonction du coefficient d'apprentissage ¹ et de la proportion de caractéristiques non-nulles choisis. Lors de la récupération, des vecteurs sondes sont présentés au modèle pour récupérer les informations contenues en mémoire, ces vecteurs étant construits en fonction de la proportion de caractéristiques communes avec les vecteurs cibles qui a été déterminée. Dans chaque condition testée, 100 sujets ont été simulés.

Concernant les performances du modèle, elles ont été analysées en fonction de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho. Pour rappel, l'intensité de l'écho est une valeur numérique qui renseigne sur la familiarité des indices de récupération (*i.e.*, les vecteurs sondes). Des valeurs élevées de cet indicateur renvoient à de bonnes performances en reconnaissance. La distance Sonde/Écho concerne, quant à elle, la comparaison directe entre les vecteurs sondes, présentés en entrée, et le vecteur écho généré par le modèle en sortie (*i.e.*, sa réponse). Pour cet indicateur, des valeurs faibles indiqueront que la réponse du modèle est très proche de l'indice de récupération, ce qui renvoie à de bonnes performances en rappel indicé.

8.2 Résultats et discussions

Avant d'aborder l'implémentation de la spécificité d'encodage dans MINERVA 2 et de ses interactions avec la PDT et l'élaboration, nous allons tout d'abord rappeler les

¹Ici, le coefficient d'apprentissage n'a pas été manipulé et a toujours été fixé à 1. De fait, les vecteurs traces en mémoire étaient des copies parfaites des vecteurs présentés au modèle lors de la phase d'apprentissage.

résultats qui ont été obtenus au chapitre 6 (voir § 6.3.2, p. 155) pour ces deux derniers facteurs.

8.2.1 Profondeur de traitement et élaboration : Rappels

Au niveau expérimental, les résultats suivants sont observés :

1. Effet de PDT : augmentation des performances lorsque l'encodage des informations est « profond » (*i.e.*, traitement sémantique) par rapport à un encodage « superficiel » (*e.g.*, traitement orthographique ou phonétique) (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975);
2. Effet d'élaboration : augmentation de performance lorsque l'information peut être « enrichie » à l'encodage. Généralement, une plus grande richesse de l'information est induite par une tâche de mémoire permettant une implication active du sujet (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978);
3. Effet d'interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration : augmentation de l'effet d'élaboration lorsque le traitement des informations est profond (*i.e.*, traitement sémantique), par rapport à un encodage superficiel (*e.g.*, traitement orthographique ou phonétique) (*e.g.*, Slamecka et Graf, 1978; Stein et Bransford, 1979).

Concernant l'implémentation des notions de PDT et d'élaboration dans MINERVA 2, les résultats suivants ont été obtenus :

- Les effets de PDT et d'élaboration peuvent être répliqués dans le modèle en utilisant, respectivement, la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs et la dimension des vecteurs;
- L'effet de PDT réfère alors à une augmentation et une diminution, respectivement, des valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho, lorsque la proportion de caractéristiques non-nulles est augmentée;
- L'effet d'élaboration réfère à une baisse des déviations standards, quel que soit l'indicateur de performance utilisé (*i.e.*, intensité de l'écho ou distance Sonde/Écho), lorsque la dimension des vecteurs est augmentée. Cet effet renvoie à une baisse de la variabilité au cours du processus de récupération et, donc, à des performances augmentées bien que les valeurs des indicateurs ne soient que peu modifiées;

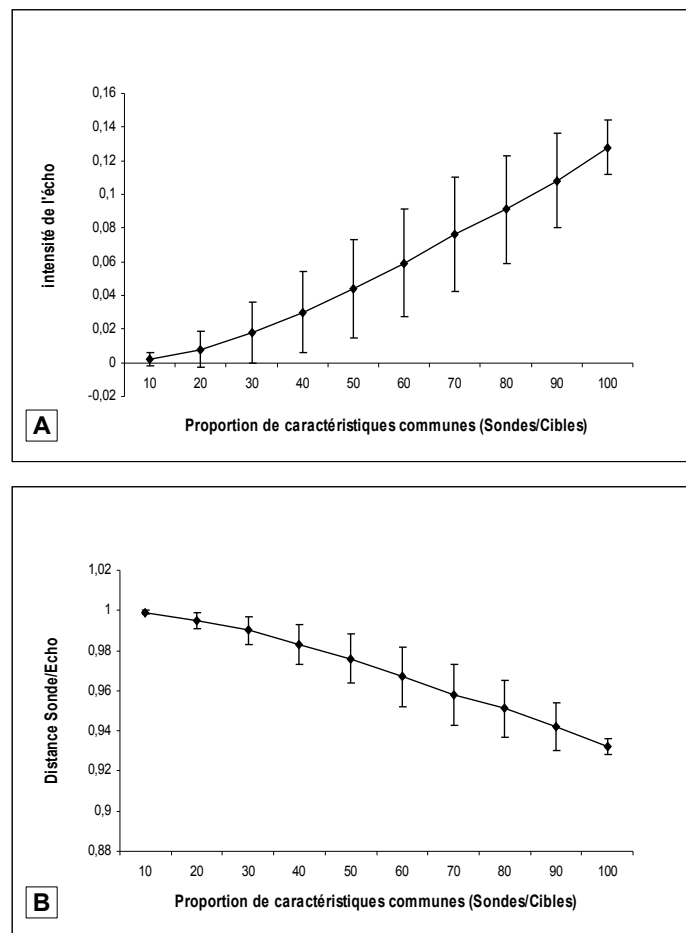


FIG. 8.1 – Variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles.

- Les effets de PDT et d'élaboration sont expliqués dans le modèle par une augmentation de la distinctibilité des traces en mémoire ;
- En termes de pourcentage de réponses correctes (*i.e.*, lorsqu'un seuil de réponse est utilisé), les effets d'élaboration et de l'interaction $PDT \times Elaboration$ sont dépendants du rapport entre les valeurs de l'indicateur de performance utilisé, leurs déviations standards et le seuil de réponse (voir, respectivement, les figures 6.7 et 6.11, p. 163 et p. 170).

8.2.2 La spécificité d'encodage

Expérimentalement, l'effet de spécificité d'encodage renvoie à une augmentation de performance lorsque le contexte d'encodage des informations est restitué à la récupération (Tulving et Thomson, 1973). Ainsi, généralement, plus les conditions de récupération sont similaires aux conditions d'apprentissage, meilleures sont les performances.

La Figure 8.1 représente l'effet de la spécificité d'encodage dans MINERVA 2, en considérant l'intensité de l'écho (panneau A) et la distance Sonde/Écho (panneau B). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, MINERVA 2 permet de reproduire l'effet de spécificité d'encodage. En effet, l'augmentation de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles permet, respectivement, d'augmenter et de diminuer les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho. Les bonnes performances du modèle en rappel indicé et en reconnaissance étant obtenues, respectivement, par des valeurs faibles de la distance Sonde/Écho et élevées de l'intensité de l'écho, le comportement de MINERVA 2 indique alors que les performances augmentent lorsque la proportion de valeurs communes entre les sondes et les cibles est élevée. En d'autres termes, les performances du modèle sont dépendantes de l'adéquation entre les informations mémorisées et les indices de récupération. La Figure 8.2 illustre les capacités de simulation de MINERVA 2 en rappel, par rapport aux résultats expérimentaux de Tulving et Thomson (1973).

Concernant le fonctionnement du modèle, l'effet de spécificité d'encodage s'explique par le calcul de similitude (voir chapitre 3, Équation 3.1, p. 105). Plus une sonde ressemble à une trace en mémoire, plus la similitude Sonde/Trace et, donc, l'activation correspondante seront élevées. De fait, la trace recherchée participera davantage au contenu du vecteur écho et son intensité va augmenter. Plus les vecteurs sondes partagent un grand nombre de caractéristiques communes avec les vecteurs mémorisés, plus les performances du modèle augmentent.

CAPACITÉ DE DISCRIMINATION

Comme nous pouvons le constater sur la Figure 8.1, les déviations standards des valeurs tendent à augmenter puis à diminuer en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles. Ainsi, à la récupération, la plus petite variabilité de réponse est obtenue avec le plus faible et le plus fort pourcentage de

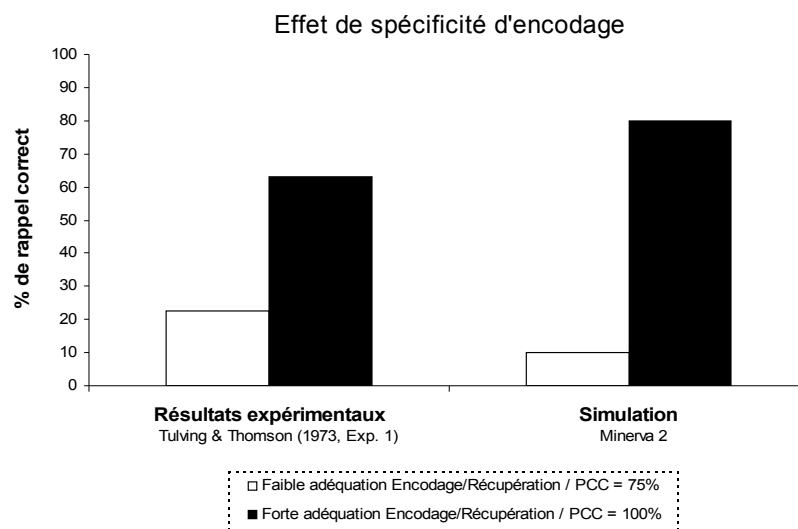


FIG. 8.2 – Simulation des résultats de Tulving et Thomson (1973, Expérience 1, p. 361) dans MINERVA 2. PCC = Pourcentage de Caractéristiques Communes (Sondes/Cibles).

caractéristiques communes entre les sondes et les cibles. Ce résultat révèle alors que les capacités de discrimination du modèle sont maximales lorsque les indices de récupération sont très proches ou très éloignés des informations mémorisées. Ceci a pour conséquence, par exemple, que MINERVA 2 reconnaîtra aisément des informations qui lui sont très familières (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles) et rejettera, avec la même facilité, des informations complètement nouvelles (*i.e.*, 0% de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles). En revanche, les performances du modèle peuvent être plus variables dans des conditions intermédiaires.

Ici encore, la fonction cube (voir chapitre 3, Équation 3.2, p. 105) intervient dans les capacités de discrimination du modèle. Cette fonction permet en effet de maximiser les ressemblances et les différences entre les vecteurs et s'avère alors particulièrement influente dans les conditions « extrêmes » (*i.e.*, très forte ou très faible ressemblance entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles).

EFFET D'ACCÉLÉRATION ET DISTINCTIBILITÉ DES TRACES

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 8.1, l'effet de spécificité d'encodage présente une faible accélération à mesure que la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles augmente. Ce phénomène est alors identique à celui observé au chapitre

6 (voir Figure 6.3, p. 156), concernant l'effet de PDT dans MINERVA 2. Comme pour ce facteur, le caractère accéléré de l'effet de spécificité d'encodage s'explique par l'influence de la fonction cube du modèle (voir l'explication au paragraphe 6.3.2, p. 156).

En outre, nous avons analysé le profil d'activation de la mémoire en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles. A nouveau les résultats indiquent que les variations observées sont très similaires à celles constatées au chapitre 6 (voir Figure 6.5, p. 159). A titre d'illustration, trois profils d'activation sont représentés sur la Figure 8.3. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, plus la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles est élevée, plus une trace se dégage en mémoire (ici, la trace n°11). Précisément, l'activation de la trace spécifiquement visée par la sonde (ici, vecteur n°11) augmente et, en parallèle, l'activation erronée des autres traces diminue. En d'autres termes, dans MINERVA 2, il semble que l'augmentation de la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles (figurant l'adéquation Encodage/Récupération) renvoie à des traces plus distinctes en mémoire, lors de la récupération. En conséquence, comme pour la PDT et l'élaboration, l'effet de spécificité d'encodage s'explique dans le modèle par une meilleure distinctibilité des traces en mémoire. Ici, comme pour la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, l'augmentation de distinctibilité peut alors être expliquée par une interaction augmentée (*i.e.*, une comparaison plus pertinente) entre les sondes et les traces et par l'implication de la fonction cube (voir l'explication au paragraphe 6.3.2, p. 158)

En conclusion : Dans MINERVA 2, nous pouvons proposer que la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles est l'implémentation même de la notion de spécificité d'encodage, définie par Tulving et Thomson (1973). Dans ce cadre, le fonctionnement du modèle révèle que plus les indices de récupération ressemblent aux informations mémorisées, plus l'activation des traces est spécifique de la sonde présentée. En d'autres termes, comme pour la PDT et l'élaboration, la notion de spécificité d'encodage semble liée à la notion de distinctibilité des traces en mémoire. Ici, l'augmentation de distinctibilité peut être expliquée par une interaction augmentée entre les sondes et les traces et par l'implication d'un processus d'optimisation (*i.e.*, la fonction cube). Le comportement de MINERVA 2 est alors en accord avec le modèle théorique du cadre des niveaux de traitement, présenté au chapitre 2 (voir Figure 2.7, p. 71). Selon ce

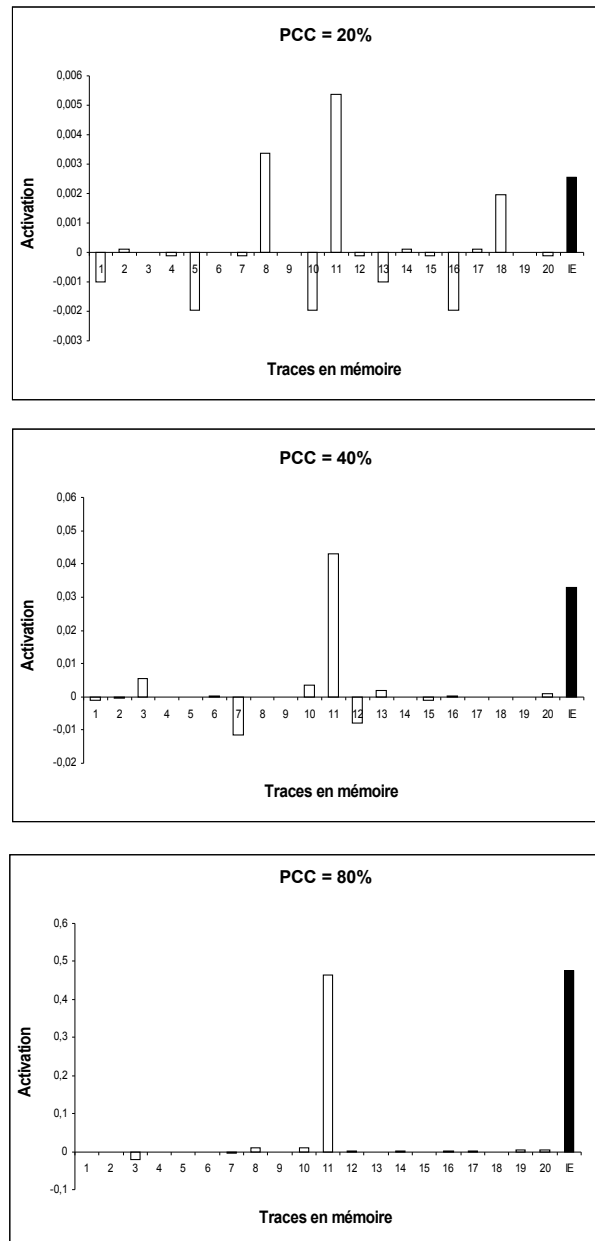


FIG. 8.3 – Évolution des profils d'activation de la mémoire, dans MINERVA 2, en fonction de la proportion de caractéristiques communes (PCC) entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles. L'exemple pris ici est celui de la sonde n°11. IE = Intensité de l'écho.

modèle, la distinctibilité des traces en mémoire est la notion unissant, d'une part, les effets de PDT et d'élaboration à l'encodage et, d'autre part, les effets de spécificité d'encodage à la récupération.

8.2.3 Les interactions

Après avoir présenté l'effet de la spécificité d'encodage dans MINERVA 2, nous allons maintenant aborder les interactions qu'entretient ce facteur avec la PDT et l'élaboration. Nous commencerons tout d'abord par les interactions à deux facteurs (*i.e.*, $PDT \times Spécificité\ d'encodage$ et $Elaboration \times Spécificité\ d'encodage$), puis nous verrons la triple interaction (*i.e.*, $PDT \times Elaboration \times Spécificité\ d'encodage$).

PROFONDEUR DE TRAITEMENT \times SPÉCIFICITÉ D'ENCODAGE

Expérimentalement, l'interaction entre la PDT et la spécificité d'encodage renvoie à un effet de PDT augmenté lorsque une bonne adéquation Encodage/Récupération est proposée, par rapport à une adéquation faible (*e.g.*, Fisher et Craik, 1977).

La Figure 8.4 représente la variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B), en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles (de 20 à 100% figurant une adéquation Encodage/Récupération de plus en plus élevée) et la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (de 20 à 100% figurant un traitement de plus en plus profond à l'encodage). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, les résultats indiquent que les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho tendent, respectivement, à augmenter et à diminuer en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles mais aussi en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs. Ainsi, les effets respectifs de la spécificité d'encodage et de la PDT sont retrouvés dans cette simulation.

En outre, comme nous pouvons le constater sur la Figure 8.4, l'augmentation de l'intensité de l'écho, due à l'augmentation de la proportion de caractéristiques non-nulles, est de plus en plus importante à mesure que l'on augmente la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles. Similairement, la diminution de la distance Sonde/Écho tend à s'accroître en augmentant, de façon concomitante, la proportion de caractéristiques non-nulles et de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles.

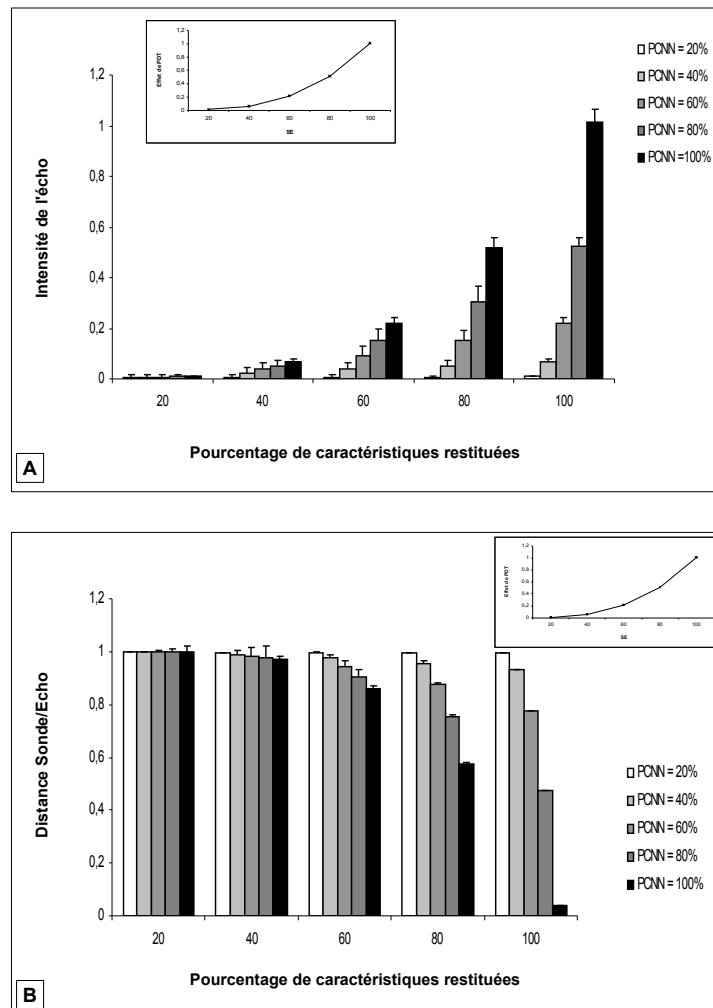


FIG. 8.4 – Variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques restituées (i.e., communes entre les sondes et les cibles) et de la proportion de caractéristiques non-nulles (PCNN). Le panneau interne de chaque figure représente l'effet de profondeur de traitement (PDT) en fonction de la spécificité d'encodage (SE).

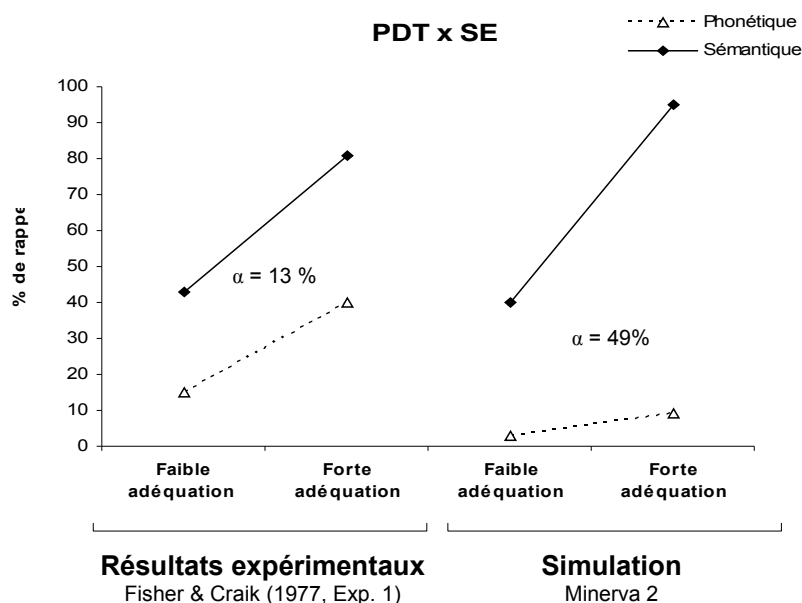


FIG. 8.5 – Simulation dans MINERVA 2 de l'interaction positive entre la profondeur de traitement (PDT) et la spécificité d'encodage (SE) observée par Fisher et Craik (1977, Expérience 1, p. 704). L'angle α entre les vecteurs représente l'interaction $PDT \times$ Spécificité d'encodage.

Pour chaque indicateur, la différence de valeur entre la plus grande et la plus petite proportion de caractéristiques non-nulles (*i.e.*, effet de PDT) est représentée en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles (*i.e.*, figurant l'adéquation Encodage/Récupération), sur les panneaux internes des figures. Comme nous pouvons alors le voir sur ces panneaux, quel que soit l'indicateur de performance, l'effet de PDT tend à augmenter lorsque la spécificité des indices à la récupération augmente. La Figure 8.5 illustre alors les capacités de simulations du modèle, par rapport aux résultats de Fisher et Craik (1977). En effet, comme nous pouvons le voir sur cette figure, les résultats de ces auteurs indiquent que les performances en rappel sont augmentées en utilisant une forte adéquation Encodage/Récupération, par rapport à une faible adéquation, quel que soit le niveau de traitement initié chez les sujets. En outre, cette augmentation est plus forte en favorisant un traitement profond que superficiel. Comme nous pouvons alors le constater sur la Figure 8.5, la simulation effectuée à l'aide de MINERVA 2 reproduit exactement ces résultats, l'effet d'interaction étant par ailleurs accentué par rapport à l'expérimentation.

En termes de pourcentage de rappel ou de reconnaissance (*i.e.*, lorsqu'un seuil de réponse est utilisé), comme nous l'avons vu au chapitre 6 pour l'interaction $PDT \times Elaboration$ (voir Figure 6.11, p. 170), les performances du modèle s'inscrivent dans un rapport entre les valeurs de l'indicateur, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle, lorsque l'une des variables manipulées influence spécifiquement les déviations standards des valeurs (*i.e.*, en l'occurrence, la dimension des vecteurs). Ici, contrairement à l'interaction $PDT \times Elaboration$, l'interaction $PDT \times Spécificité\ d'encodage$ est beaucoup moins dépendante du rapport entre les valeurs de l'indicateur, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. En effet, la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs ainsi que la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les traces influencent toutes deux les valeurs des indicateurs. De fait, lorsque les deux paramètres augmentent simultanément, ils tendront toujours à se potentialiser, quels que soient les déviations standards et le seuil de réponse.

ELABORATION \times SPÉCIFICITÉ D'ENCODAGE

Expérimentalement, l'interaction entre l'élaboration et la spécificité d'encodage renvoie à un effet d'élaboration augmenté lorsque une bonne adéquation Encodage/Récupération est proposée, par rapport à une adéquation faible (*e.g.*, Mäntylä et Nilsson, 1983).

La Figure 8.6 représente la variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B), en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles (de 20 à 100% figurant une adéquation Encodage/Récupération de plus en plus élevée) et de la dimension des vecteurs (de 20 à 100 caractéristiques figurant une information de plus en plus élaborée). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, les résultats indiquent, premièrement, que les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Echo tendent, respectivement, à augmenter et à diminuer en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles. Deuxièmement, quelle que soit cette proportion, augmenter la dimension des vecteurs diminue les déviations standards des indicateurs de performance. Ainsi, les effets respectifs de la spécificité d'encodage et de l'élaboration sont donc retrouvés dans cette simulation.

En outre, comme nous pouvons constater sur la Figure 8.6, la baisse des déviations standards est globalement de plus en plus forte à mesure que l'on augmente la proportion

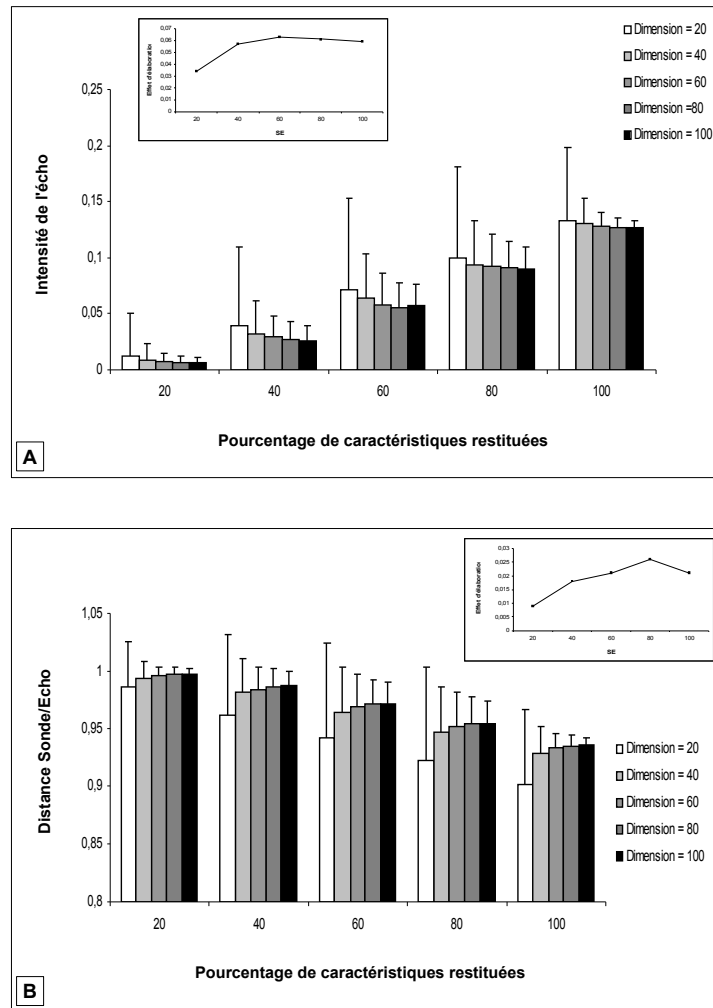


FIG. 8.6 – Variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques restituées (i.e., communes entre les sondes et les cibles) et de la dimension des vecteurs. Le panneau interne de chaque figure représente l'effet d'élaboration en fonction de la spécificité d'encodage (SE).

de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles, quel que soit l'indicateur de performance considéré. Pour chaque indicateur, la différence de déviation standard entre la plus petite et la plus grande dimension (*i.e.*, effet d'élaboration) est représentée en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles (*i.e.*, figurant l'adéquation Encodage/Récupération), sur les panneaux internes des figures. Comme nous pouvons alors le constater, l'effet d'élaboration tend globalement à augmenter en augmentant la spécificité des indices à la récupération ². La Figure 8.7 illustre alors les capacités de simulation du modèle, par rapport aux résultats de Sauzéon *et al.* (2001). En effet, comme nous pouvons le voir sur cette figure, les résultats de ces auteurs indiquent que les performances en rappel sont augmentées en utilisant une forte adéquation Encodage/Récupération, par rapport à une faible adéquation, quel que soit le niveau d'élaboration des informations. En outre, cette augmentation est plus forte en utilisant des informations élaborées que non-élaborées. Comme nous pouvons le constater sur la Figure 8.7, la simulation effectuée à l'aide de MINERVA 2 reproduit l'augmentation des performances en utilisant une forte adéquation Encodage/Récupération, par rapport à une faible adéquation, mais ce résultat n'est constaté qu'en simulant un encodage élaboré. A l'opposé, les performances tendent à diminuer dans la condition de forte adéquation Encodage/Récupération lorsque un encodage non-élaboré est simulé. Cette différence d'effet induit alors une interaction importante entre l'élaboration et la spécificité d'encodage, dans le modèle.

En termes de pourcentage de rappel ou de reconnaissance, comme pour l'interaction $PDT \times Elaboration$, l'interaction $Elaboration \times Spécificité\ d'encodage$ va être dépendante de la relation entre les valeurs des indicateurs, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle (voir chapitre 6, Figure 6.11, p. 170). En effet, la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les traces influence principalement les valeurs des indicateurs alors que la dimension des vecteurs affecte essentiellement les déviations

²La légère baisse de l'effet d'élaboration, que l'on peut observer pour la plus grande proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles (notamment sur la distance Sonde/Écho), s'explique par les capacités de discrimination de MINERVA 2 (voir § 8.2.2, p. 211). En effet, les capacités de discrimination du modèle sont maximales lorsque des sondes très proches ou très éloignées du contenu de la mémoire sont présentées à la récupération, ce qui diminue les déviations standards des valeurs. Cette baisse perturbe alors l'effet d'élaboration puisqu'elle tend à niveler les déviations standards et, donc, à réduire la différence entre la plus petite et la plus grande dimension.

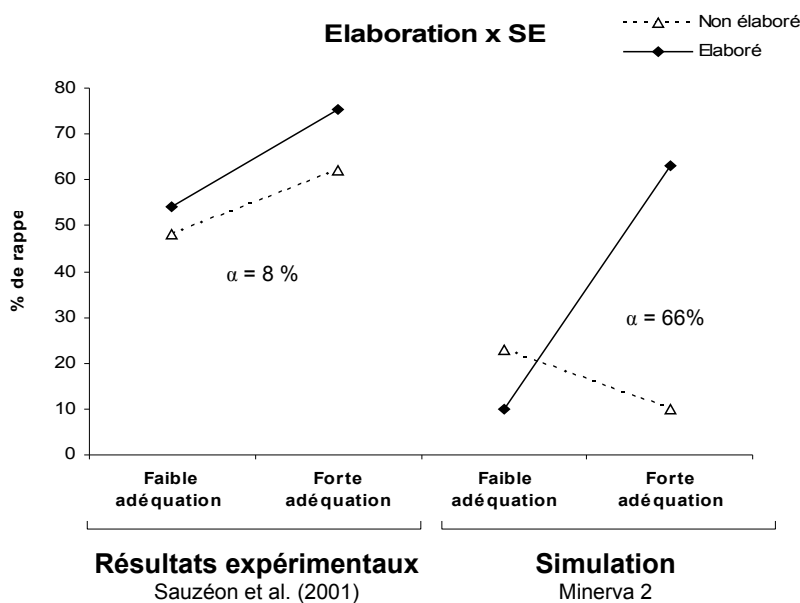


FIG. 8.7 – Simulation dans MINERVA 2 de l'interaction positive entre l'élaboration et la spécificité d'encodage (SE) observée par Sauz on et al. (2001, Tableau 3, p. 72). L'angle α entre les vecteurs représente l'interaction *Elaboration* \times *Spécificité d'encodage*.

standards des valeurs. De fait, lorsque les deux paramètres augmentent simultanément, l'interaction dépendra de la position du seuil de réponse, comme expliqué précédemment (voir chapitre 6, § 6.3.2, p. 169).

LA TRIPLE INTERACTION

Expérimentalement, la triple interaction entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage indique généralement que ces trois facteurs tendent à se potentialiser induisant les meilleures performances lorsqu'un traitement sémantique et élaboré a été initié à l'encodage des informations et lorsque les tests utilisés à la récupération fournissent une bonne adéquation entre les conditions d'apprentissage et de récupération (*e.g.*, Sauz on et al., 2000).

La Figure 8.8 représente la variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles (*i.e.*, 75 vs. 100% figurant une spécificité d'encodage faible et forte, respectivement), de la proportion de caractéristiques non-nulles (*i.e.*, 80 vs. 90% figurant un encodage superficiel et profond, respectivement)

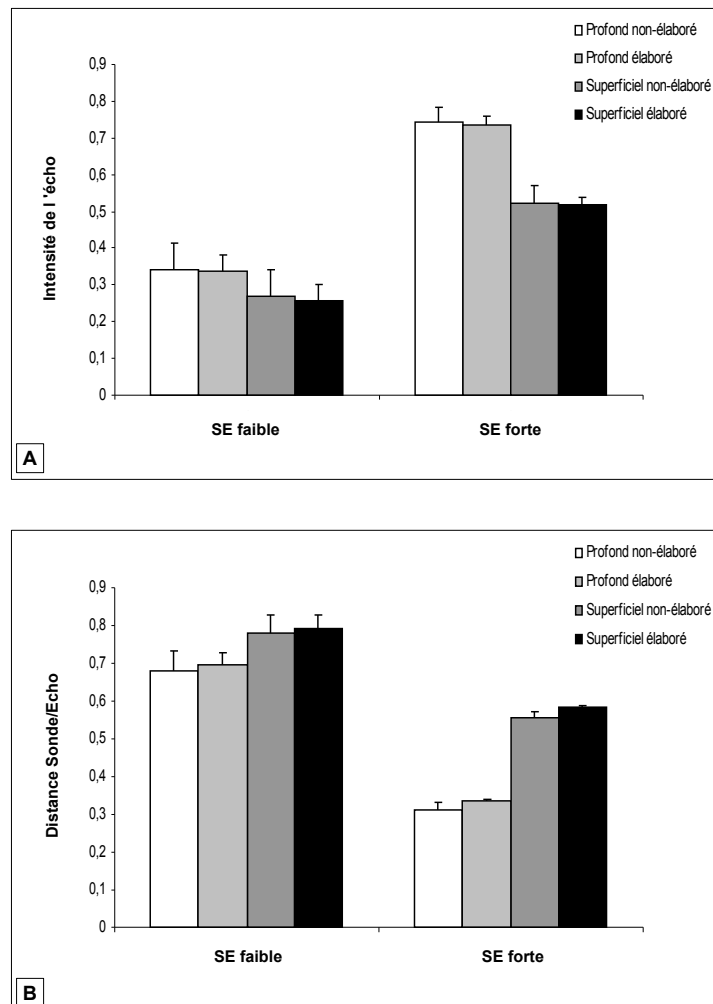


FIG. 8.8 – Variation de l'intensité de l'écho (panneau A) et de la distance Sonde/Écho (panneau B) en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles (i.e., 75 vs. 100% figurant une spécificité d'encodage faible et forte, respectivement), de la proportion de caractéristiques non-nulles (i.e., 80 vs. 90% figurant un encodage superficiel et profond, respectivement) et de la dimension des vecteurs (i.e., 40 vs. 80 caractéristiques figurant des informations non-élaborées et élaborées, respectivement). SE = Spécificité d'encodage.

et de la dimension des vecteurs (*i.e.*, 40 *vs.* 80 caractéristiques figurant des informations non-élaborées et élaborées, respectivement). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, les résultats indiquent, premièrement, que les effets respectifs de la PDT, de l'élaboration et de la spécificité d'encodage sont retrouvés dans cette simulation. En effet, augmenter la proportion de caractéristiques non-nulles, ou la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles, permet d'augmenter et de diminuer, respectivement, l'intensité de l'écho et la distance Sonde/Écho. En outre, augmenter la dimension des vecteurs diminue toujours les déviations standards des indicateurs de performance.

En outre, comme nous pouvons également le constater sur la Figure 8.8, la plus grande intensité de l'écho est obtenue en utilisant, de façon concomitante, la plus grande proportion de caractéristiques non-nulles (*i.e.*, 90% comparé à 80%) et de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles (*i.e.*, 100% comparé à 75%). De plus, dans cette situation particulière, la déviation standard de l'intensité est diminuée en augmentant la dimension des vecteurs (*i.e.*, 80 caractéristiques comparé à 40 caractéristiques). En conséquence, les meilleures performances sont obtenues dans la condition figurant un encodage profond et élaboré associé à la restitution d'un indice spécifique lors de la récupération. Bien que la distance Sonde/Echo semble moins sensible à la triple interaction³, les résultats sont cependant plutôt similaires aux résultats obtenus sur l'intensité de l'écho.

La Figure 8.9 représente les résultats de Sauz on *et al.* (2000) indiquant que plus une grande quantité d'aide est apportée aux sujets, meilleures sont les performances. Cette figure illustre également les capacités de simulation de ce résultat par MINERVA 2.

A nouveau, en termes de pourcentage de rappel ou de reconnaissance, la triple interaction sera dépendante du rapport entre les valeurs de l'indicateur, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle puisqu'elle dépend en partie de l'effet d'élaboration (qui influe essentiellement sur les déviations standards des indicateurs).

8.3 Conclusion générale

Dans le cadre des niveaux de traitement, nous pouvons conclure des simulations présentées dans ce chapitre que MINERVA 2 permet de reproduire aussi bien les effets respec-

³En effet, l'élaboration tend principalement à diminuer les déviations standards mais augmente aussi légèrement les valeurs de distance (voir chapitre 6, Figure 6.6, p. 161), ce qui tend à s'opposer à la baisse des valeurs provoquée par l'interaction $PDT \times Sp cificit \ d'encodage$.

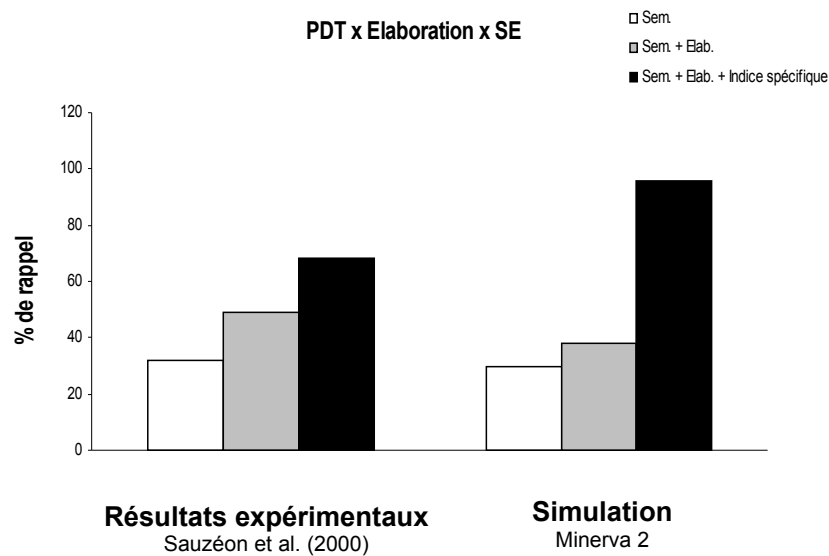


FIG. 8.9 – Simulation dans MINERVA 2 des résultats de Sauzón et al. (2000), indiquant que plus une grande quantité d'aide est apportée aux sujets, meilleures sont les performances. Les aides de mémoire considérées sont une aide sémantique, une aide à l'élaboration et des indices de récupération spécifiques des informations cibles. SE = Spécificité d'encodage.

tifs de la PDT, de l'élaboration et de la spécificité d'encodage que leurs interactions. En outre, comme présenté au chapitre 6 et confirmé dans ce chapitre, le comportement du modèle indique que toutes les variables manipulées (*i.e.*, proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, dimension des vecteurs et proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les traces) influencent la distinctibilité des traces en mémoire (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976). Cette notion semble alors cruciale pour comprendre l'effet des variables sur la mémoire et, donc, les performances du modèle. Le comportement de MINERVA 2 est alors en accord avec le cadre théorique présenté au chapitre 2 (voir Figure 2.7, p. 71). Selon ce modèle, la distinctibilité des traces en mémoire est la notion unissant, d'une part, les effets de PDT et d'élaboration à l'encodage et, d'autre part, les effets de spécificité d'encodage à la récupération.

Par ailleurs, en termes de pourcentage de rappel ou de reconnaissance (particulièrement concernant les effets d'interactions), les performances de MINERVA 2 s'inscrivent dans une relation entre les valeurs des indicateurs de performance (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. En effet, les variables manipulées influencent soit les valeurs des indicateurs (pour la propor-

tion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs et la proportion de caractéristiques communes entre les sondes et les cibles), soit leurs déviations standards (pour la dimension des vecteurs). Dans ce cadre, lorsque deux variables influençant les valeurs des indicateurs sont manipulées simultanément, elle tendront systématiquement à se potentialiser et leur interaction sera toujours positive, quelles que soient les valeurs des déviations standards ou du seuil de réponse. En revanche, lorsqu'une variable influençant les valeurs des indicateurs est manipulée de façon concomitante avec une variable influençant les déviations standards, alors les variables ne tendront pas systématiquement à se potentialiser et leur interaction sera dépendante du seuil de réponse du modèle.

Par rapport à ces résultats, concernant l'apport de MINERVA 2 dans la compréhension du cadre des niveaux de traitement, deux conclusions principales peuvent être dégagées. Premièrement, Le modèle renforce l'idée que la notion de distinctibilité des traces en mémoire (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976) est une notion centrale dans les phénomènes mnésiques. Selon MINERVA 2, si les traces sont plus distinctes en mémoire à la suite d'un encodage profond ou élaboré, ou lorsque la phase de test est compatible avec la phase d'apprentissage, c'est principalement parce que la probabilité d'activer de mauvais souvenirs est largement diminuée. D'autre part, dans le cas d'un encodage profond ou d'une bonne adéquation Encodage/Récupération, la distinctibilité des traces en mémoire pourrait également être expliquée par un plus grand nombre de caractéristiques pertinentes entrant en « interaction » lors de la comparaison entre les indices de récupération et les traces en mémoire (Lockhart, 2002; Schacter, 1996).

Deuxièmement, dans le modèle, les interactions entre la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage dépendent d'un rapport entre les valeurs des indicateurs de performance (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. Il est toujours délicat de proposer une correspondance entre les processus cognitifs des sujets et les opérations de traitement qui peuvent être mises en jeu dans un modèle formel. Cependant, en nous livrant à cet exercice, nous pourrions proposer que, puisque la valeur des indicateurs de performance et leurs déviations standards reflètent l'efficacité des traitements effectués dans le modèle, ces deux paramètres pourraient être utilisés pour figurer les « capacités mnésiques » des sujets simulés. Similairement, nous pourrions proposer que le seuil de réponse du modèle pourrait servir de représentation de la difficulté de la tâche, inhérente à ses caractéristiques propres ou au critère d'exigence

des sujets. Dans ce cadre « métaphorique », les performances de MINERVA 2 pourraient alors être interprétées dans un rapport « Sujet/Tâche ».

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Dans MINERVA 2, la profondeur de traitement, l'élaboration et la spécificité d'encodage peuvent être implémentées à l'aide de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs, de la dimension des vecteurs et de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles, respectivement.
- ❑ Dans ce cadre, le modèle permet de reproduire aussi bien les effets respectifs de chaque notion implémentée que leurs effets d'interaction.
- ❑ Par rapport à l'approche des niveaux de traitement, l'apport de MINERVA 2 est double : (1) le modèle renforce l'idée que la notion de distinctibilité des traces en mémoire (*e.g.*, Craik, 1977; Moscovitch et Craik, 1976) est une notion centrale dans ce cadre théorique; et (2) il prédit que l'effet des facteurs décrits dans cette approche sera dépendant de l'adéquation Sujet/Tâche.

SIMULER LES FACTEURS DE DIFFICULTÉ

Sommaire

- ❶ Durée de présentation (p. **229**)
 - ❷ Organisation du matériel (p. **238**)
 - ❸ Consignes de récupération (p. **246**)
 - ❹ Conclusion générale (p. **255**)
-

L'objectif de ce chapitre est de présenter trois simulations visant à reproduire, respectivement, les trois expériences exposées au chapitre 7 (p. 181). Pour ce faire, nous avons implémenté dans MINERVA 2 les trois facteurs de difficulté manipulés expérimentalement, c'est-à-dire la *durée de présentation* des items, l'*organisation du matériel* et le type de *consignes de récupération*. Le but des simulations était de reproduire une partie des résultats expérimentaux. En outre, dans le cadre de notre hypothèse générale, nous voulions analyser les capacités du modèle à simuler une hausse de l'interaction entre la profondeur de traitement (PDT) et l'élaboration, en augmentant la difficulté de la tâche.

9.1 Durée de présentation

Cette première simulation correspond à l'expérience 1 du chapitre 7 (§ 7.1, p. 184). Pour rappel, les résultats de cette expérience ont indiqué que : (1) les performances des sujets sont diminuées lorsque la durée de présentation des items est réduite (*i.e.*, 2 secondes *vs.* 3 secondes) [$F(1,33) = 18.206, p < .0001$]; (2) l'interaction $PDT \times Elaboration$ n'est pas augmentée lorsque la tâche est plus difficile [$F(1,33) = 0.771; p > 0.386$]. L'objectif de cette simulation était d'implémenter la *durée de présentation* dans MINERVA 2 afin de rendre compte de ce résultat et d'en proposer une explication.

9.1.1 Implémentations et paramètres

La durée de présentation a été implémentée dans MINERVA 2 en utilisant le *coefficient d'apprentissage* du modèle, comme proposé par Arndt et Hirshman (1998). Dans l'étude de ces auteurs, un coefficient d'apprentissage élevé figurait une durée de présentation longue. Inversement, une faible valeur de ce coefficient figurait une durée de présentation courte. Cette implémentation reflète le fait qu'une durée de présentation longue optimise

les chances que les caractéristiques d'une information soient correctement encodées en mémoire et, donc, minimise la probabilité d'oubli des caractéristiques. Dans notre simulation, le coefficient d'apprentissage a été manipulé de 10 à 100% (*i.e.*, durée de présentation très courte à très longue). La PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage ont été implémentées, respectivement, à l'aide de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (*i.e.*, 90% pour figurer un traitement sémantique *vs.* 80% pour un traitement phonétique), de la dimension des vecteurs (*i.e.*, 80 caractéristiques pour figurer une information élaborée *vs.* 40 caractéristiques pour une information non-élaborée) et de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs mémorisés (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes pour simuler une tâche de reconnaissance *vs.* 75% pour simuler une tâche de rappel indicé).

Concernant les performances du modèle, elles ont été analysées en fonction de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho ¹. Pour rappel, l'intensité de l'écho est une valeur numérique qui renseigne sur la familiarité des indices de récupération (*i.e.*, les vecteurs sondes). Des valeurs élevées de cet indicateur renvoient à de bonnes performances en reconnaissance. La distance Sonde/Écho concerne, quant à elle, la comparaison directe entre les vecteur sondes, présentés en entrée, et le vecteur écho généré par le modèle en sortie (*i.e.*, sa réponse). Des valeurs faibles cet indicateur indiquent que la réponse du modèle est très proche de l'indice de récupération, renvoyant à de bonnes performances en rappel indicé. Par rapport à ces indicateurs, les performances peuvent être analysées en termes de pourcentage de réponses correctes. Pour ce faire, un seuil de réponse doit être déterminé. Ici, nous avons utilisé la moyenne des intensités comme seuil de reconnaissance et la moyenne des distances Sonde/Écho comme seuil de rappel (pour le rappel indicé). Dans ce cadre, un item sera reconnu si la valeur de l'intensité de l'écho dépasse le seuil de réponse et un item sera rappelé si sa distance Sonde/Écho est en-dessous du seuil de rappel. En outre, afin de comparer les expérimentations et les simulations, les

¹Pour rappel la distance Sonde/Écho se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$D = \left(\sum_{j=1}^n |P_j - E_j| \right) / n$$

, où D représente la distance calculée entre une sonde et le vecteur écho correspondant, j est l'index de la caractéristique considérée, n est la dimension des vecteurs, P_j est la valeur de la caractéristique j dans la sonde et E_j est la valeur de la caractéristique j dans le vecteur écho.

effets de l'aide sémantique (δ_{PDT}), de l'aide à l'élaboration ($\delta_{Elab.}$) et de leur interaction ($\delta_{PDT \times Elab.}$) ont été calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\begin{aligned}\delta_{PDT} &= \text{Perf. en encodage profond} - \text{Perf. en encodage superficiel} \\ \delta_{Elab.} &= \text{Perf. en condition élaborée} - \text{Perf. en condition non-élaborée} \\ \delta_{PDT \times Elab.} &= \delta_{Elab.} \text{ en encodage profond} - \delta_{Elab.} \text{ en encodage superficiel}\end{aligned}$$

Concernant la PDT, les performances en encodage superficiel ont ainsi été soustraites aux performances en encodage profond afin d'obtenir l'effet spécifique du traitement sémantique. De même, l'effet d'élaboration a été calculé par soustraction de la performance globale obtenue en condition non-élaborée à celle obtenue en condition élaborée. Enfin, l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ est mesuré par la différence d'effet d'élaboration entre les conditions d'encodage profond et superficiel.

Pour finir, les simulations ont été conduites selon la procédure générale décrite au chapitre 5 (voir § 5.2.2, p. 135). Pour rappel, cette procédure consiste à générer aléatoirement une liste de 20 vecteurs, de dimension n , qui sont copiés dans la mémoire du modèle en fonction du coefficient d'apprentissage et de la proportion de caractéristiques non-nulles choisis. Lors de la récupération, les vecteurs mémorisés sont présentés à nouveau au modèle en tant que sondes, soit sans aucune modification (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles), afin de simuler une tâche de reconnaissance, soit en modifiant 25% de leurs caractéristiques (*i.e.*, 75% de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles), afin de simuler une tâche de rappel indicé. Dans toutes les conditions testées, 100 sujets ont été simulés.

9.1.2 Résultats et discussion

Nous allons tout d'abord exposer l'effet du coefficient d'apprentissage (figurant la durée de présentation des items) sur les performances de MINERVA 2.

COEFFICIENT D'APPRENTISSAGE / DURÉE DE PRÉSENTATION

Chez les sujets, diminuer la durée de présentation des items (*i.e.*, 2 secondes *vs.* 3 secondes) baisse les performances en rappel et en reconnaissance.

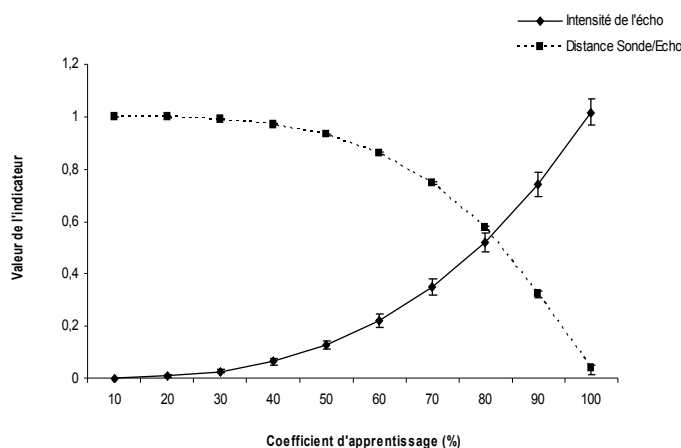


FIG. 9.1 – Variation de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho dans *Minerva 2*, en fonction du coefficient d'apprentissage du modèle.

La Figure 9.1 représente les performances de MINERVA 2, en fonction du coefficient d'apprentissage du modèle (*i.e.*, de 10 à 100%) et de l'indicateur analysé (*i.e.*, du type de tâche simulée). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, MINERVA 2 permet de répliquer les résultats des sujets, en manipulant le coefficient d'apprentissage. En effet, l'intensité de l'écho et la distance Sonde/Écho tendent, respectivement, à augmenter et à diminuer lorsque le coefficient d'apprentissage augmente. Étant donné que de bonnes performances en rappel indicé et en reconnaissance sont indiquées, respectivement, par des valeurs faibles de la distance Sonde/Écho et des valeurs élevées de l'intensité de l'écho, les performances du modèle sont ainsi augmentées en reconnaissance et en rappel indicé, lorsque le coefficient d'apprentissage est augmenté.

PROFONDEUR DE TRAITEMENT × ÉLABORATION

Chez les sujets, la triple interaction *Durée de présentation* × *PDT* × *Elaboration* ne s'est pas avérée significative. Ce résultat indique alors que l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration est le même, quelle que soit la durée de présentation des items.

La Figure 9.2 (panneau A) représente la variation de l'interaction *PDT* × *Elaboration* dans MINERVA 2, en fonction du coefficient d'apprentissage du modèle et du type de restitution simulé (*i.e.*, rappel indicé et reconnaissance). Sur cette figure, la difficulté augmente lorsque le coefficient d'apprentissage diminue (*i.e.*, de 100 à 20%). Nous pouvons alors constater que, en moyenne sur les deux types de tâche simulés (*i.e.*, rappel indicé et

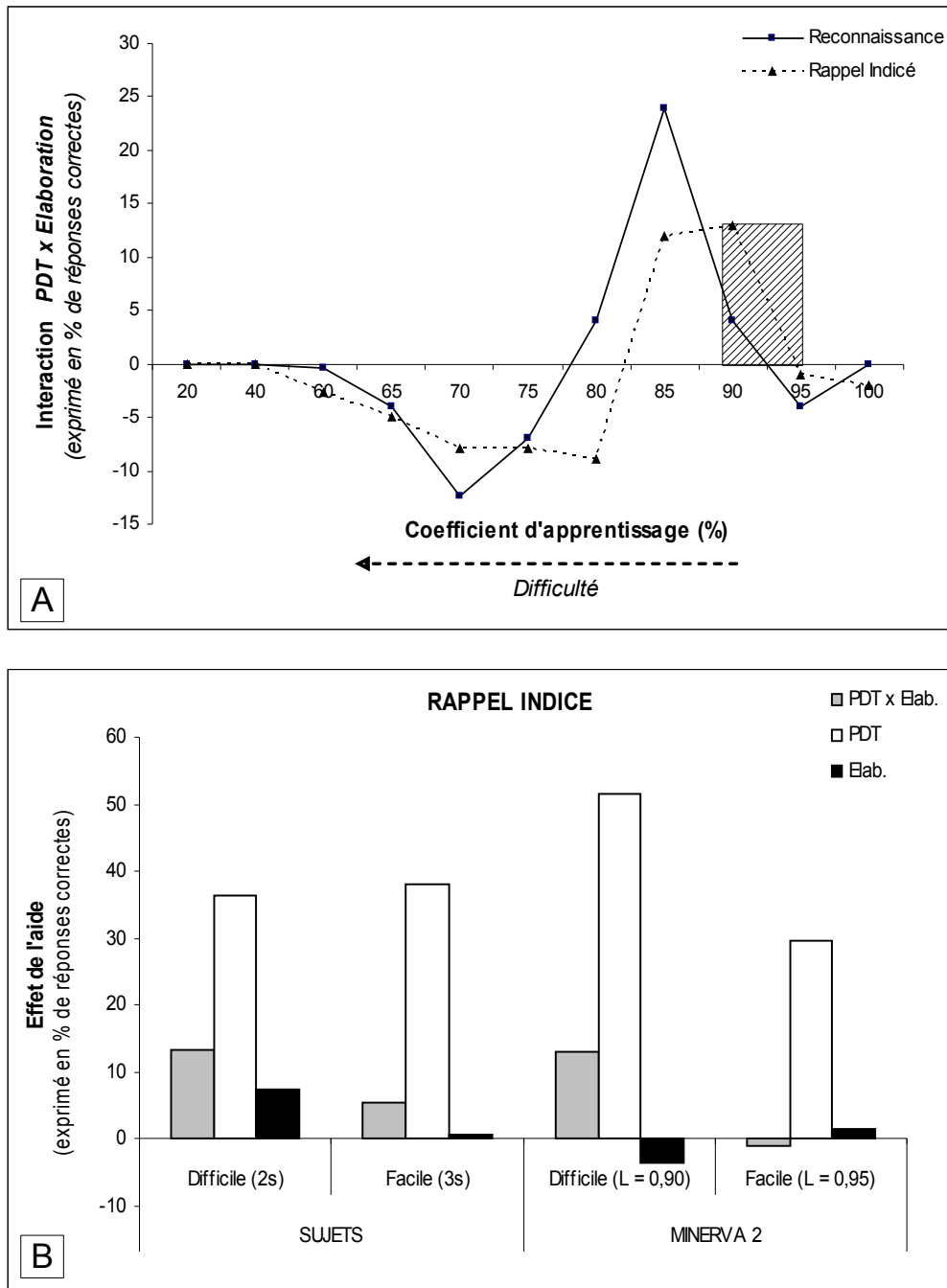


FIG. 9.2 – Variation de l'interaction entre la profondeur de traitement (PDT) et l'élaboration (i.e., PDT × Elaboration) en fonction du coefficient d'apprentissage de MINERVA 2 (L) et du type de restitution simulé (panneau A). La partie hachurée de la courbe correspond à l'intervalle utilisé pour obtenir les résultats exposés sur le panneau B. Ce panneau représente, en rappel indicé, l'effet de l'aide sémantique (i.e., PDT) et de l'aide à l'élaboration (utilisées de façon séparée ou concomitante) en fonction de la difficulté de la tâche, chez les sujets et dans le modèle.

reconnaissance), l'interaction $PDT \times Elaboration$ tend à augmenter pour des valeurs du coefficient d'apprentissage comprises entre 95 et 85%, à diminuer dans l'intervalle 85-75% (jusqu'à un minimum), puis à augmenter à nouveau pour s'annuler finalement à partir d'un coefficient d'apprentissage égal à 50% environ. Ainsi, dans une certaine configuration de paramètres (*e.g.*, partie hachurée de la courbe de rappel indicé), le modèle permet de démontrer une interaction $PDT \times Elaboration$ augmentée, lorsque la difficulté augmente (*i.e.*, diminution du coefficient d'apprentissage \Leftrightarrow diminution de la durée de présentation).

Dans cette configuration particulière de paramètres, la Figure 9.2 (panneau B) représente les effets de l'aide sémantique (PDT), de l'aide à l'élaboration (Elab.) et de leur interaction (PDT x Elab), en rappel indicé ², chez les sujets et dans le modèle. Sur cette figure, les effets sont exprimés en termes de pourcentage de réponses correctes. Le premier point commun entre les sujets et le modèle est que l'aide sémantique s'avère de loin l'aide la plus puissante, alors qu'une aide à l'élaboration semble bien moins efficace. D'autre part, l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée dans la condition difficile (*i.e.*, durée de présentation de 2 secondes chez les sujets \Leftrightarrow coefficient d'apprentissage à 90% dans le modèle), par rapport à la condition facile (*i.e.*, durée de présentation de 3 secondes chez les sujets \Leftrightarrow coefficient d'apprentissage à 95% dans le modèle), aussi bien chez les sujets ³ que dans le modèle. Enfin, dans la condition difficile, les profils de résultat obtenus dans modèle et chez les sujets sont similaires et indiquent que le maximum de soutien est apporté par l'aide sémantique puis par l'interaction $PDT \times Elaboration$ et, enfin, par l'aide à l'élaboration. Globalement, la simulation présente ainsi des résultats relativement proches des données expérimentales concernant l'effet des aides de mémoire. Cependant, certains points de discordance sont présents, comme par exemple : (1) l'effet de l'aide sémantique qui tend à augmenter chez les sujets dans la condition facile, contrairement à ce qui est observé dans le modèle ; et (2) l'effet de l'aide à l'élaboration qui tend à diminuer chez les sujets dans la condition facile, alors qu'elle augmente dans le modèle.

Dans MINERVA 2, l'augmentation de l'interaction $PDT \times Elaboration$ observée en augmentant la difficulté de la tâche (*i.e.*, en diminuant le coefficient d'apprentissage) s'explique par des valeurs de distance Sonde/Écho globalement plus proches du seuil de réponse en condition difficile, qu'en condition facile. La Figure 9.3 (panneau A) représente

²Les résultats sont illustrés en rappel indicé mais, comme nous pouvons le constater sur la Figure 9.2 (panneau A), la variation de l'interaction $PDT \times Elaboration$ est semblable en reconnaissance.

³Bien que dans ce cas l'augmentation ne soit pas significative [$F(1,33) = 0.771$; $p > 0.386$].

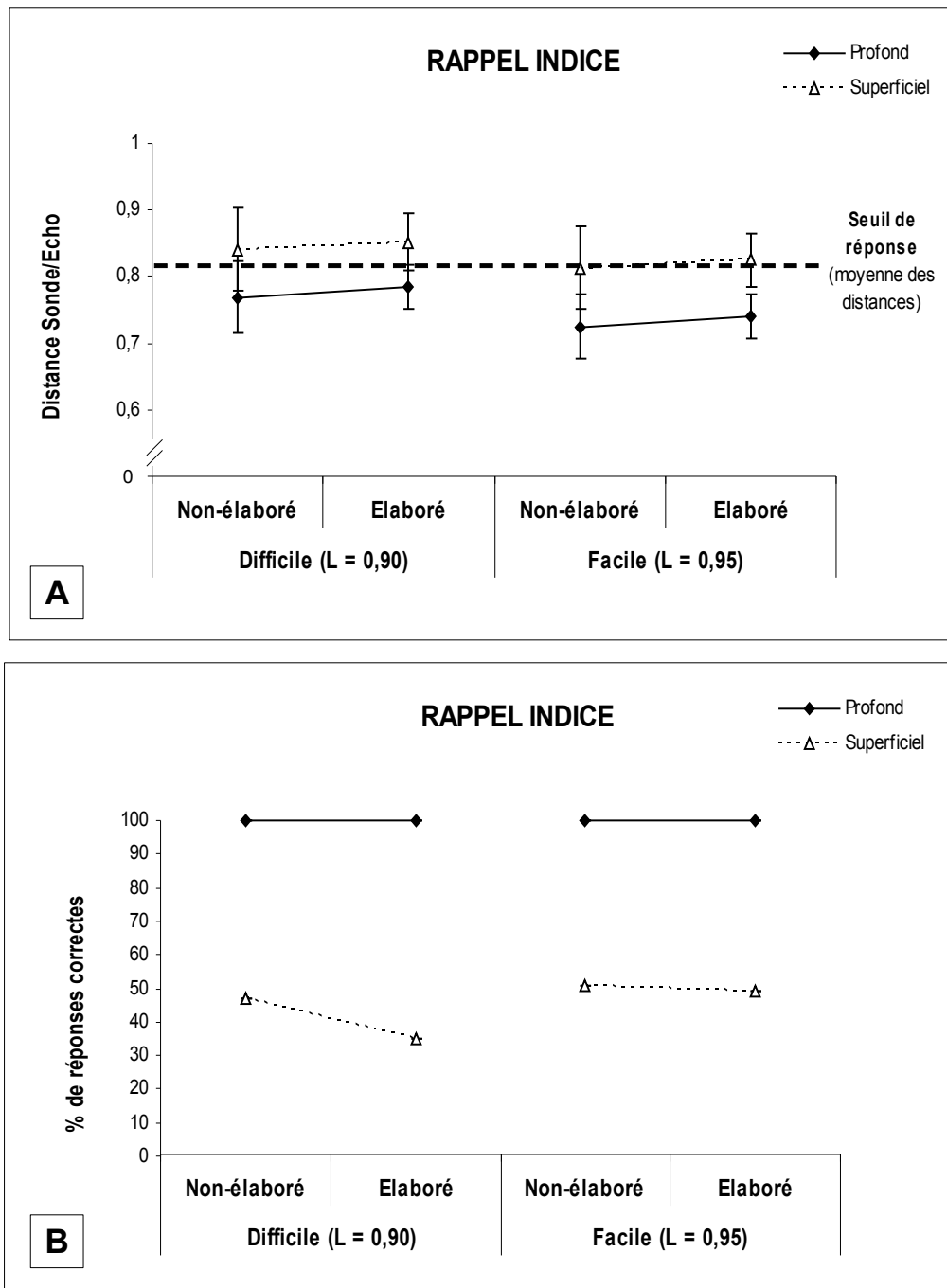


FIG. 9.3 – Le panneau A représente le rapport entre les valeurs de distance Sonde/Écho, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle, en fonction du domaine de traitement (i.e., Profond vs. Superficiel) et du niveau d'élaboration (i.e., Non-élaboré vs. Elaboré) simulés, ainsi que du coefficient d'apprentissage utilisé (i.e., L = 90% vs. L = 95%). Le panneau B représente, quant à lui, les performances du modèle qui découlent de ce rapport en fonction des variables implémentées (i.e., PDT, élaboration et durée de présentation).

les valeurs de distance Sonde/Écho en fonction du type de traitement simulé (*i.e.*, Profond *vs.* Superficiel et Non-élaboré *vs.* Élaboré) et de la difficulté de la tâche (*i.e.*, Difficile ($L = 90\%$) *vs.* Facile ($L = 95\%$)). Sur cette figure, chaque point correspond à la moyenne des distances Sonde/Echo obtenues, pour chaque condition, sur l'ensemble des sujets simulés (*i.e.*, sur l'ensemble des itérations du programme). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, dans la condition facile (*i.e.*, $L = 95\%$), les valeurs de distance Sonde/Echo sont majoritairement en dessous du seuil, en simulant un encodage profond (*i.e.*, 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs), et se trouvent aux environs du seuil, en simulant un encodage superficiel (*i.e.*, 80% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs). En outre, ces résultats s'observent quelle que soit la condition d'élaboration. En revanche, dans la condition difficile (*i.e.*, $L = 90\%$), les valeurs de la distance Sonde/Echo restent inférieures au seuil de réponse, en simulant un encodage profond, mais se trouvent au-dessus du seuil, en simulant un encodage superficiel. A nouveau, ces résultats s'observent quelle que soit la condition d'élaboration.

Par rapport à ces résultats, les performances du modèle peuvent être transcrites en termes de pourcentage de rappel correct. Sur l'ensemble des sujets simulés, une réponse correcte est comptabilisé chaque fois que la valeur de la distance Sonde/Écho est en-dessous du seuil de réponse. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 9.3 (panneau B), dans la condition facile (*i.e.*, $L = 95\%$), 100% de réponses correctes sont obtenus en simulant un traitement profond, quelle que soit la condition d'élaboration. En outre, en simulant un encodage superficiel, les performances tendent très légèrement à diminuer en condition élaborée par rapport à la condition non-élaborée. De fait, dans cette condition, l'interaction $PDT \times Elaboration$ est quasiment nulle. Dans la condition difficile (*i.e.*, $L = 90\%$), les mêmes effets sont retrouvés à l'exception que la baisse de performance, observée entre les conditions d'élaboration, est accentuée en simulant un traitement superficiel. De fait l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée.

L'ensemble de ces résultats indique que lorsque les valeurs de distance Sonde/Écho se rapprochent du seuil de réponse du modèle (*i.e.*, augmentation modérée de la difficulté), l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée. En revanche, cette interaction est faible lorsque les valeurs se situent au-dessous du seuil (*i.e.*, tâche facile). La variation de l'interaction s'explique par des changements dans la probabilité d'obtenir une réponse correcte, en fonction du niveau de traitement simulé. Par exemple, lorsque l'on simule un encodage

profond des informations en condition facile (*i.e.*, $L = 95\%$), la probabilité sera très forte que les valeurs de distance soient inférieures au seuil (induisant une bonne réponse), quelle que soit la condition d'élaboration (*i.e.*, la déviation standard des valeurs). En revanche, lorsque l'on simule le même type de traitement en condition difficile (*i.e.*, $L = 90\%$), l'effet d'élaboration sera cette fois-ci positif car une augmentation de l'élaboration (induisant une baisse de la déviation standard) augmentera la probabilité que la valeur de distance soit inférieure au seuil de réponse. Ce phénomène tendra alors à augmenter l'interaction $PDT \times Elaboration$.

Le comportement de MINERVA 2 indique ainsi qu'il faut un certain niveau de difficulté pour augmenter l'interaction $PDT \times Elaboration$ et, donc, le bénéfice de l'apport concomitant d'une aide sémantique et d'une aide à l'élaboration. Par rapport à ce résultat, puisque dans l'expérimentation l'interaction $PDT \times Elaboration$ n'a pas variée en fonction de la difficulté de la tâche, nous pouvons suggérer que l'absence d'interaction chez les sujets peut être due à un niveau de difficulté trop faible, même dans la condition dite « difficile » (*i.e.*, 2 secondes par rapport à 3 secondes). Nous pouvons alors proposer qu'une condition expérimentale encore plus contraignante (*e.g.*, 1 seconde de présentation) puisse occasionner une interaction $PDT \times Elaboration$ augmentée, comme prédit par le modèle.

En conclusion : L'effet de durée de présentation peut être correctement simulé dans MINERVA 2 lorsque le coefficient d'apprentissage du modèle est manipulé. En outre, dans une certaine configuration de paramètres, le modèle permet de vérifier l'hypothèse d'une interaction $PDT \times Elaboration$ augmentée, en augmentant la difficulté de la tâche (*i.e.*, diminution du coefficient d'apprentissage \Leftrightarrow diminution de la durée de présentation). Au regard des résultats obtenus dans la simulation, l'interaction $PDT \times Elaboration$ semble dépendante de la difficulté de la tâche et, précisément, l'absence de cette interaction chez les sujets nous permet de supposer qu'une durée de présentation de 2 secondes n'a pas entraîné une difficulté suffisante (par rapport à 3 secondes de présentation) pour induire ce type d'effet. Cette hypothèse reste alors à confirmer par de nouvelles expériences.

9.2 Organisation du matériel

Cette simulation correspond à l'expérience 2 du chapitre 7 (§ 7.2, p. 188). Les résultats de cette expérience ont indiqué trois résultats notables : (1) les performances des sujets ont été augmentées lorsque le matériel à mémoriser était organisé en catégories [$F(1,33) = 36.136$; $p < .0001$] ; (2) l'interaction $PDT \times Elaboration$ n'a pas augmentée lorsque la tâche était difficile [$F(1,33) = 0.583$; $p > .450$] ; et (3) les meilleures performances ont été obtenues sur les listes de mots organisées en catégories, en utilisant une aide au traitement sémantique et une aide à l'élaboration associées à un test de reconnaissance [$F(2,66) = 3.035$; $p < .05$]. L'objectif de cette simulation était d'implémenter l'*organisation* des informations dans MINERVA 2 et de reproduire ces résultats expérimentaux.

9.2.1 Implémentations et paramètres

Conformément à l'approche expérimentale (voir chapitre 7, § 7.2.2, p. 189), l'organisation du matériel a été manipulée dans MINERVA 2 en utilisant deux listes de vecteurs différentes. La première liste était composée de 20 vecteurs générés *aléatoirement* et figurait une liste de mots non-organisée. La deuxième liste a été construite, quant à elle, en générant tout d'abord 5 vecteurs aléatoirement puis, de chacun de ces vecteurs, 4 *vecteurs liés* ont été dérivés. Les vecteurs dérivés partageaient 30% de caractéristiques communes avec leur vecteur d'origine. La deuxième liste a alors été composée de tous les vecteurs dérivés et figurait ainsi une liste de mots organisée en 5 « catégories » de 4 « exemplaires » chacune. En outre, la PDT, l'élaboration et la spécificité d'encodage ont été implémentées comme dans la simulation précédente, c'est-à-dire, respectivement, à l'aide de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (*i.e.*, 90% pour figurer un traitement sémantique *vs.* 80% pour un traitement phonétique), de la dimension des vecteurs (*i.e.*, 80 caractéristiques pour figurer une information élaborée *vs.* 40 caractéristiques pour une information non-élaborée) et de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs mémorisés (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes pour simuler une tâche de reconnaissance *vs.* 75% pour simuler une tâche de rappel indicé).

La procédure de simulation a consisté à encoder, dans le modèle, les deux types de liste décrits ci-dessus. Ici, le coefficient d'apprentissage n'a pas été manipulé et a toujours été fixé à 1. De fait, les vecteurs traces en mémoire étaient des copies parfaites des vecteurs

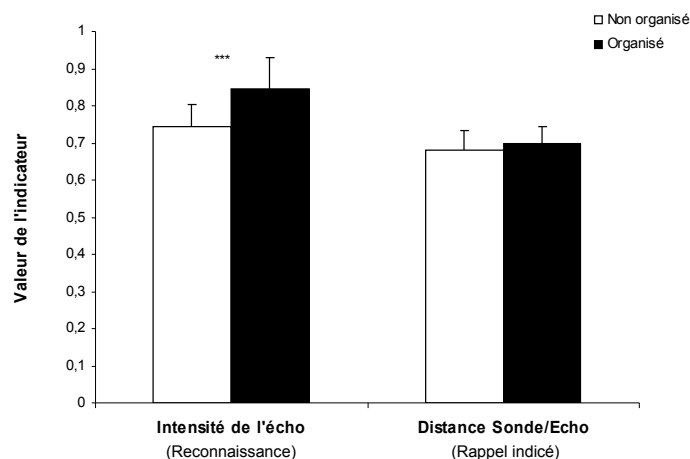


FIG. 9.4 – Variation de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho dans *Minerva 2*, en fonction de l'organisation des listes de vecteurs. Non organisé = 20 vecteurs aléatoires ; Organisé = 5×4 vecteurs liés ; *** = $p < .0001$.

présentés au modèle lors de la phase d'apprentissage. Lors de la récupération, les vecteurs mémorisés étaient présentés à nouveau au modèle en tant que sondes, soit sans aucune modification afin de simuler une tâche de reconnaissance, soit en modifiant 25% de leurs caractéristiques afin de simuler une tâche de rappel indicé. Dans toutes les conditions testées, 100 sujets ont été simulés.

Enfin, les performances du modèle ont été analysées comme dans la section précédente, c'est-à-dire par rapport aux valeurs brutes des indicateurs (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho) mais aussi en termes de pourcentage de réponses correctes. Les effets de l'aide sémantique (*i.e.*, δ_{PDT}), de l'aide à l'élaboration (*i.e.*, $\delta_{Elab.}$) et de leur interaction (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elab.}$) ont également été calculés (voir équations p. 231).

9.2.2 Résultats et discussion

L'effet de l'organisation des listes de vecteurs sur les performances du modèle va tout d'abord être exposé, puis nous aborderons les résultats concernant les interactions.

ORGANISATION DES LISTES DE VECTEURS / ORGANISATION DES LISTES DE MOTS

Chez les sujets, une augmentation de performance est constatée lorsque le matériel est organisé en catégories, par rapport à l'utilisation d'un matériel non-organisé, que ce soit en rappel indicé ou en reconnaissance.

La Figure 9.4 représente l'effet de l'organisation des listes de vecteurs dans MINERVA 2, en fonction du type d'organisation et du type d'indicateur analysé (*i.e.*, du type de tâche simulée). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, le modèle permet de répliquer les résultats des sujets en utilisant des listes de vecteurs liés ou non-liés. Cependant, ce résultat n'est vrai qu'en reconnaissance. En effet, les résultats indiquent qu'une liste de vecteurs liés augmente les valeurs de l'intensité de l'écho (utilisée pour implémenter la reconnaissance). Pour cet indicateur, les bonnes performances sont indiquées par des valeurs élevées. Ainsi, les performances du modèle sont augmentées en reconnaissance en utilisant des listes organisées. En revanche, les résultats indiquent qu'une liste de vecteurs liés n'a que peu d'effet sur les valeurs de la distance Sonde/Écho (utilisée pour implémenter la rappel indicé). Pour cet indicateur, les bonnes performances sont indiquées par des valeurs faibles. Ainsi, les performances du modèle sont inchangées en rappel indicé en utilisant des listes organisées.

L'augmentation de l'intensité de l'écho indique une reconnaissance facilitée des items lorsque la liste est organisée en catégories. Ce résultat s'explique par les profils d'activation des traces. Comme nous pouvons le constater sur la Figure 9.5, lorsque le matériel est organisé, la présentation d'une sonde (dans l'exemple, la sonde n°11) active non seulement la trace visée par la sonde (*i.e.*, la trace n°11) mais aussi les trois autres traces liées en mémoire (*i.e.*, traces n°9, 10 et 12). De fait, l'intensité de l'écho va être augmentée (voir histogrammes de couleur noir sur la Figure 9.5), par rapport à la condition non-organisée, car la somme des activations sera plus importante ⁴ (*i.e.*, augmentation de performance).

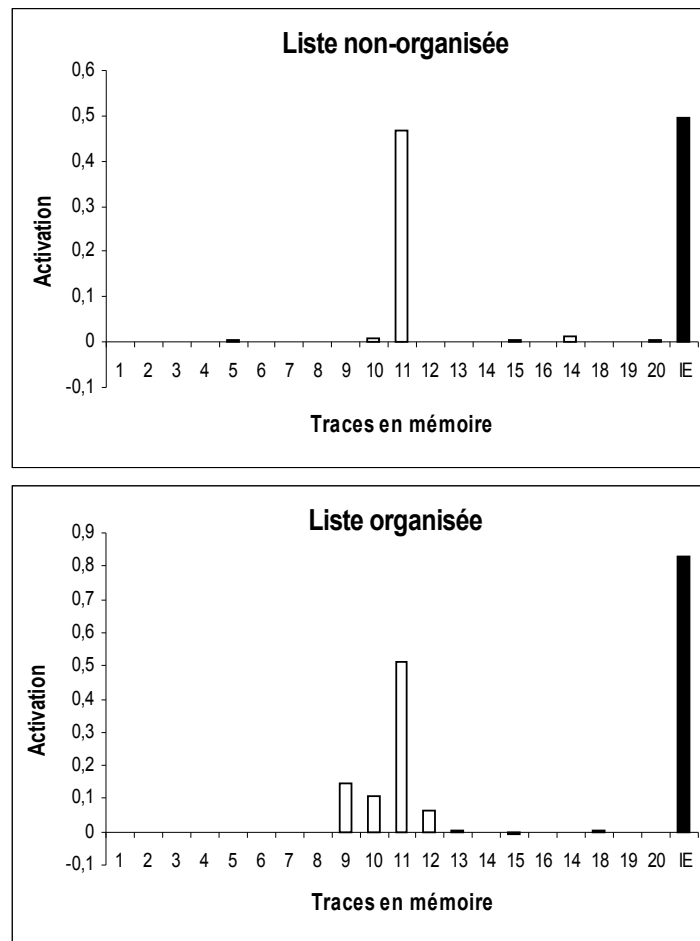


FIG. 9.5 – Profil d'activation de la mémoire dans *Minerva 2* en fonction de l'organisation de la liste de vecteurs. Ces profils ont été obtenus après présentation de la sonde n°11 au modèle. IE = Intensité de l'écho.

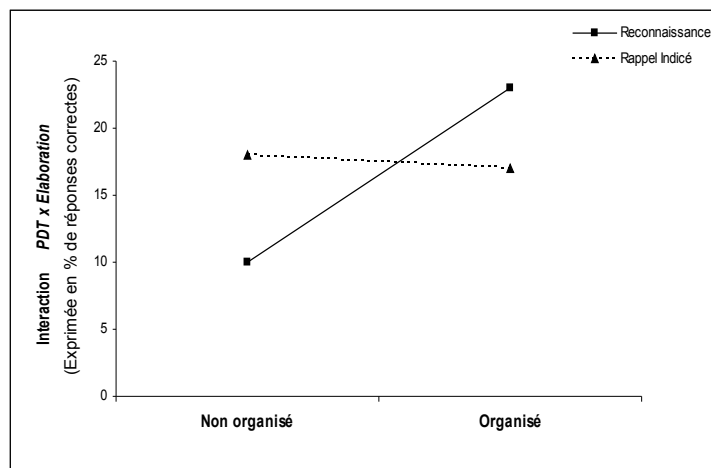


FIG. 9.6 – Variation de l'interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration (*i.e.*, $PDT \times Elaboration$) en fonction de l'organisation des listes de vecteurs (*i.e.*, organisé ou non en catégories) et du type de restitution simulé (*i.e.*, rappel indicé ou reconnaissance).

PROFONDEUR DE TRAITEMENT \times ÉLABORATION

Chez les sujets, la triple interaction $Organisation \times PDT \times Elaboration$ ne s'est pas révélée significative. Ce résultat indique alors que l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration n'était pas différent, quelle que soit l'organisation du matériel.

La Figure 9.6 représente l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2, en fonction de l'organisation des listes de vecteurs (*i.e.*, organisé ou non en catégories) et du type de restitution simulé (*i.e.*, rappel indicé ou reconnaissance). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, le modèle permet de reproduire les résultats expérimentaux mais seulement en rappel indicé. En effet, en simulant ce type de tâche, les résultats indiquent que l'interaction $PDT \times Elaboration$ varie très peu (légère augmentation en non-organisé) entre les deux conditions d'organisation. En revanche, en reconnaissance, l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée dans la condition organisée, par rapport à la condition non-organisée. Puisque les résultats de la simulation sont différents en simulant une tâche de rappel et de reconnaissance, il peut alors être noté que le modèle indique, comme chez les sujets, que l'interaction $PDT \times Elaboration$ est « co-dépendante » de l'organisation

⁴Par ailleurs, ce comportement du modèle est au centre de ses capacités de simulation du phénomène de fausses reconnaissances. En effet, un vecteur lié à des informations contenues en mémoire pourra activer plusieurs traces et induira une somme d'activation suffisante pour être reconnu, bien qu'il ne soit pas lui-même présent en mémoire (Arndt et Hirshman, 1998).

du matériel et du type de restitution. Précisément, chez les sujets comme dans le modèle, les meilleures performances sont obtenues en utilisant un encodage profond et élaboré des informations, un matériel organisé en catégories et un test de reconnaissance.

Dans MINERVA 2, la dépendance de l'interaction $PDT \times Elaboration$ vis à vis de l'organisation et du type de restitution peut s'expliquer par le rapport entre les valeurs des indicateurs (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. La Figure 9.7 représente ce rapport en fonction du domaine de traitement (*i.e.*, Profond *vs.* Superficiel), du niveau d'élaboration (*i.e.*, Non-élaboré *vs.* Élaboré), du type d'organisation utilisée (*i.e.*, Non organisé *vs.* Organisé en catégories) et du type de tâche simulée (*i.e.*, Rappel indicé *vs.* Reconnaissance). Comme dans la simulation précédente, sur les panneaux A et B, chaque point correspond à la moyenne des valeurs obtenues, pour chaque condition, sur l'ensemble des sujets simulés (*i.e.*, sur l'ensemble des itérations du programme). En outre, ces moyennes peuvent être transcrites en termes de pourcentages de réponses correctes, par rapport au seuil de réponse, afin de présenter les performances du modèle en rappel indicé et en reconnaissance (*i.e.*, respectivement, panneaux C et D).

En rappel indicé, comme nous pouvons le voir sur la Figure 9.7 (panneau A), le rapport entre les valeurs de distance Sonde/Écho, leurs déviations standards et le seuil de réponse varie très peu en fonction de l'organisation des listes de vecteurs. Dans la condition facile (*i.e.*, listes organisées), quelle que soit la condition d'organisation, les valeurs obtenues en simulant un traitement profond (*i.e.*, 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) sont inférieures au seuil de réponse du modèle, alors que les valeurs obtenues en simulant un traitement superficiel (*i.e.*, 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) sont au-dessus du seuil. En outre, ce résultat s'observe quel que soit le niveau d'élaboration simulé (*i.e.*, 40 ou 80 caractéristiques dans les vecteurs, respectivement, pour un encodage non-élaboré ou élaboré). Dans la condition difficile, les résultats sont strictement identiques, les valeurs de distance étant à peine plus faibles que dans la condition facile.

En termes de performance, ces résultats se traduisent par le profil de la Figure 9.7 (panneau B). Comme nous pouvons le voir sur ce panneau, en condition non-organisée, les performances tendent à augmenter dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage profond. En revanche, une baisse des perfor-

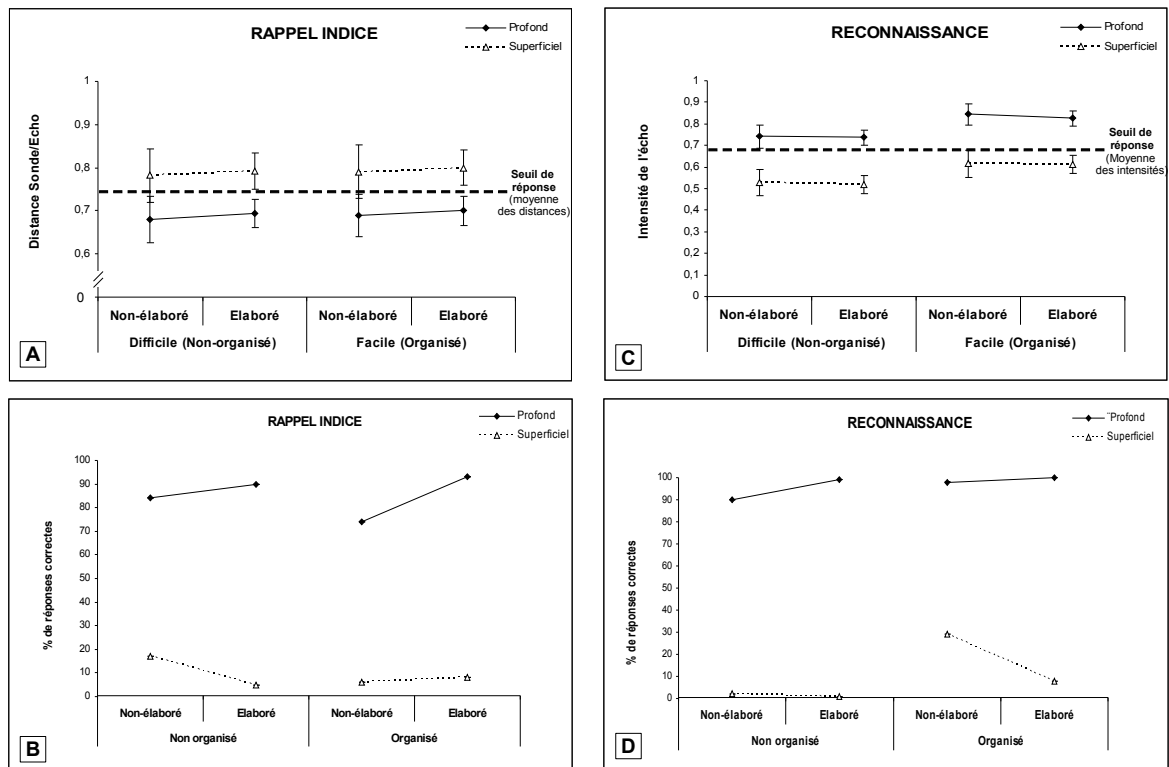


FIG. 9.7 – Les panneaux A et C représentent le rapport entre les valeurs des indicateurs de performance (i.e., intensité de l'écho et distance Sonde/Écho, respectivement pour la reconnaissance et le rappel indicé), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle, en fonction du domaine de traitement (i.e., Profond vs. Superficiel), du niveau d'élaboration (i.e., Non-élaboré vs. Elaboré) et du type d'organisation utilisé (i.e., Non organisé vs. Organisé en catégories). Pour ces deux tâches, les panneaux B et D représentent de façon respective les performances du modèle qui découlent du rapport entre les variables (i.e., PDT, élaboration et organisation), dans les différentes conditions simulées.

mances est constaté dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage superficiel. Cette variation de l'effet d'élaboration en fonction du niveau de traitement simulé induit alors une interaction $PDT \times Elaboration$ positive (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 18\%$). Dans la condition organisée, l'effet d'élaboration observé en simulant un encodage profond est augmenté par rapport à la condition non-organisée. Cette fois-ci, en simulant un encodage superficiel, une hausse des performances est constatée dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée. L'interaction qui en découle est alors équivalente à celle observée dans la condition non-organisée (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 17\%$).

En reconnaissance, comme nous pouvons le constater sur la Figure 9.7 (panneau C), le rapport entre les valeurs de l'intensité de l'écho, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle varie entre les deux conditions d'organisation. Dans la condition facile (*i.e.*, listes organisées), quelle que soit la condition d'organisation, les valeurs obtenues en simulant un traitement profond (*i.e.*, 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) sont supérieures au seuil de réponse du modèle, alors que les valeurs obtenues en simulant un traitement superficiel (*i.e.*, 80% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) sont en-dessous du seuil. En outre, ce résultat s'observe quel que soit le niveau d'élaboration simulé (*i.e.*, 40 ou 80 caractéristiques dans les vecteurs, respectivement, pour un encodage non-élaboré ou élaboré). Dans la condition difficile, les résultats sont strictement identiques, mais les valeurs de l'intensité sont en position plus « basse » par rapport au seuil de réponse, alors qu'elles sont plutôt en position « haute » dans la condition facile.

En termes de performance, ces résultats se traduisent par le profil de la Figure 9.7 (panneau D). Comme nous pouvons le voir sur ce panneau, en condition non-organisée, les performances tendent à augmenter dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage profond. En revanche, aucune variation n'est constatée dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage superficiel. Cette variation de l'effet d'élaboration en fonction du niveau de traitement simulé induit une interaction $PDT \times Elaboration$ (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 10\%$). Dans la condition organisée, l'effet d'élaboration observé en simulant un encodage profond est diminué par rapport à la condition non-organisée. Cette fois-ci, en simulant un encodage superficiel, une baisse des performances est constatée dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée. L'interaction qui en découle est alors augmentée

(*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 22\%$). Par rapport au panneau B, nous pouvons constater que cette augmentation d'interaction est liée à une condition de difficulté qui devient plus modérée. En effet, en condition non-organisée, le seuil de réponse du modèle est en position plutôt « haute » par rapport aux valeurs de l'intensité de l'écho, ce qui correspond à « une situation relativement difficile pour le modèle » car la probabilité que les intensités dépassent le seuil (ce qui provoque une réponse correcte) sera globalement faible. En revanche, dans la condition organisée, le seuil de réponse est plutôt en position « basse » par rapport aux valeurs de l'intensité, ce qui correspond à « une situation globalement moins difficile » que dans la condition non-organisée. Ici, l'interaction $PDT \times Elaboration$ est alors potentialisée lorsque la tâche n'est pas trop difficile.

En conclusion : L'effet de l'organisation du matériel peut être correctement simulé dans MINERVA 2, en encodant en mémoire des vecteurs qui partagent des caractéristiques communes. Cependant, les capacités de simulation du modèle se limitent à la tâche de reconnaissance, l'effet d'organisation n'étant pas retrouvé en rappel indicé. Par opposition, concernant l'interaction $PDT \times Elaboration$, le modèle reproduit les résultats expérimentaux en rappel indicé mais pas en reconnaissance. Par ailleurs, les simulations indiquent, comme chez les sujets, que les meilleures performances sont obtenues en utilisant un encodage profond et élaboré des informations, un matériel organisé en catégories et un test de reconnaissance. L'ensemble des résultats s'explique par le rapport entre les valeurs des indicateurs (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. L'étude de ce rapport confirme que l'interaction $PDT \times Elaboration$ est potentialisée dans une configuration correspondant à une difficulté modérée de la tâche. L'interaction est diminuée quand la difficulté augmente.

9.3 Consignes de récupération

Enfin, cette dernière simulation correspond à l'expérience 3 du chapitre 7 (§ 7.3, p. 193). Pour rappel, les résultats expérimentaux ont indiqué que : (1) les performances des sujets n'étaient globalement pas affectées par le type de consigne de récupération [$F(1,41) = 0.457$; $p > .504$]; et (2) l'interaction $PDT \times Elaboration$ a été augmentée, en augmentant la difficulté [$F(1,41) = 17.483$; $p < .0001$]. L'objectif de cette simulation

était d'implémenter le type de *consigne de récupération* dans MINERVA 2 et de reproduire ces résultats.

9.3.1 Implémentations et paramètres

En nous basant sur les travaux de N’Kaoua *et al.* (2005), nous avons implémenté le type de consignes de restitution dans MINERVA 2 à l’aide du *seuil de réponse* du modèle. Ce seuil sert à évaluer les performances en termes de pourcentage de réponses correctes. Dans le modèle, les bonnes reconnaissances sont indiquées par des valeurs élevées de l’intensité de l’écho. Dans ce cadre, pour qu’un item soit considéré comme reconnu, il faudra que les valeurs de l’intensité dépassent le seuil de réponse. De fait, plus le seuil va être élevé, plus la probabilité de dépasser le seuil va être faible et, donc, plus la tâche sera considérée comme difficile. Inversement, plus le seuil sera bas, plus la probabilité que l’intensité le dépasse sera forte et, donc, plus la tâche sera facile. Concernant le rappel indicé, les bonnes performances sont indiquées par de faibles valeurs de la distance Sonde/Écho. Concernant cet indicateur, la situation est alors strictement inverse à celle de l’intensité de l’écho. Ainsi, il faudra que les valeurs de distance soient inférieures au seuil de réponse pour que le vecteur écho (*i.e.*, la réponse en sortie) soit considéré comme l’item correctement rappelé. De fait, plus le seuil va être élevé, plus la probabilité de ne pas le dépasser va être forte et, donc, plus la tâche sera considérée comme facile. Inversement, plus le seuil sera bas, plus la probabilité que la distance soit en-dessous du seuil sera faible et, donc, plus la tâche sera difficile. Dans cette simulation, nous avons fait varier le seuil par rapport à la valeur moyenne des indicateurs et leurs déviations standards. Précisément, nous avons testé les performances du modèle en faisant varier le seuil de réponse dans un intervalle de valeurs compris entre -3 et $+3$ déviations standards autour de la moyenne. En outre, la PDT, l’élaboration et la spécificité d’encodage ont été implémentées comme dans les simulations précédentes, c’est-à-dire, respectivement, à l’aide de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs (*i.e.*, 90% pour figurer un traitement sémantique *vs.* 80% pour un traitement phonétique), de la dimension des vecteurs (*i.e.*, 80 caractéristiques pour figurer une information élaborée *vs.* 40 caractéristiques pour une information non-élaborée) et de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs mémorisés (*i.e.*, 100% de caractéristiques communes pour simuler une tâche de reconnaissance *vs.* 75% pour simuler une tâche de rappel indicé).

La procédure de simulation a consisté à encoder en mémoire une liste de 20 vecteurs générés aléatoirement. Ici, comme dans la simulation précédente, le coefficient d'apprentissage n'a pas été manipulé et a été fixé à 1. De fait, les vecteurs traces en mémoire étaient des copies parfaites des vecteurs présentés au modèle, lors de la phase d'apprentissage. Lors de la récupération, les vecteurs mémorisés étaient présentés à nouveau au modèle en tant que sondes, soit sans aucune modification (*i.e.*, reconnaissance), soit en modifiant 25% de leurs caractéristiques (*i.e.*, rappel indicé). Dans toutes les conditions testées, 100 sujets ont été simulés. Les valeurs des indicateurs de performance ont été calculées, puis comparées au seuil de réponse. A la fin de la simulation, un pourcentage de réponse correcte était calculé en fonction du nombre de cibles, sur l'ensemble des itérations, ayant passé avec succès le critère de sélection imposé par le seuil de réponse.

Enfin, les performances du modèle ont été analysées comme dans la section précédente, c'est-à-dire par rapport aux valeurs brutes des indicateurs (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho) mais aussi en termes de pourcentage de réponses correctes. Les effets de l'aide sémantique (*i.e.*, δ_{PDT}), de l'aide à l'élaboration (*i.e.*, $\delta_{Elab.}$) et de leur interaction (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elab.}$) ont également été calculés (voir équations p. 231).

9.3.2 Résultats et discussion

Nous allons tout d'abord exposer l'effet du seuil de réponse sur les performances de MINERVA 2.

Seuil de réponse / Consignes de restitution

Dans notre expérience, les résultats ont indiqué que les performances des sujets n'ont globalement pas été affectées par la manipulation de la consigne de récupération. Cependant, une baisse de performance a pu être observée en utilisant une consigne rigoureuse (*i.e.*, « Ne répondez que si vous êtes sûr de votre réponse »), par rapport à une consigne laxiste (*i.e.*, « Répondez même si vous n'êtes pas sûr »), dans les conditions où aucune aide n'était apportée. Ces résultats indiquent, premièrement, qu'une consigne rigoureuse tend à faire baisser les performances des sujets sans soutien cognitif et, deuxièmement, que la difficulté de la tâche engendrée par la consigne rigoureuse a pu être globalement compensée par l'apport des aides de mémoire.

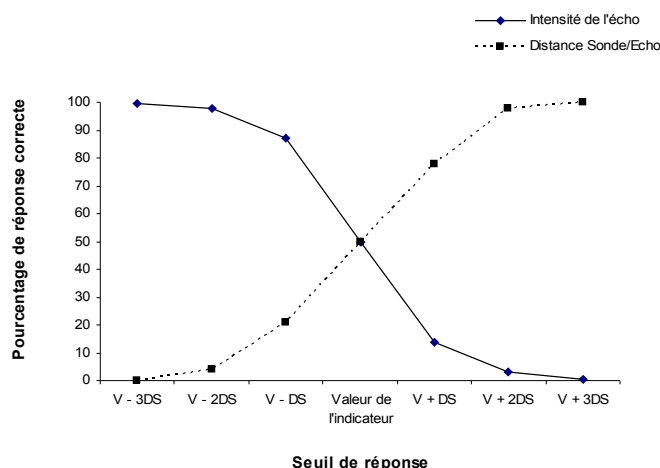


FIG. 9.8 – Performances de MINERVA 2, en fonction du seuil de réponse du modèle et du type d'indicateur analysé. V = Valeur de l'indicateur ; DS = Déviation Standard.

En dehors de cet effet d'interaction (qui sera décrit plus bas), la Figure 9.8 représente les performances de MINERVA 2, en fonction du seuil de réponse utilisé et du type d'indicateur analysé (*i.e.*, du type de tâche simulée). Comme nous pouvons le constater sur cette figure, les résultats indiquent que plus le seuil de réponse est élevé, plus les valeurs de l'intensité de l'écho et de la distance Sonde/Écho tendent, respectivement, à diminuer et à augmenter. Ici, ces deux résultats reflètent en réalité le même phénomène, c'est-à-dire que plus le seuil de réponse est contraignant par rapport à l'indicateur considéré, plus les performances tendent à diminuer. Ainsi, le modèle permet de simuler une baisse de performance en rappel indicé et en reconnaissance lorsque la difficulté est augmentée (*i.e.*, lorsque la consigne de récupération est rigoureuse).

PROFONDEUR DE TRAITEMENT \times ÉLABORATION

Chez les sujets, les résultats indiquent que l'interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée en utilisant une consigne rigoureuse par rapport à une consigne laxiste.

La Figure 9.9 (panneau A) représente la variation de l'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2, en fonction du seuil de réponse du modèle (de -3 à $+3$ déviations standards par rapport à la moyenne) et du type de restitution simulé (*i.e.*, rappel indicé et reconnaissance). Sur cette figure la difficulté est croissante en reconnaissance lorsque le seuil de réponse est augmenté. À l'opposé, en rappel indicé, la difficulté est croissante lorsque le seuil diminue. Comme nous pouvons le constater sur cette figure, le modèle

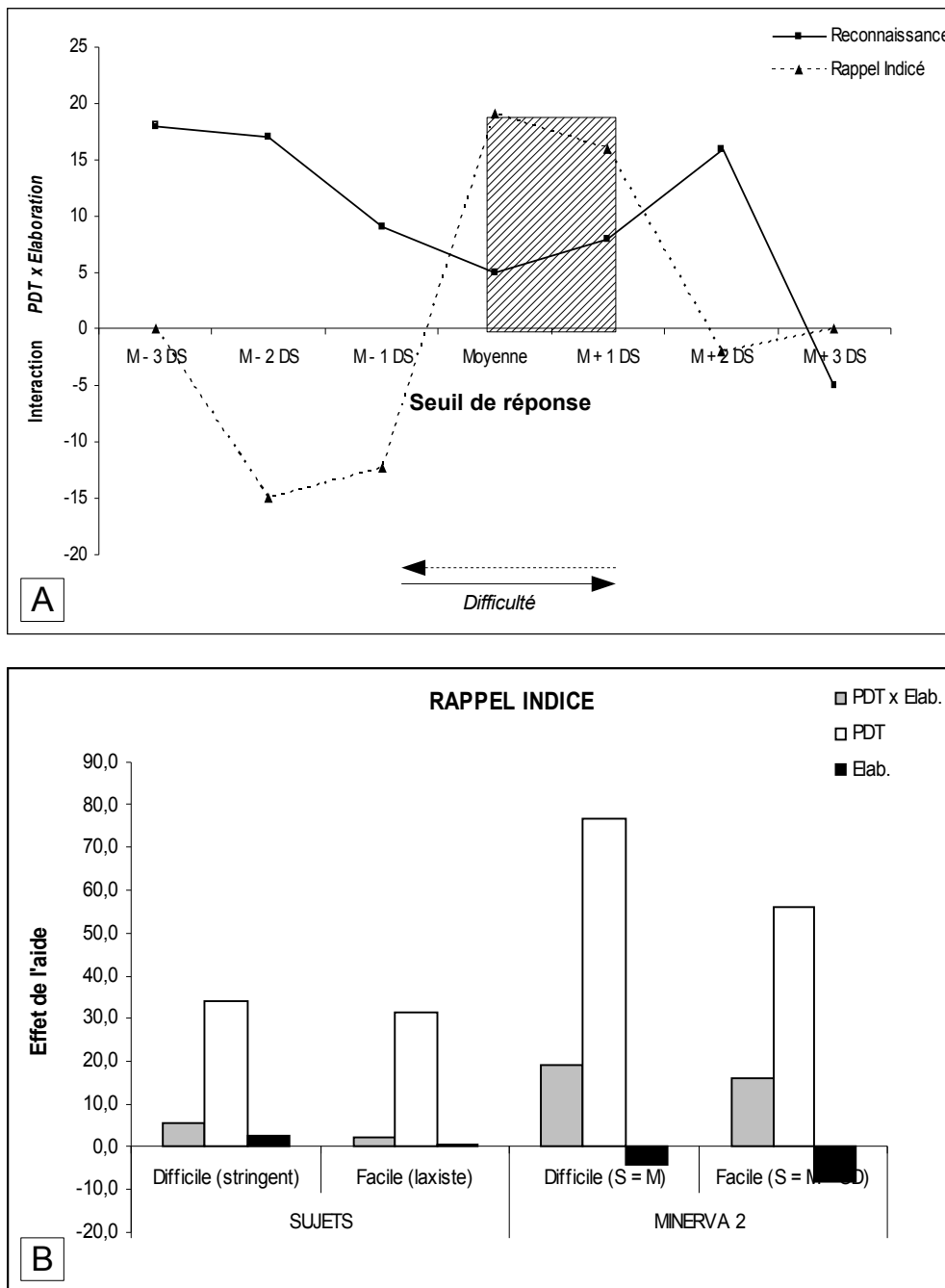


FIG. 9.9 – Variation de l'interaction PDT × Elaboration en fonction du seuil de réponse du modèle et du type de restitution simulé (panneau A). La partie hachurée de la courbe correspond à l'intervalle utilisé pour obtenir les résultats exposés sur le panneau B. Ce panneau représente, en rappel indicé, l'effet de l'aide sémantique et de l'aide à l'élaboration, utilisées de façon séparée ou concomitante, en fonction de la difficulté de la tâche, chez les sujets et dans le modèle. M = Moyenne des distances ; DS = Déviation Standard.

permet, dans certaines configurations de paramètres (*e.g.*, partie hachurée de la courbe de rappel indicé), de démontrer une interaction $PDT \times Elaboration$ est augmentée, lorsque la difficulté augmente. Ce résultat est obtenu quel que soit le type de restitution simulé, bien que les intervalles dans lesquels l'effet est observable ne soient pas les mêmes. Les résultats étant similaires pour les deux types de restitution, par soucis de clarté, nous ne décrirons ici que les résultats en rappel indicé. Dans ce cas, le seuil moyen correspond à la moyenne des distances Sonde/Écho. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 9.9 (panneau A), en suivant l'augmentation de difficulté en rappel indicé, l'interaction $PDT \times Elaboration$ tend à augmenter sur l'intervalle compris entre deux déviations standards au-dessus de la moyenne et cette dernière. Ensuite, l'interaction diminue à partir de la moyenne, jusqu'à un minimum, lorsque le seuil est égal à deux déviations standards en-dessous de la moyenne. Enfin, l'interaction augmente à nouveau, pour s'annuler finalement à partir de trois déviations standards en-dessous de la moyenne.

En considérant la partie hachurée de la courbe de rappel indicé sur le panneau A, le panneau B représente la comparaison des effets de l'aide sémantique (PDT), de l'aide à l'élaboration (Elab.) et de leur interaction (PDT x Elab.), dans le modèle et chez les sujets. Dans cette simulation, nous pouvons constater que les résultats obtenus sont très proches de ceux observés chez les sujets. Tout d'abord, l'effet des aides est comparable entre l'expérimentation et la simulation. En effet, dans les deux cas, l'aide sémantique s'avère l'aide la plus puissante, suivie de l'interaction $PDT \times Elaboration$, puis de l'aide à l'élaboration. Par ailleurs, ce résultat est obtenu quelle que soit la condition de difficulté simulée. En outre, la variation des effets est également la même dans le modèle et chez les sujets. Précisément, tous les effets sont augmentés dans la condition difficile (*i.e.*, seuil de réponse égal à la moyenne de distances Sonde/Écho \Leftrightarrow consigne rigoureuse), par rapport à la condition facile (*i.e.*, seuil de réponse au-dessus de la moyenne \Leftrightarrow consigne laxiste). Les seules différences qui peuvent être notées entre la simulation et l'expérimentation sont ici quantitative. Premièrement, les effets sont plus prononcés dans le modèle que chez les sujets. Deuxièmement, alors que l'effet d'élaboration est toujours positif dans l'expérimentation, cet effet est toujours négatif dans la simulation.

Comme dans les simulations précédentes, les résultats s'expliquent en analysant le rapport entre les valeurs de l'indicateur de performance, leurs déviations standards et la valeur du seuil de réponse. Comme nous pouvons le constater sur la Figure 9.10 (panneau

A), dans la condition facile (*i.e.*, seuil de réponse positionné à un écart-type au-dessus de la moyenne), les valeurs obtenues en simulant un traitement profond (*i.e.*, 90% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) sont inférieures au seuil de réponse du modèle, alors que les valeurs obtenues en simulant un traitement superficiel (*i.e.*, 80% de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs) se situent au niveau du seuil. En outre, ce résultat s'observe quel que soit le niveau d'élaboration simulé (*i.e.*, 40 ou 80 caractéristiques dans les vecteurs, respectivement, pour un encodage non-élaboré ou élaboré). Dans la condition difficile (*i.e.*, seuil de réponse égal à la moyenne des distances Sonde/Echo), les résultats indiquent que les valeurs obtenues sont toujours majoritairement en-dessous du seuil de réponse, en simulant un encodage profond, alors qu'elles passent au-dessus du seuil en simulant un encodage superficiel. A nouveau, ce résultat s'observe quel que soit le niveau d'élaboration simulé.

En termes de performance, ces résultats se traduisent par le profil présenté sur le panneau B. Comme nous pouvons le voir ici, en condition facile (*i.e.*, seuil = moyenne + 1 déviation standard), 100% de réponses correctes (*i.e.*, effet plafond) sont obtenus en simulant un traitement profond, quelle que soit la condition d'élaboration. En outre, en simulant un encodage superficiel, les performances tendent à diminuer en condition élaborée par rapport à la condition non-élaborée. Cette variation de l'effet d'élaboration en fonction du niveau de traitement simulé induit une interaction $PDT \times Elaboration$ (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 16\%$). Dans la condition difficile (*i.e.*, seuil = moyenne), les performances sont ici augmentées dans la condition élaborée, par rapport à la condition non-élaborée, en simulant un encodage profond. En outre, l'effet d'élaboration observé en simulant un encodage superficiel est légèrement diminué dans la condition difficile, par rapport à la condition facile. L'interaction $PDT \times Elaboration$ qui en découle est alors augmentée (*i.e.*, $\delta_{PDT \times Elabor.} = 19\%$). Par rapport au panneau A, nous pouvons alors constater que cette augmentation d'interaction est liée à une difficulté modérément augmentée. En effet, en condition facile, le seuil de réponse du modèle est en position plutôt « haute » par rapport aux valeurs de distance Sonde/Echo, ce qui correspond à « une situation relativement facile pour le modèle » car la probabilité que les valeurs ne dépassent pas le seuil (ce qui provoque une réponse correcte) est globalement élevée. En revanche, dans la condition difficile, le seuil de réponse est plutôt en position plus médiane par rapport aux valeurs, ce qui correspond à « une situation plus difficile » que dans la condition

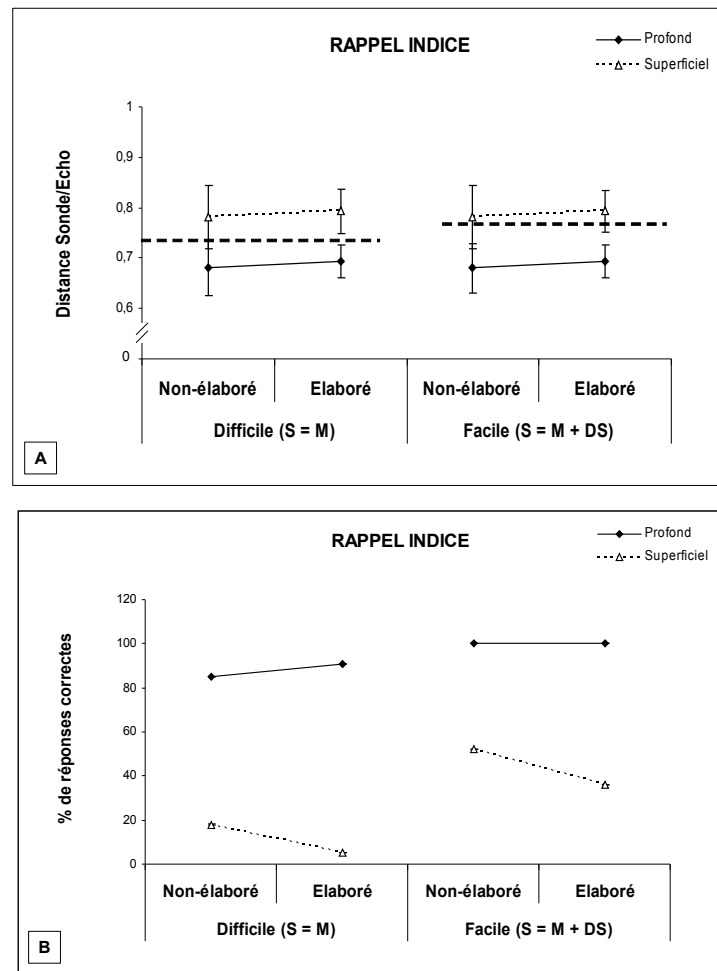


FIG. 9.10 – Représentation du rapport entre les valeurs de distance Sonde/Écho, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle, en fonction du domaine de traitement, du niveau d’élaboration et du type de consigne simulés (panneau A). Le panneau B représente, quant à lui, les performances du modèle qui découlent de ce rapport en fonction des variables implémentées (i.e., PDT, élaboration et consignes de récupération). S = Seuil de réponse ; M = Moyenne des distances ; DS = Déviation Standard.

précédente. Ici, l'interaction $PDT \times Elaboration$ est alors potentialisée lorsque la tâche devient plus difficile.

Dans cette simulation, contrairement aux deux précédentes, nous avons directement manipulé le seuil de réponse du modèle. Il est alors particulièrement intéressant de constater que c'est dans cette simulation que nous observons le plus de similitude entre le comportement des sujets et celui de MINERVA 2. En effet, comme suggéré précédemment (voir chapitre 6, § 6.4, p. 176), en proposant une analogie entre simulation et expérimentation, les valeurs des indicateurs de performance (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho) et leurs déviations standards peuvent être envisagés comme un « reflet » des capacités du sujet simulé, car ces variables renvoient à l'efficacité des « traitements » mis en jeu dans le modèle. Par ailleurs, le seuil de réponse pourrait refléter, quant à lui, à la fois une « difficulté objective » résultant des demandes environnementales lors de la récupération (*i.e.*, difficulté liée aux caractéristiques de la tâche considérée), mais aussi un critère de réponse « subjectif » que les sujets pourraient adopter (implicitement ou explicitement), en fonction de leur degré d'attention ou de motivation. Ainsi, les performances du modèle pourraient être expliquées dans un rapport « Sujet/Tâche ».

Dans ce contexte, par rapport aux résultats des simulations, le comportement de MINERVA 2 évoque un effet maximal de l'interaction $PDT \times Elaboration$ lorsque la difficulté de la tâche est modérée par rapport aux compétences du sujet (*i.e.*, dans le modèle, seuil de réponse en position médiane par rapport aux valeurs de l'indicateur).

Conclusion : MINERVA 2 permet de simuler correctement l'effet d'une consigne rigoureuse lorsque le seuil de réponse du modèle est manipulé. En outre, dans une certaine configuration de paramètres, le modèle permet de vérifier l'hypothèse d'une interaction $PDT \times Elaboration$ augmentée en fonction de la difficulté de la tâche (*e.g.*, en baissant le seuil de réponse du modèle en rappel indicé). Cette configuration réfère alors à un rapport entre les valeurs des indicateurs de performance, leurs déviations standards et le seuil de réponse évoquant une situation de difficulté modérée par rapport aux capacités de traitement (*i.e.*, seuil en position médiane par rapport aux valeurs de l'indicateur).

9.4 Conclusion générale

Dans ce chapitre, nous avons présenté une série de simulations ayant pour premier objectif de confronter MINERVA 2 aux facteurs de difficulté manipulés chez les sujets (voir chapitre 7, p. 181). Ainsi, la durée de présentation des items, l'organisation du matériel et le type de consignes de récupération ont été implémentés. Les résultats ont indiqué que les effets de durée de présentation et de consigne peuvent être correctement répliqués à l'aide de MINERVA 2 lorsque ces variables sont implémentées à l'aide du coefficient d'apprentissage du modèle et du seuil de réponse, respectivement. En revanche, les simulations ont révélé que le bénéfice d'un matériel organisé en catégories, comparé à un matériel non-organisé, était reproduit en simulant une tâche de reconnaissance, mais pas en rappel indicé. Globalement, MINERVA 2 s'avère donc un outil relativement intéressant puisqu'il permet de simuler la majorité des effets expérimentaux que nous avons obtenus.

Le deuxième objectif de cette série de simulations était de tester l'effet de l'interaction $PDT \times Elaboration$, en augmentant la difficulté de la tâche. Dans MINERVA 2, cette hypothèse a été vérifiée en simulant les expériences 1 et 3 du chapitre 7 (voir § 7.1, p. 184, et § 7.3, p. 193, respectivement). Le comportement du modèle indique en effet que, dans certaines conditions de paramètres, l'interaction $PDT \times Elaboration$ peut être augmentée lorsque la durée de présentation des items est plus courte (*i.e.*, en baissant le coefficient d'apprentissage du modèle) ou que les contraintes de récupération augmentent (*i.e.*, par exemple, en baissant le seuil de réponse du modèle lors d'une tâche de rappel indicé). Dans les deux cas, l'augmentation de l'interaction est expliquée par une configuration des paramètres évoquant une situation de difficulté modérée, c'est-à-dire intermédiaire entre une situation trop facile ou trop difficile.

Dans MINERVA 2, en termes de performance de rappel ou de reconnaissance, les résultats sont entièrement dépendants du rapport entre les valeurs des indicateurs, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. En se livrant avec prudence à la comparaison entre le comportement du modèle et celui des sujets, nous pourrions proposer que, puisque les valeurs des indicateurs de performance et leurs déviations standards résultent du type de « traitement » effectué dans le modèle, ces deux paramètres reflètent les capacités mnésiques des sujets simulés. Similairement, nous pourrions proposer que le seuil de réponse du modèle puisse servir de représentation de la difficulté de la tâche, inhérente à ses caractéristiques propres ou au critère d'exigence des sujets. Dans ce cadre, les

performances de MINERVA 2 pourraient être interprétées dans un rapport « Sujet/Tâche », ce rapport étant déterminant dans la compréhension des phénomènes de compensation chez les sujets (Bäckman et Dixon, 1992, p. 272). Il est alors particulièrement intéressant de constater que l'ensemble des simulations présentées dans ce chapitre confirment que la manipulation directe ou indirecte du rapport Sujet/Tâche fait varier l'effet des aides de mémoire dans le modèle et, notamment, leurs interactions. Précisément, le comportement de MINERVA 2 indique que les effets d'interaction sont maximum lorsque la difficulté de la tâche est modérée, ce résultat étant, par ailleurs, celui classiquement retrouvé dans la littérature (*e.g.*, Bäckman, 1989; Bäckman *et al.*, 1990).

MINERVA 2 apparaît comme un outil de simulation intéressant pour l'étude des phénomènes de compensation. Des travaux plus approfondis devraient être mis en oeuvre afin de dégager toutes les compétences et les limites du modèle vis à vis de l'étude des phénomènes compensatoires.

EN RÉSUMÉ...

- ❑ Concernant les facteurs de difficulté, la durée de présentation des items, l'organisation du matériel et les consignes de récupération peuvent être implémentées dans MINERVA 2, respectivement, à l'aide du coefficient d'apprentissage du modèle, de l'organisation des listes de vecteurs (*i.e.*, vecteurs liés ou non) et du seuil de réponse.
- ❑ Dans ce cadre, MINERVA 2 permet de simuler correctement les effets de durée de présentation et de consigne, quel que soit le type de restitution simulé (*i.e.*, rappel indicé ou reconnaissance). En revanche, l'effet d'organisation ne semble être simulable qu'en reconnaissance.
- ❑ Dans MINERVA 2, en termes de performance de rappel ou de reconnaissance, les résultats sont entièrement dépendants du rapport entre les valeurs des indicateurs, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. L'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ s'inscrit alors dans ce rapport.
- ❑ Précisément, le comportement du modèle indique que, dans certaines conditions de paramètres, l'interaction $PDT \times Elaboration$ peut être augmentée lorsque la durée de présentation des items est plus rapide (simulé en baissant le coefficient d'apprentissage du modèle) ou que les contraintes de récupération augmentent (simulé, par exemple, en baissant le seuil de réponse du modèle lors d'une tâche de rappel indicé). Dans les deux cas, l'augmentation de l'interaction est expliquée dans le modèle par une configuration des paramètres évoquant une situation de difficulté modérée, par rapport aux compétences du sujet (*i.e.*, seuil de réponse en position médiane par rapport aux valeurs des indicateurs de performances).
- ❑ Pour finir, nous proposons que le rapport entre les valeurs des indicateurs, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle pourrait refléter le rapport Sujet/Tâche considéré expérimentalement. Dans cette optique, le modèle s'avérerait un outil particulièrement intéressant pour étudier les phénomènes de compensation.

Troisième partie

Conclusion

DISCUSSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Sommaire

- ❶ Discussion générale (p. **265**)
 - ❷ Quelles perspectives ? (p. **283**)
-

Au cours de cette thèse, nous avons étudié le phénomène de *compensation mnésique*. Ce phénomène réfère à la réduction, voire l'annulation, d'une difficulté de mémorisation *via* l'utilisation d'aides de mémoire. Lors de notre étude, nous avons adopté une approche fonctionnelle visant à préciser la nature des processus cognitifs impliqués dans la compensation mnésique. Cette approche a été conduite en utilisant à la fois un protocole expérimental classiquement utilisé en psychologie cognitive (*i.e.*, apprentissage de listes de paires de mots, suivi de tests de rappel et de reconnaissance) et des simulations informatiques, dont l'objectif était d'étendre l'analyse des résultats expérimentaux en proposant un cadre interprétatif formel.

Concernant le thème de la *compensation*, nous avons inscrit nos travaux dans le modèle de Bäckman et Dixon (1992) (voir chapitre 1, § 1.3, p. 25). Dans ce modèle, la notion d'*adéquation*, entre les capacités du sujet et les contraintes de la tâche, est centrale et définit deux origines possibles de la compensation : (1) une inadéquation Sujet/Tâche induite par un déficit dans les compétences du sujet, les contraintes environnementales et les exigences sur la performance restant relativement stables ; (2) une inadéquation Sujet/Tâche induite par des contraintes environnementales ou des exigences augmentées, les capacités du sujet restant relativement stables. Sur les bases de ce modèle, nous avons particulièrement étudié cette deuxième origine de la compensation, en manipulant la difficulté de la tâche chez des sujets jeunes.

Concernant le thème de la *mémoire*, nos investigations ont été menées dans le cadre fonctionnaliste de l'*approche des niveaux de traitement* (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990) (voir chapitre 2, pp. 49-72). Cette approche de la mémoire est fondée sur deux notions clés : (1) la *profondeur de traitement* (PDT) qui réfère à des domaines qualitatifs de traitement des informations, les traitements sémantiques induisant de meilleures performances de mémoire que des traitements plus superficiels (*e.g.*, orthographiques ou

phonétiques) ; et (2) l'*élaboration* qui renvoie à un ensemble de processus cognitifs permettant d'enrichir l'encodage des informations, dans chaque domaine de traitement, et ainsi de faciliter l'intégration des informations en mémoire par rapport à l'expérience et aux connaissances des sujets. En outre, deux notions complémentaires sont prises en compte dans le cadre des niveaux de traitement : (1) la *spécificité d'encodage*, référant à une adéquation entre le contexte d'encodage et de récupération des informations (Tulving et Thomson, 1973) ; et (2) le *transfert-approprié*, référant également à l'adéquation Encodage/Récupération mais plutôt axée sur la concordance des traitements mis en jeu lors de ces deux étapes (Morris *et al.*, 1977). Dans ce cadre, afin de compenser les difficultés des sujets, nous avons manipulé une aide au traitement sémantique (*i.e.*, listes de paires de mots liés sémantiquement *vs.* listes phonétiques), une aide à l'élaboration (*i.e.*, encodage actif des informations *vs.* encodage passif) et une aide à la récupération (*i.e.*, restitution partielle ou totale des informations mémorisées *vs.* aucun indice de récupération).

Enfin, l'approche modélisation a été conduite à l'aide du modèle formel MINERVA 2 (Hintzman, 1984) (voir chapitre 3, § 3.4, p. 100), que nous avons implémenté. MINERVA 2 est un modèle d'*appariement global à traces multiples* qui représente, à l'aide d'*équations*, les processus cognitifs impliqués dans les phases d'encodage, de stockage et de récupération des informations en mémoire. Toutes les variables manipulées expérimentalement ont été implémentées dans le modèle, afin de simuler l'ensemble des résultats obtenus chez les sujets. Par ailleurs, notre intérêt spécifique pour ce modèle résidait dans sa mémoire à traces multiples, permettant d'analyser précisément son contenu et ses variations en fonction des variables manipulées.

Dans ce chapitre de conclusion, nous présenterons un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement, inspiré du modèle de Dixon et Bäckman (2005) et tentant d'intégrer l'ensemble des résultats obtenus lors de nos investigations. A cette occasion, le modèle sera considéré sur sa plausibilité, au regard de la littérature, dans les domaines de la compensation et de la mémoire. Nous aborderons également la question de l'intérêt des simulations informatiques, par rapport au modèle proposé. Enfin, nous terminerons par la présentation des perspectives de recherche de notre travail.

10.1 Discussion générale

Les travaux réalisés au cours de cette thèse ont été initiés dans la continuité des études de Sauzéon *et al.* (2001) et de N’Kaoua *et al.* (2005). Ces travaux ont été conduits dans le cadre du vieillissement cognitif et tendent à démontrer que plus le sujet est âgé, plus il bénéficie de l’apport concomitant d’une aide favorisant le traitement sémantique des informations et d’une aide à l’élaboration. Par exemple, N’Kaoua *et al.* (2005) ont démontré que les processus cognitifs impliqués dans les notions de PDT et d’élaboration semblent moins sollicités chez les sujets âgés, par rapport aux jeunes, lorsque l’aide sémantique et l’aide à l’élaboration sont utilisées de façon séparée. En revanche, les résultats des auteurs ont indiqué que l’interaction entre ces deux aides, lorsqu’elles étaient simultanément apportées, était potentialisée chez les âgés par rapport aux jeunes. En conséquence, ces résultats tendent à démontrer que plus le sujet est âgé (*i.e.*, plus les ressources cognitives sont limitées), plus les interactions entre les processus de traitement sémantique et d’élaboration des informations sont mises en jeu.

Sur les bases de ces travaux, nous avons émis deux hypothèses générales :

1. Dans le cadre des niveaux de traitement, plus un sujet présente de difficulté mnésique, plus les performances seront dépendantes des interactions entre les aides favorisant les traitements sémantiques, l’élaboration des informations et l’adéquation Encodage/Récupération ;
2. Des résultats similaires à ceux observés chez le sujet âgé, c’est-à-dire dans le cadre d’une diminution des ressources cognitives, devraient être obtenus en augmentant la difficulté de la tâche, chez le sujet jeune.

Afin de vérifier ces hypothèses, nous avons conduit quatre expériences de mémoire et plusieurs séries de simulations informatiques. Les objectifs principaux étaient les suivants :

1. *Reproduire expérimentalement* et, ainsi, conforter les résultats de N’Kaoua *et al.* (2005) dans le cadre du vieillissement normal ;
2. *Simuler ces résultats* à l’aide du modèle mathématique de mémoire MINERVA 2, afin de disposer d’un cadre d’analyse formel des résultats expérimentaux ;
3. S’appuyer sur l’expérimentation et la simulation afin de *poser les bases* d’un modèle de la compensation mnésique, centré sur les phénomènes d’interaction dans le cadre des niveaux de traitement ;

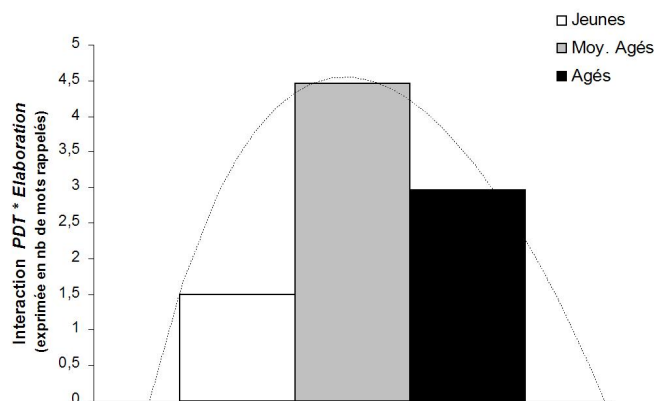


FIG. 10.1 – *Effet d'interaction (exprimé en nombre de mots rappelés) entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent. Les résultats semblent indiquer une relation en U inversé.*

4. Compléter ce modèle en conduisant des expériences chez le sujet jeune et en simulant les résultats.

Dans cette section, nous présenterons tout d'abord un bilan des résultats obtenus. Ces résultats nous permettront de proposer un modèle de compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement, inspiré du modèle de Dixon et Bäckman (2005). A cette occasion, nous examinerons l'apport des simulations réalisées face au modèle proposé.

10.1.1 Bilan des résultats

Au chapitre 6 (p. 141), nous avons décrit une expérience de mémoire verbale (*i.e.*, apprentissage de listes de paires de mots) dont l'objectif était d'étudier le bénéfice d'une aide favorisant un traitement profond des informations (*i.e.*, listes de paires sémantiques) et d'une aide à l'élaboration (*i.e.*, tâche de génération d'indices), utilisées séparément ou simultanément. Trois groupes de sujets ont été testés : (1) jeunes (20-39 ans) ; (2) d'âge moyen (50-69 ans) ; et (3) âgés (70-89 ans). Dans ce cadre, nous nous attendions à observer de moins bonnes performances chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés, par rapport aux jeunes, sans l'utilisation des aides. En revanche, notre hypothèse était que la présence concomitante des aides de mémoire serait plus profitable aux sujets d'âge moyen et aux âgés, qu'aux jeunes.

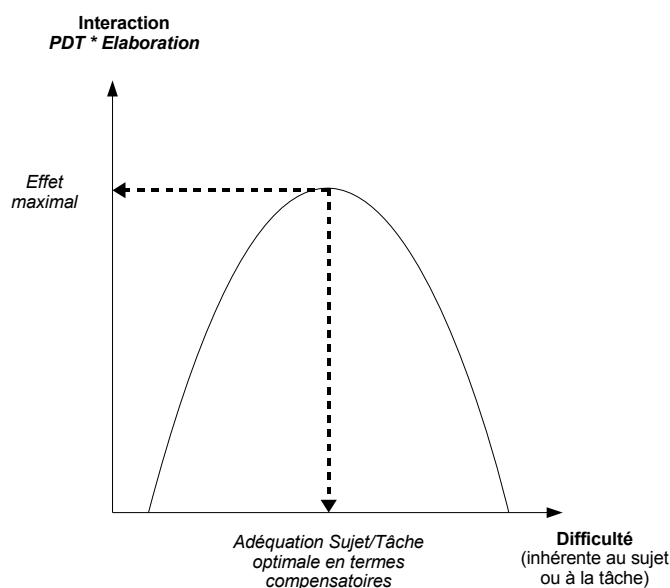


FIG. 10.2 – *Modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement basé sur l'interaction entre les notions de profondeur de traitement (PDT) et d'élaboration.*

Comme nous pouvons le constater sur la Figure 10.1, notre hypothèse principale a été vérifiée, puisque l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration a été augmenté chez les sujets d'âge moyen et chez les âgés, par rapport aux jeunes. L'augmentation d'interaction indique alors que les deux groupes de sujets les plus âgés ont bénéficié davantage de l'apport concomitant des aides de mémoire (*i.e.*, aide sémantique et aide à l'élaboration). Comme nous pouvons également le voir sur la Figure 10.1, le deuxième résultat important de cette expérience est que l'interaction $PDT \times Elaboration$ a augmenté chez les sujets d'âge moyen par rapport aux jeunes, mais a diminué chez les sujets les plus âgés, par rapport à ceux d'âge moyen. Ce profil de résultats semble alors indiquer une relation en U inversé entre l'interaction $PDT \times Elaboration$ et l'âge des sujets. Par rapport à ces résultats, nous avons suggéré que l'interaction $PDT \times Elaboration$ reflète la mise en jeu de processus cognitifs compensatoires et que ces processus dépendent de l'adéquation Sujet/Tâche. En tant que base pour un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement, nous avons alors proposé de décrire les phénomènes compensatoires par rapport à l'interaction $PDT \times Elaboration$. Précisément, nous avons proposé un modèle sous la forme d'une courbe en U inversé, décrivant cette interaction en fonction de l'adéquation Sujet/Tâche. Ce modèle est illustré sur la Figure 10.2.

Sur les bases de cette première expérimentation, nous avons voulu compléter les résultats obtenus, chez le sujet âgé, par une série d'expériences menées chez le sujet jeune. Ainsi, au chapitre 7 (p. 181), nous avons présenté trois expériences qui avaient pour objectif d'étudier les effets respectifs et interactifs d'une aide facilitant un traitement profond (*i.e.*, listes de paires de mots liés sémantiquement), d'une aide à l'élaboration (*i.e.*, encodage actif) et d'une aide à la récupération (*i.e.*, restitution partielle ou complète des informations mémorisées), en fonction du facteur de difficulté manipulé (*i.e.*, durée de présentation, organisation du matériel ou consignes de récupération). Ces expériences ont été conduites chez des sujets jeunes, âgés de 18 à 30 ans. Comme évoqué précédemment, nous avons fait l'hypothèse générale que les résultats obtenus chez le sujet âgé, c'est-à-dire dans le cadre de ressources cognitives diminuées, pourraient être retrouvés, chez le sujet jeune, lorsque la difficulté de la tâche est augmentée. En conséquence, par rapport aux résultats observés dans notre première expérience, nous nous attendions, dans une certaine mesure, à observer des interactions augmentées entre les aides de mémoire dans des conditions modérément « difficiles » (*i.e.*, durée de présentation de 2 secondes, matériel non-organisé ou consigne rigoureuse), par rapport à des conditions « faciles » (*i.e.*, durée de présentation de 3 secondes, matériel organisé en catégories ou consigne laxiste).

Dans cette série d'expériences, les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- Une durée de présentation courte des items (*i.e.*, 2 secondes *vs.* 3 secondes) diminue les performances des sujets, mais l'apport d'une aide à l'élaboration permet de compenser presque totalement la difficulté ;
- Un matériel non-organisé réduit spécifiquement l'effet de l'aide sémantique, par rapport à un matériel organisé en catégories, mais cette baisse d'efficacité peut être atténuée par l'apport concomitant d'une aide à la récupération et tend à disparaître en surajoutant une aide à l'élaboration ;
- Une consigne rigoureuse (*i.e.*, « Ne répondez que si vous êtes sûr de votre réponse ») diminue les performances des sujets, par rapport à une consigne laxiste (*i.e.*, « Répondez même si vous n'êtes pas sûr de votre réponse »), lorsqu'aucune aide n'est apportée. En revanche, cette diminution peut être annulée par l'apport d'une ou plusieurs aides, à l'encodage ou à la récupération ;
- Les effets d'interaction entre les aides de mémoire se sont révélés les plus importants lorsque la difficulté de la tâche a été manipulée par la consigne de récupération

donnée aux sujets, puis par l'organisation du matériel et, enfin, par la durée de présentation des items ;

- L'utilisation de questionnaires d'évaluation subjective de la difficulté nous a permis de déterminer que la prise de conscience des sujets, concernant la variation de difficulté sur la tâche, était maximale lorsque la variable manipulée était l'organisation du matériel, puis les consignes de récupération et, enfin, la durée de présentation (*i.e.*, le pourcentage de sujets ayant estimé que la condition « difficile » était réellement plus dure que la condition « facile » était, respectivement, de 93, 60 et 13% dans ces expériences).

Dans le modèle de Dixon et Bäckman (2005), deux types de mécanismes compensatoires sont essentiellement pris en compte : (1) la remédiation, référant à un surinvestissement en temps ou en effort dans la compétence affectée ; et (2) la substitution, référant à l'utilisation d'une compétence préservée ou nouvelle pour pallier le déficit engendré par une compétence affectée. Par rapport au premier résultat présenté ci-dessus, le mécanisme compensatoire mis en jeu, afin de pallier la baisse de durée de présentation, semble de type remédiation. En effet, les travaux de Salthouse (*e.g.*, 1996) suggèrent que la baisse de la durée de présentation des items pourrait spécifiquement affecter les processus cognitifs d'élaboration. Dans notre expérience, nous avons montré que la baisse de performance due à la diminution du temps de présentation des items peut être compensée par l'utilisation d'une aide à l'élaboration. Ici, la compensation est donc initiée par une aide qui vise à solliciter les processus cognitifs *a priori* affectés par la variable manipulée, ce qui est en accord avec le principe de remédiation défini par Dixon et Bäckman (2005). Dans les deux autres expériences, le mécanisme compensatoire mis en jeu semble plutôt de type substitution. Par exemple, dans l'expérience 2 du chapitre 7 (voir § 7.2, p. 188), une baisse d'efficacité de l'aide sémantique engendrée par l'augmentation de la difficulté de la tâche (*i.e.*, en utilisant un matériel non organisé en catégories) peut être compensée par l'utilisation concomitante d'une aide à l'élaboration et d'une aide à la restitution. Ce résultat indique donc que la baisse d'efficacité d'une aide (et donc des processus cognitifs qu'elle sollicite) peut être compensée par l'utilisation d'une autre aide (et donc des processus cognitifs qu'elle sollicite), ce qui est en accord avec le principe de substitution défini par Dixon et Bäckman (2005).

Dans ce cadre et par rapport aux deux derniers résultats cités ci-dessus, il pourrait être suggéré que la prise de conscience de la difficulté permet : (1) d'augmenter les effets d'interaction entre les aides de mémoire ; et (2) d'utiliser préférentiellement un mécanisme compensatoire de substitution par rapport à la remédiation. En effet, ces conclusions peuvent être tirées du fait, premièrement, que les deux expériences où les effets d'interaction entre les aides sont augmentées (*i.e.*, manipulation de l'organisation du matériel et du type de consignes) sont les deux expériences au cours desquelles la difficulté de la tâche a été la plus signalée par les sujets. Inversement, l'expérience où le moins d'interaction entre les aides a été observé (*i.e.*, manipulation de la durée de présentation) est l'expérience ayant induit le moins de contraste entre les conditions de difficulté. Deuxièmement, puisque dans cette dernière expérience un mécanisme de remédiation est supposé impliqué, contrairement aux deux autres expériences, alors les résultats semblent indiquer que plus le sujet mesure la différence de difficulté au cours de la tâche, plus il tend à potentialiser les interactions entre les aides, c'est-à-dire à mettre en jeu des processus de substitution.

En conclusion :

De l'ensemble des résultats expérimentaux, trois conclusions peuvent être dégagées :

1. Les interactions entre les facteurs décrits dans le cadre des niveaux de traitement (*i.e.*, PDT, élaboration et adéquation Encodage/Récupération) peuvent être augmentées lorsque le niveau de difficulté augmente, que l'origine de cette difficulté soit inhérente aux sujets (*i.e.*, *via* le facteur « Age ») ou à la tâche (*i.e.*, essentiellement *via* les facteurs « Organisation du matériel » et « Consignes de récupération »).
2. D'après les résultats obtenus dans le cadre du vieillissement et la confirmation partielle de ces résultats chez le sujet jeune, la variation de ces interactions pourrait être décrite, en fonction de l'adéquation Sujet/Tâche, par une relation en U inversé.
3. La prise de conscience subjective de la difficulté de la tâche semble influencer la mise en jeu des interactions entre les aides. Précisément, plus le sujet a conscience de la difficulté, plus les interactions vont être importantes, ce qui pourrait indiquer un passage d'une tentative de remédiation de la difficulté à un mécanisme de substitution.

10.1.2 Un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement

Au regard des trois conclusions qui viennent d'être mentionnées, nous proposons un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement, inspiré du modèle de Dixon et Bäckman (2005) et tentant d'intégrer l'ensemble des résultats expérimentaux. Ce modèle est présenté sur la Figure 10.3 et peut être décomposé en 6 étapes chronologiques décrivant le processus compensatoire.

ORIGINE DE LA COMPENSATION

Comme l'indique la Figure 10.3, nous proposons que l'engagement dans un processus compensatoire va dépendre de l'adéquation Sujet/Tâche. En effet, comme le souligne Bäckman et Dixon (1992, p. 272), le prérequis de base pour l'initiation d'un phénomène compensatoire est une inadéquation entre les compétences d'une personne et les contraintes imposées par la tâche qu'elle doit accomplir. Conformément au modèle de ces auteurs, deux origines de la compensation sont alors considérées : soit (1) une inadéquation Sujet/Tâche induite par un déficit dans les compétences du sujet, les contraintes environnementales et les exigences de performance restant relativement stables ; soit (2) une inadéquation Sujet/Tâche induite par des contraintes environnementales ou des exigences augmentées, les capacités du sujet restant relativement stables.

Par rapport à nos travaux, la première origine de la compensation a été étudiée en évaluant les effets compensatoires en fonction de l'âge des sujets (voir chapitre 6, § 6.2, p. 145). Dans ce cadre, il peut être suggéré que le facteur « Age » a occasionné une inadéquation potentielle entre les caractéristiques des sujets âgés et celles de la tâche, engendrant les phénomènes compensatoires qui ont été observés.

Concernant la deuxième origine de la compensation, elle a été étudiée dans les expériences décrites au chapitre 7 (p. 181), puisque la difficulté de la tâche a été manipulée chez des sujets jeunes.

INADÉQUATION SUJET/TÂCHE ET CONSÉQUENCES COGNITIVES

Dans le cadre des niveaux de traitement, l'inadéquation Sujet/Tâche peut se traduire par une baisse d'efficacité des traitements sémantiques et/ou élaboratifs, à l'encodage,

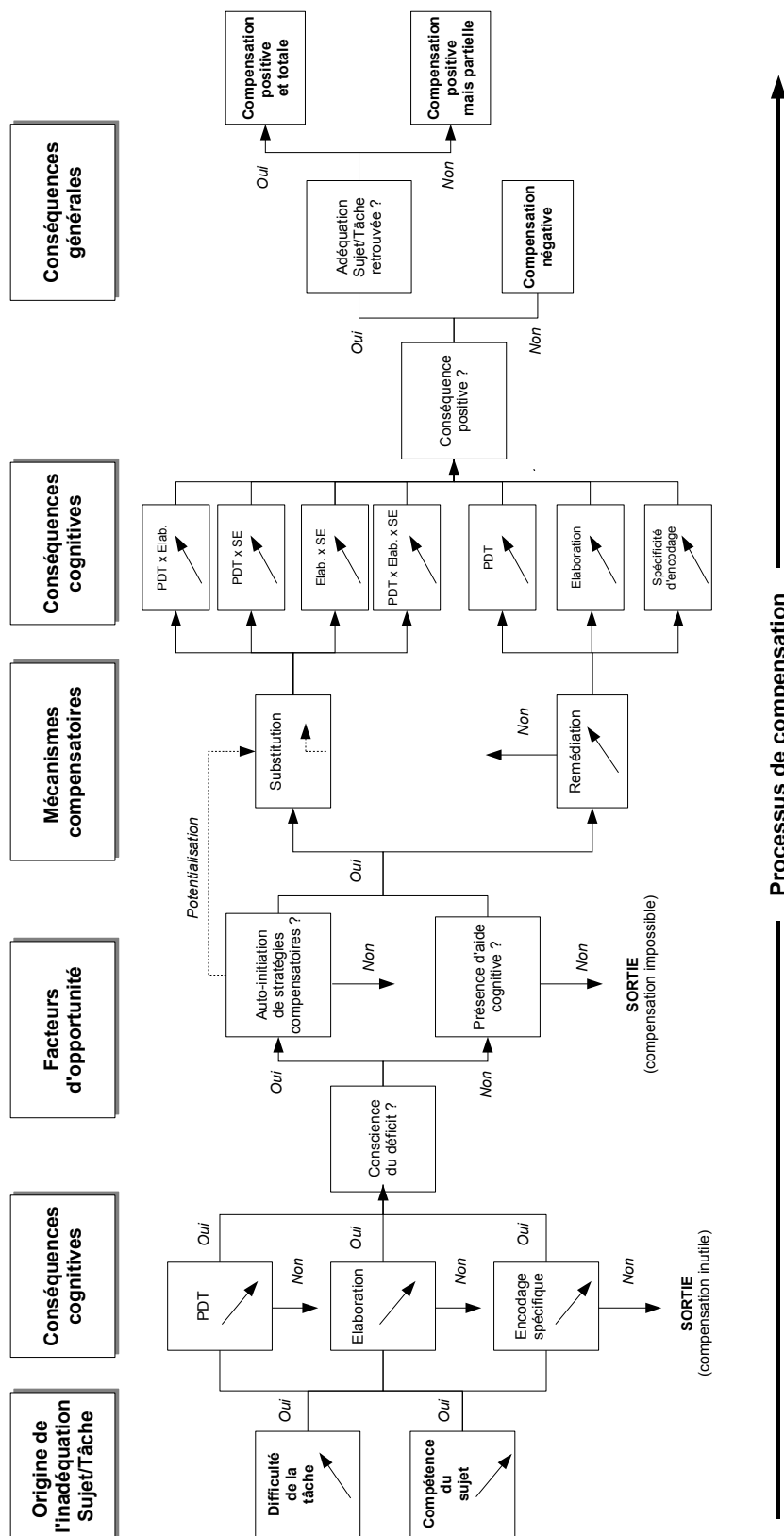


FIG. 10.3 – Un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement.
 PDT = Profondeur De Traitement; SE = Spécificité d'Encodage.

mais aussi des processus de récupération. En effet, selon Craik (2002), une variété de facteurs inhérents au sujet (*e.g.*, âge, motivation, anxiété, *etc.*) ou à la tâche considérée (*e.g.*, durée de présentation des items, organisation du matériel, consignes, *etc.*), peut être associée à une baisse des ressources de traitement, entraînant un échec de mise en jeu d'une intégration sémantique des informations, à l'encodage, et/ou de processus adéquats à la récupération. Cette affirmation est soutenue, par exemple, par des études concernant le vieillissement normal (*e.g.*, Craik, 1983; Craik et Simon, 1980) ou l'attention divisée (*e.g.*, Craik, 1983; Craik *et al.*, 1996). Ces études indiquent que les processus de traitement sémantique des informations sont plus difficilement initiés chez les sujets âgés que chez les jeunes ou lorsque les ressources attentionnelles sont sollicitées par un épreuve de double tâche.

En termes de conséquences cognitives, deux possibilités sont alors envisagées dans le modèle : soit (1) les traitements sémantiques et/ou l'élaboration des informations et/ou les processus de récupération sont affectés par l'inadéquation Sujet/Tâche¹, auquel cas le sujet devra s'engager dans un processus compensatoire afin d'améliorer ses performances ; soit (2) l'inadéquation Sujet/Tâche n'est pas importante et le sujet n'aura pas besoin de compenser.

FACTEURS D'OPPORTUNITÉ

Dans la littérature scientifique, la distinction entre processus « automatiques » (*i.e.*, non-conscients) et « contrôlés » (*i.e.*, conscients) est largement évoquée. Cette distinction est considérée dans de nombreux domaines de recherche, tels la perception, l'attention (*e.g.*, Schneider et Shiffrin, 1977), la mémoire (*e.g.*, Hasher et Zacks, 1979) ou encore la lecture (*e.g.*, LaBerge et Samuels, 1974).

Dans le modèle que nous proposons, la prise de conscience du déficit va être déterminante dans la suite du processus de compensation. Précisément, à la suite d'une difficulté cognitive, deux situations sont envisagées : soit (1) le sujet n'a pas conscience de ses difficultés, dans ce cas une compensation ne sera possible que si des aides cognitives sont disponibles dans l'environnement et fournissent un soutien « automatique » ; soit (2) le sujet prend conscience de ses difficultés de mémorisation, auquel cas il pourra auto-initier des stratégies compensatoires et la présence d'aides cognitives ne sera pas forcément néces-

¹Ce cas a été particulièrement illustré par l'expérience 2 du chapitre 7 (voir § 7.2, p. 188).

saire. Il est à noter que le sujet peut aussi avoir conscience de son déficit mais cependant ne pas s'engager spontanément dans une démarche de compensation. Dans un tel cas de figure, la présence d'aides sera alors également indispensable à la poursuite du processus compensatoire.

MÉCANISMES COMPENSATOIRES

Concernant les mécanismes de compensation, conformément au modèle de Dixon et Bäckman (2005), nous envisageons deux mécanismes principaux : soit (1) un surinvestissement en temps et/ou en effort dans la compétence affectée (*i.e.*, remédiation)² ; soit (2) l'utilisation d'une compétence de substitution déjà présente dans le répertoire du sujet, mais inutilisée ou à l'état latent (*i.e.*, substitution)³.

Comme évoqué précédemment, ces deux types de mécanismes compensatoires peuvent être illustrés par nos résultats expérimentaux. En effet, d'après la littérature (*e.g.*, Salthouse, 1996), une baisse de la durée de présentation des items pourrait spécifiquement affecter les processus cognitifs d'élaboration. Dans la première expérience décrite au chapitre 7 (voir § 7.1, p. 184), nous avons montré cependant que la baisse de performance due à la diminution du temps de présentation des items pouvait être compensée par l'utilisation d'une aide à l'élaboration. Ici, la compensation a donc été initiée par une aide qui visait à solliciter spécifiquement les processus cognitifs affectés, *a priori*, par la variable manipulée. Ce résultat est alors en accord avec le principe de remédiation.

Dans les deux autres expériences décrites au chapitre 7 (voir § 7.2 et § 7.3, p. 188 et p. 193, respectivement), le mécanisme compensatoire mis en jeu semble plutôt de type substitution. En effet, par exemple, dans l'expérience 2 du chapitre 7, une baisse d'efficacité de l'aide sémantique induite par une augmentation de la difficulté de la tâche (*i.e.*, en utilisant un matériel non organisé en catégories) peut être compensée par l'utilisation concomitante d'une aide à l'élaboration et d'une aide à la restitution. Ce résultat indique donc que la baisse d'efficacité d'une aide (et donc des processus cognitifs qu'elle implique) peut être compenser par l'utilisation d'une autre aide (et donc des processus cognitifs qu'elle implique). Ce résultat est alors en accord avec le principe de substitution.

²Mécanisme invoqué pour expliquer les résultats de l'expérience 1 du chapitre 7 (voir § 7.1, p. 184).

³Mécanisme invoqué pour expliquer les résultats des expériences 2 et 3 du chapitre 7 (voir, respectivement, § 7.2, p. 188, et § 7.3, p. 193).

Etat de conscience et mécanismes compensatoires

Comme nous l'avons vu au chapitre 1 (voir § 1.2.1, p. 12), l'implication volontaire du sujet a généralement un effet « potentialisateur » sur le processus compensatoire. Des travaux peuvent être cités, par exemple, dans le domaine des amnésies (*e.g.*, Wilson, 1995) ou du vieillissement cognitif (*e.g.*, Dixon, 1992). Par ailleurs, Wilson (1995) indique que les sujets conscients de leurs difficultés de mémorisation ont plutôt tendance à s'engager dans des stratégies de substitution, *via* l'utilisation d'aides externes de mémoire (*e.g.*, prise de notes), que dans des stratégies de remédiation (*e.g.*, sollicitation des capacités mnésiques par des méthodes mnémotechniques). La prise de conscience de la difficulté semble alors avoir une influence sur le type de mécanisme compensatoire utilisé.

Les données que nous avons recueillies tendent à montrer également que la prise de conscience de la difficulté de mémorisation est liée à un effet « potentialisateur » des mécanismes de substitution. Précisément, nous avons observé que les interactions entre les aides de mémoire (sous-tendant des mécanismes de substitution) étaient particulièrement augmentées lorsque les consignes données aux sujets focalisaient leur attention sur leurs performances (voir chapitre 7, § 7.3, p. 193). Dans cette situation, nous pouvons supposer que l'attention du sujet est augmentée et qu'il est ainsi plus impliqué dans la tâche. Par ailleurs, dans cette expérience, les sujets ont indiqué que la situation « rigoureuse » (*i.e.*, « Ne répondez que si vous êtes sûr de votre réponse ») était jugée plus difficile que la condition « laxiste » par 60% des sujets, ce qui indique une prise de conscience de la difficulté.

D'après les résultats que nous avons obtenus, cette proposition est une hypothèse forte et devra être approfondie. En effet, nous n'avons pas utilisé un protocole expérimental permettant de distinguer les effets implicites *vs.* explicites des aides de mémoire. Par conséquent, des travaux supplémentaires doivent être effectués afin de vérifier l'influence de l'attention, de la motivation et, plus généralement, de la prise de conscience de la difficulté sur l'orientation des mécanismes de compensation.

Séquentialité des mécanismes compensatoires

D'après les résultats présentés sur la Figure 10.1 (p. 266), les mécanismes compensatoires observés semblent induire des effets pouvant être représentés par une relation en U inversé en fonction de la difficulté, c'est-à-dire de l'adéquation Sujet/Tâche. Pour

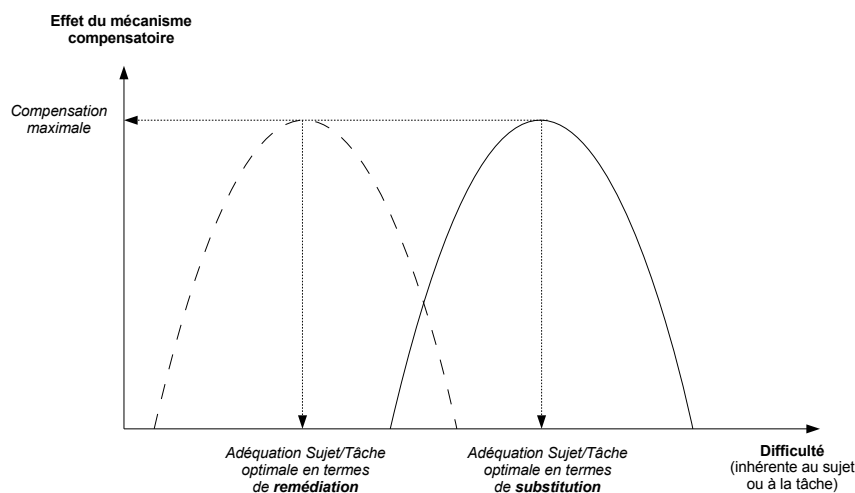


FIG. 10.4 – Relation entre les effets compensatoires et l'adéquation entre les caractéristiques de la tâche et du sujet.

compléter le modèle, nous proposons de considérer les mécanismes de remédiation et de substitution de façon séquentielle mais éventuellement en interaction (voir Figure 10.4). En effet, Bäckman et Dixon (1992) proposent que ces deux mécanismes puissent être utilisés successivement dans la stratégie compensatoire du sujet. Si un surinvestissement dans la compétence affectée n'est pas suffisamment efficace, l'individu pourra alors choisir de s'investir dans une compétence de substitution non utilisée jusqu'à présent. Si malgré ses efforts aucune des compétences de son répertoire ne s'avère utile, il pourra alors tenter d'acquérir de nouvelles compétences pour pallier son déficit (*e.g.*, apprendre la lecture du braille pour un malvoyant, ou la langue des signes pour un malentendant). Ici, nous proposons que ce cadre théorique puisse être appliqué aux résultats que nous avons obtenus. Par exemple, dans le cas où les processus de traitement sémantique seraient affectés par les contraintes de la tâche ou les capacités cognitives diminuées du sujet, une aide de mémoire sémantique pourrait s'avérer suffisante pour pallier le déficit et maintenir les performances. En revanche, lorsque la difficulté de la tâche ou le déficit du sujet tend à s'accroître alors le surinvestissement dans le processus affecté pourrait ne plus être suffisant et il faudrait alors fournir au sujet des aides sollicitant d'autres processus cognitifs afin de potentialiser les performances.

Dans ce cadre, une de nos perspectives est de tester la pertinence et les limites du modèle présenté sur la Figure 10.4. Pour ce faire, nous pourrions manipuler expérimenta-

lement une plus grande variété de modalités au sein de chaque facteur de difficulté étudié. Par exemple, dans le cas de la durée de présentation des items, l'effet des aides de mémoire pourrait être testé dans un intervalle de valeurs plus grand, tel 500 ms. à 5000 ms., au lieu de seulement deux conditions de présentation (*i.e.*, 2000 ms. *vs.* 3000 ms.). En outre, le modèle devrait également être éprouvé en manipulant une plus grande variété de facteurs liés à la tâche (*e.g.*, familiarité des mots, concrétude, émotionnalité, *etc.*) ou aux sujets (*e.g.*, motivation, niveau d'anxiété, *etc.*).

COMPENSATION ET CONSÉQUENCES COGNITIVES

Au chapitre 2 (voir pp. 49 à 72), nous avons présenté plusieurs exemples démontrant que des protocoles expérimentaux visant à augmenter l'implication des processus de traitement sémantique (*e.g.*, Craik et Tulving, 1975), l'élaboration des informations (*e.g.*, Mäntylä et Nilsson, 1983) ou l'adéquation Encodage/Récupération (*e.g.*, Tulving et Thomson, 1973) permettent d'augmenter les performances de mémoire. En outre, les travaux présentés dans cette thèse offrent également une bonne illustration de l'efficacité de ces types d'aide afin d'améliorer les performances de sujets en difficulté de mémorisation.

Dans le cadre des niveaux de traitement, les conséquences cognitives des mécanismes compensatoires correspondront alors à l'augmentation de l'implication des composantes mentionnées ci-dessus, à l'encodage ou à la récupération. Précisément, si le mécanisme utilisé est de type remédiation, alors la composante cognitive affectée (*i.e.*, PDT ou élaboration ou spécificité d'encodage) sera potentialisée par l'utilisation d'une aide, ou d'une stratégie utilisée par le sujet, par un surinvestissement de cette composante. Dans le cas d'un mécanisme de substitution, se seront les interactions entre les composantes cognitives qui seront sollicitées et augmentées afin de pallier la difficulté.

CONSÉQUENCES GÉNÉRALES

Enfin, concernant les conséquences générales du processus de compensation, Dixon et Bäckman (2005) envisagent dans leur modèle des conséquences positives (majoritaires), mais aussi la possibilité de conséquences négatives (minoritaires), comme évoqué par certains auteurs (*e.g.*, LeVere et LeVere, 1982; Süllwod, 1982; Wasserman *et al.*, 1985).

Dans les études que nous avons présentées dans cette thèse, l'utilisation des aides de mémoires avait généralement des répercussions positives sur les performances. Cependant,

nous avons également remarqué que l'utilisation des aides tendait parfois à diminuer les performances. Par exemple, nous avons observé sur l'ensemble des expériences présentées au chapitre 7 (p. 181) que les performances obtenues sur les listes de paires de mots phonétiques étaient diminuées en rappel indicé par rapport au rappel libre. Ainsi, l'utilisation d'une aide à la récupération (*i.e.*, réinstallation du contexte d'encodage de l'information cible) s'est avérée plus délétère que bénéfique sur les performances pour ce type de matériel.

Dans le modèle, nous proposons alors que les conséquences générales du processus compensatoire puissent être positives ou négatives. Dans le cas d'une conséquence positive, la compensation sera réussie lorsque l'adéquation Sujet/Tâche sera retrouvée et, donc, lorsque la difficulté de mémorisation ne semblera plus affecter les performances ⁴. La compensation pourra également être partielle dans le cas où les performances sont augmentées à la suite de processus de compensation mais n'atteignent pas le même niveau que dans la condition de référence ⁵.

10.1.3 Apport de la modélisation

Par rapport au modèle de la compensation mnésique qui vient d'être proposé, l'apport des simulations effectuées à l'aide de MINERVA 2 peut être envisagé en trois points :

1. le modèle supporte la place centrale de l'adéquation entre les caractéristiques du sujet et celles de la tâche dans le processus de compensation, du moins dans l'effet des aides ;
2. le modèle supporte également la relation en U inversé entre les effets des mécanismes compensatoires et l'adéquation Sujet/Tâche ;
3. le modèle permet de proposer que les conséquences cognitives du phénomène compensatoire puissent être une augmentation de la distinctibilité des traces en mémoire, facilitant la récupération des informations et augmentant ainsi les performances.

Comme nous l'avons présenté au chapitre 9 (voir 227), en termes de performance de rappel ou de reconnaissance, les résultats sont entièrement dépendants dans MINERVA 2 du

⁴Ce qui semblerait être le cas dans l'expérience 3 décrite au chapitre 7 (voir § 7.3, p. 193), puisqu'aucune différence de performance globale n'est observée entre la condition « difficile » (*i.e.*, consigne rigoureuse) et la condition « facile » (*i.e.*, consigne laxiste).

⁵Ce qui est observé dans les autres expériences présentées au chapitre 7.

rapport entre les valeurs des indicateurs de performance (*i.e.*, intensité de l'écho et distance Sonde/Écho), leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle. Il est toujours délicat de proposer une correspondance entre les processus cognitifs des sujets et les opérations de traitement qui peuvent être mises en jeu dans un modèle formel. Cependant, en nous livrant à cet exercice, nous pourrions proposer que, puisque la valeur des indicateurs de performance et leurs déviations standards reflètent l'efficacité des traitements effectués dans le modèle, ces deux paramètres pourraient être utilisés pour figurer les « capacités mnésiques » des sujets simulés. Similairement, nous pourrions proposer que le seuil de réponse du modèle pourrait servir de représentation de la difficulté de la tâche, inhérente à ses caractéristiques propres ou au critère d'exigence des sujets. Dans ce cadre, toutes proportions gardées, les performances de MINERVA 2 pourraient alors être interprétées dans un rapport « Sujet/Tâche ». Il est alors particulièrement intéressant de constater que l'ensemble des simulations présentées au chapitre 9 confirment que la manipulation directe ou indirecte de ce rapport Sujet/Tâche fait varier l'effet des aides de mémoire dans le modèle et, notamment, leurs interactions. Précisément, MINERVA 2 indique que les effets d'interaction sont maximum lorsque la difficulté de la tâche est modérée. Le modèle est alors en accord avec les données de la littérature (*e.g.*, Bäckman, 1989; Bäckman *et al.*, 1990) et supporte l'idée d'un rôle majeur de l'adéquation Sujet/Tâche dans le processus de compensation.

D'autre part, comme présenté au chapitre 6 (voir § 6.3.2, p. 169), MINERVA 2 permet de retrouver, du moins partiellement, la relation en U inversé décrivant l'effet des aides de mémoire en fonction du rapport entre les valeurs des indicateurs de performance, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle (*i.e.*, adéquation Sujet/Tâche). A titre illustratif, concernant l'interaction $PDT \times Elaboration$, la Figure 10.5 présente une nouvelle fois ce type de relation dans le modèle. Pour rappel, la Figure 10.5 (panneaux B et C) représente de façon théorique l'effet d'interaction entre la PDT et l'élaboration dans MINERVA 2, en fonction du rapport entre les valeurs de la distance Sonde/Echo, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle (panneau A). Comme nous pouvons le voir sur cette figure, lorsque le seuil de réponse est manipulé (de la position 1 à 7), l'effet de l'interaction $PDT \times Elaboration$ décrit partiellement une courbe en U inversé (panneau C, configuration 3). Ce type de courbe est alors observé lorsque la difficulté

de la tâche est intermédiaire entre une tâche très facile (*i.e.*, position n°7 du seuil sur le panneau A) et une tâche très dure (*i.e.*, position n°1 du seuil sur le panneau A) ⁶.

Enfin, les résultats des simulations présentés au chapitre 8 (voir 205) tendent à indiquer que la « distinctibilité » des traces est une notion clef dans la compréhension de l'effet des variables manipulées, sur les performances du modèle. Par exemple, comme en témoigne l'évolution des profils d'activation exposés sur la Figure 10.6, plus le traitement est profond dans le modèle (*i.e.*, plus la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs est grande), plus une trace se dégage en mémoire et plus l'activation erronée des autres traces est faible. Dans ce cadre, le modèle permet de générer l'hypothèse que les aides de mémoire ou les stratégies de mémorisation que peut utiliser le sujet, lors du processus compensatoire, induisent une amélioration des performances par l'augmentation de la distinctibilité des traces en mémoire. Cette hypothèse devra alors être testée expérimentalement. Selon Lockart et Craik (Lockhart, 2002; Lockhart et Craik, 1990), la distinctibilité conférerait une double propriété aux traces en mémoire : (1) la probabilité de compétition entre des indices généraux de récupération (*i.e.*, communs à plusieurs épisodes mnésiques) est diminuée ; et, parallèlement, (2) la puissance des caractéristiques contextuelles propres à la trace est augmentée. D'après les suggestions des auteurs, l'effet des aides en mémoire pourrait être étudié en fonction du type d'indice de récupération. Si l'effet compensatoire est dépendant de la distinctibilité des traces en mémoire, alors la compensation devrait être moins sensible à des indices communs à plusieurs épisodes mnésiques et, à la fois, plus sensible aux indices contextuels qui lui sont spécifiques.

En conclusion : Nous avons proposer d'intégrer l'ensemble des données obtenues au cours de nos expérimentations et de nos simulations dans un modèle général de la compensation mnésique (voir Figure 10.3) qui s'inscrit dans le cadre des niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik, 1990) et se base sur le modèle de compensation de Dixon et Bäckman (2005). Ce modèle permet de rendre compte de nombreuses

⁶Pour rappel, une bonne performance en rappel indicé est obtenue dans le modèle par de faibles valeurs de distance Sonde/Écho. De fait, une réponse correcte est considérée si la distance Sonde/Echo est inférieure au seuil de réponse du modèle. C'est pourquoi un seuil très bas (*i.e.*, position n°1) figurera une condition très difficile car la probabilité que les valeurs de distance soient inférieures au seuil sera très faible. Inversement, un seuil très haut (*i.e.*, position n°7) figurera une condition très facile car la probabilité que les valeurs de distance soient inférieures au seuil sera très forte.

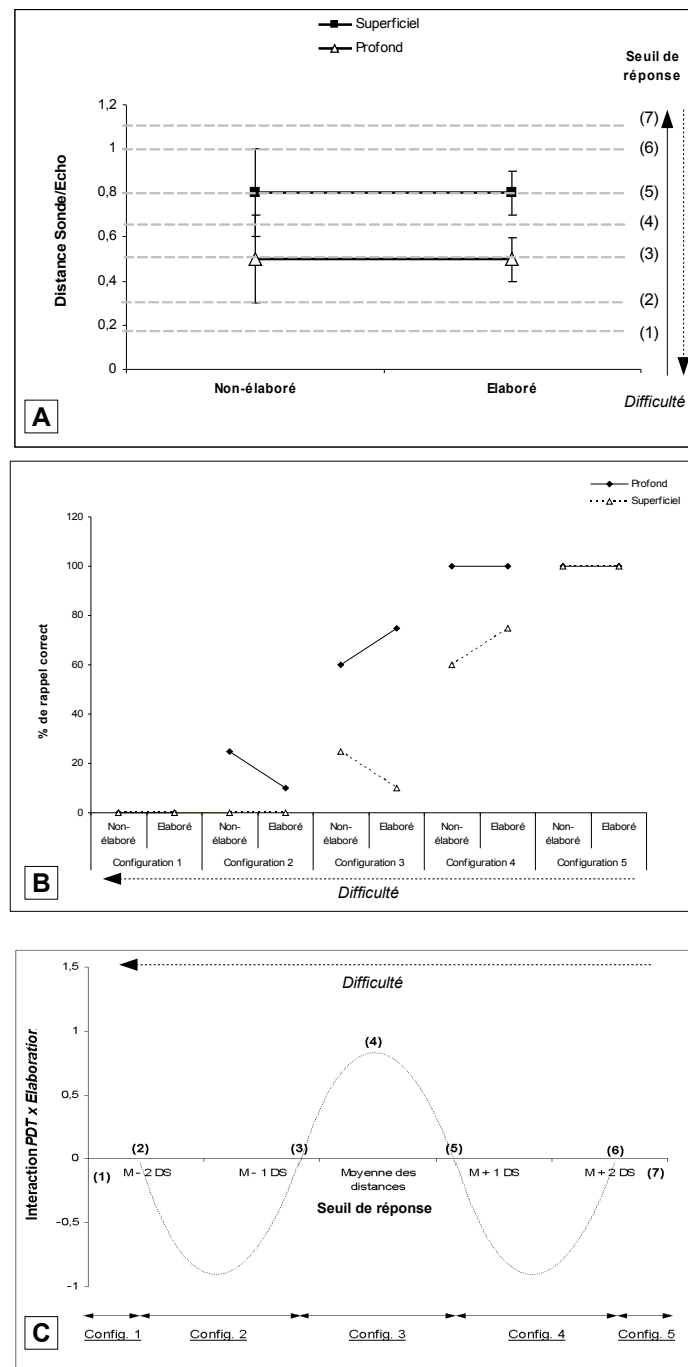


FIG. 10.5 – Modèle théorique de l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ dans *Minerva 2* (panneaux B et C) en fonction des distances Sonde/Écho, de leurs déviations standards et du seuil de réponse du modèle (panneau A). Sept positions du seuil de réponse s'avèrent critiques sur l'effet d'interaction, induisant cinq configurations particulières (voir texte, § ??, pour les détails). Sur cette figure, il est à noter que les échelles des axes sont données à titre purement illustratif. M = Moyenne des distances ; DS = Déviation Standard.

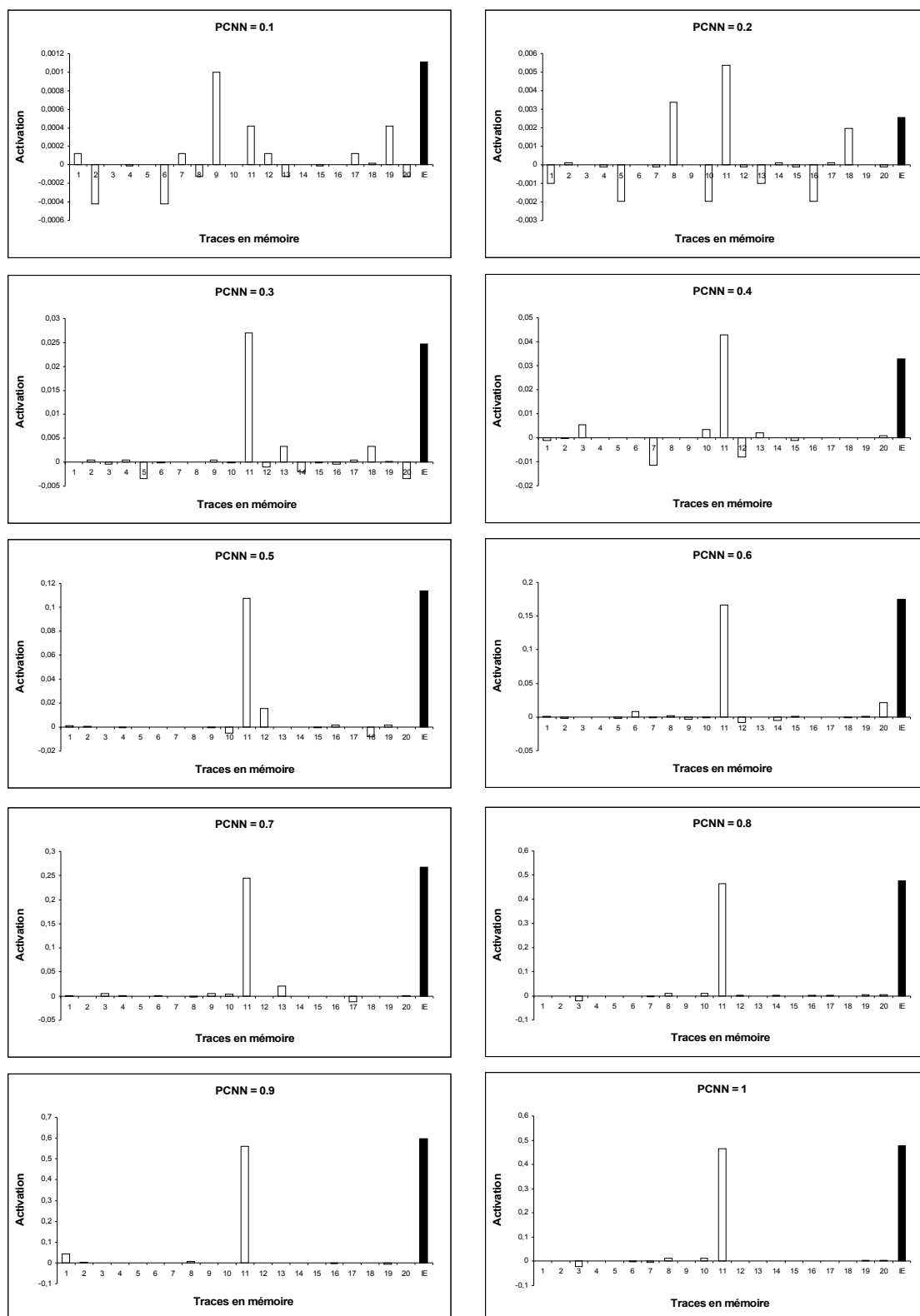


FIG. 10.6 – Évolution des profils d’activation de la mémoire, dans MINERVA 2, en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles (PCNN) dans les vecteurs. L’exemple pris ici est celui de la sonde n°11. IE = Intensité de l’écho.

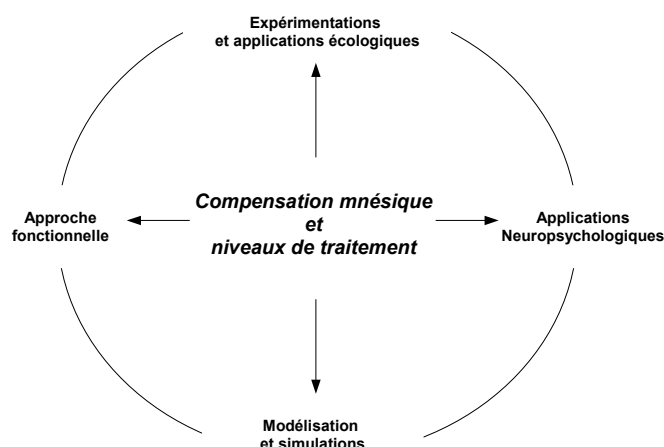


FIG. 10.7 – Représentation schématique de la démarche scientifique adoptée au cours de la thèse (adapté de N’Kaoua, 2003).

données de la littérature ce qui lui confère une certaine validité externe (*i.e.*, cohérence par rapport aux connaissances scientifiques du domaine). Cependant, deux hypothèses fortes sont proposées dans ce modèle : (1) l’état de conscience (*e.g.*, attention, motivation, *etc.*) du sujet influence le type de mécanisme compensatoire qui sera initié ; et (2) l’effet des mécanismes compensatoires est décrit par une relation en U inversé en fonction de l’adéquation Sujet/Tâche (déterminant la difficulté). Les résultats présentés dans cette thèse vont dans le sens de ces hypothèses mais celles-ci devront faire l’objet de vérifications expérimentales plus approfondies.

10.2 Quelles perspectives ?

La démarche scientifique qui a été adoptée au cours de ce travail de thèse s’inscrit dans l’approche utilisée par notre équipe d’accueil, au sein du laboratoire de sciences cognitives de Bordeaux. Comme l’indique la Figure 10.7, les recherches de notre équipe sont centrées sur la notion de *compensation mnésique* dans le *cadre des niveaux de traitement* et s’inscrivent dans une approche qui peut être schématisée selon deux axes. Le premier vise, d’une part, à préciser les processus décrits dans le cadre des niveaux de traitement et impliqués dans la compensation et, d’autre part, à mettre en évidence les structures cérébrales sous-tendant la mise en jeu de ces processus (*i.e.*, axe « *Approche*

fonctionnelle/Neuropsychologie »). Le second axe s'étend des approches expérimentales de la psychologie cognitive, à la modélisation et la simulation informatique des données (*i.e.*, axe « *Expérimentation/Modélisation* »). L'objectif de cet axe est de proposer un cadre d'analyse, empirique et formel, le plus complet possible concernant le thème central de recherche.

Par rapport à cette démarche générale, seule l'approche fonctionnelle a été développée dans cette thèse, autour de l'axe *Expérimentation/Modélisation*. Ainsi, une des premières perspectives de notre travail concerne les applications en *neuropsychologie*. Dans ce domaine, les troubles mnésiques liés à l'épilepsie temporale sont particulièrement étudiés par notre équipe (*e.g.*, Lespinet-Najib *et al.*, 2004). Un des objectifs de nos recherches est alors de vérifier la validité du modèle de compensation proposé, dans le cadre de ce type de pathologie affectant les structures temporales et entraînant des troubles invalidants de la mémoire. Par exemple, il pourrait être intéressant de déterminer quel est le mécanisme compensatoire (*i.e.*, remédiation ou substitution) le plus efficace afin de compenser le déficit de mémoire potentiellement lié à la résection chirurgicale du foyer épileptique. Le phénomène compensatoire pourrait alors être considéré dans le cadre de la spécialisation hémisphérique. En effet, au delà de proposer des aides efficaces aux patients, il serait intéressant d'étudier dans quelle mesure et dans quelle situation solliciter l'hémisphère touché par l'affection est plus efficace que solliciter l'hémisphère préservé. Dans ce but, les techniques d'imagerie cérébrale, telle l'IRM fonctionnelle, s'avèreraient des outils particulièrement pertinents afin de déterminer les structures cérébrales impliquées dans la compensation.

Par ailleurs, comme mentionné dans la section précédente, le modèle de la compensation mnésique que nous proposons repose sur deux hypothèses fortes, celle de l'influence de l'état de conscience sur la mise en jeu des mécanismes compensatoires et celle de la relation en U inversé entre les effets de compensation et l'adéquation Sujet/Tâche. La perspective principale de notre travail est alors de conforter notre modèle en explorant davantage ces deux hypothèses. A cette occasion, la question de la dichotomie entre les processus compensatoires implicites et explicites sera alors centrale. Pour finir la présentation de notre travail, nous proposons d'indiquer d'autres perspectives de recherche, tout d'abord, dans le cadre de la dichotomie Explicite/Implicite puis des applications potentielles en termes de remédiation cognitive et d'assistance informatique à la mémorisation.

10.2.1 L'équilibre Implicite/Explicite

Nelson et McEvoy (1979a; 1979b) ont proposé un cadre particulièrement intéressant concernant les relations entre les composantes explicites et implicites impliquées dans les phénomènes mnésiques. Dans de nombreuses séries d'expériences, ces auteurs ont montré que lors d'un apprentissage de paires de mots, les performances en rappel indicé étaient largement influencées par le nombre d'associés que possède chacun des mots. Précisément, les auteurs ont rapporté que les mots possédant de nombreux associés (à la cible et au contexte) sont moins bien rappelés que ceux qui en possèdent peu. Généralement, la quantité d'associés à un mot est déterminée par des tâches d'association qui consistent à demander à des sujets de produire, par exemple, 10 mots associés à chaque mot cible présenté. Ensuite, l'expérimentateur pourra non seulement déterminer l'étendue des associations, par rapport au nombre d'associés qui aura été produits pour chaque cible, mais aussi la force d'association entre la cible et ses associés, en classant ces derniers par rapport au nombre de fois où ils ont été associés à la cible.

Selon Nelson *et al.* (1992), la restitution des mots cibles est sous-tendue par la composante explicite de la mémoire. En revanche, l'effet du nombre d'associés reflète l'implication de la composante implicite de la mémoire, à travers l'activation automatique d'informations qui influencent les performances et échappent au contrôle « conscient » du sujet. Dès lors, plus les mots à mémoriser possèdent d'associés, plus les informations activées de façon automatique entrent en compétition avec les items à restituer, affectant ainsi la performance. Les auteurs ont alors précisé les variables agissant spécifiquement sur les composantes explicites et implicites de la mémorisation. Les résultats de leurs investigations sont schématisés sur la Figure 10.8.

D'une façon générale, la composante explicite correspond aux stratégies mises en jeu par le sujet pour effectuer la tâche et la composante implicite à l'activation automatique des connaissances associées à l'information à mémoriser. L'originalité des suggestions de Nelson *et al.* (1992) est qu'elles permettent de considérer que ces deux composantes sont mises en jeu simultanément lors de la présentation d'une information et, donc, qu'elles déterminent de façon concomitante les performances dans une situation donnée.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés aux variables du cadre des niveaux de traitement (*i.e.*, PDT, élaboration et spécificité d'encodage), c'est-à-dire à des variables définies comme explicites par Nelson *et al.* (1992). Dans nos perspectives, l'objectif pour-

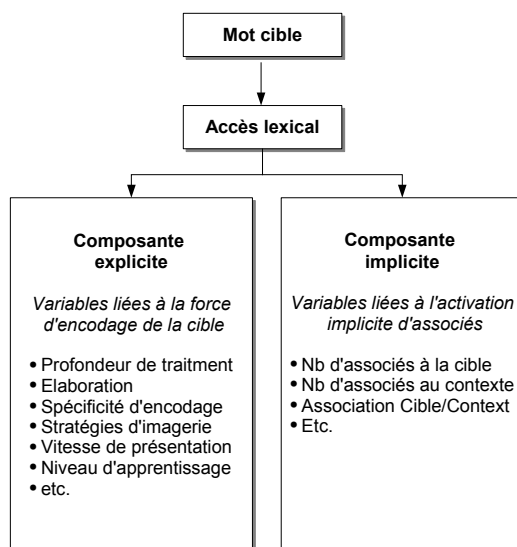


FIG. 10.8 – Variables affectant les composantes explicites et implicites de la mémoire (d'après Nelson et al. 1992).

rait être de préciser le rôle des interactions entre les processus implicites et explicites, dans les phénomènes de compensation. En effet dans le cadre de la pathologie, il est important de déterminer dans quelle mesure la sollicitation de la composante implicite de la mémoire peut potentialiser la composante explicite (généralement affectée) ou, au contraire, dans quelles situations les processus implicites peuvent être une entrave à la mémorisation consciente.

Dans l'étude de cet « équilibre compensatoire », les modèles à appariement global pourraient se révéler un outil intéressant. En effet, Metcalfe *et al.* (1992) ont démontré que les modèles à trace composite (*e.g.*, CHARM) étaient relativement performants dans la simulation des résultats des sujets obtenus sur des tests de mémoire explicite alors que les modèles de mémoire à traces multiples (*e.g.*, MINERVA 2) étaient plutôt performants sur les données obtenues en conditions implicites. En perspective de notre travail, dans le cadre des suggestions de Nelson *et al.* (1992), nous pourrions alors tester l'hypothèse selon laquelle les modèles à trace composite sont plus « sensibles » aux variables affectant la composante explicite et les modèles à traces multiples aux variables affectant la composante implicite. Un premier élément de réponse a été apporté dans cette thèse en montrant que MINERVA 2 (*i.e.*, un modèle à traces multiples) permet de simuler les effets de variables définies comme explicites par Nelson *et al.* (1992). La correspondance Impli-

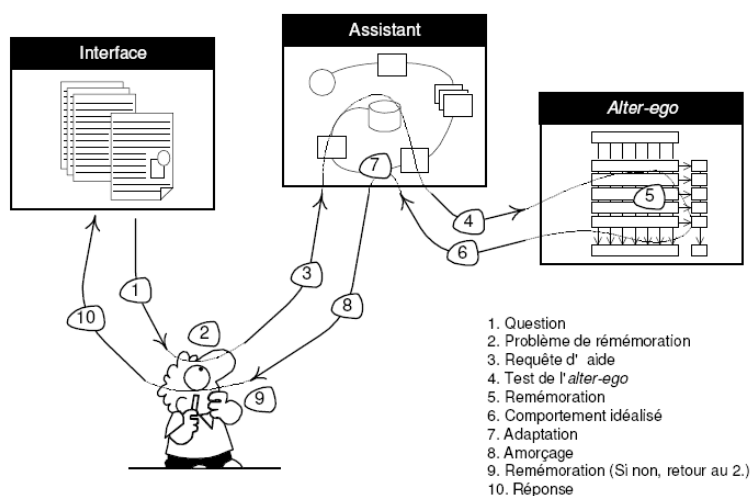


FIG. 10.9 – Illustration schématique d'un système informatique d'aide à la mémorisation (d'après Damas 2003).

cite/Explicite - Traces multiples/Trace composite ne semble alors pas aussi claire que ce qui a été proposé par Metcalfe *et al.* (1992). Si c'était le cas, un de nos projets serait alors de concevoir un modèle « hybride » regroupant ces deux types de formalisme afin de gérer l'activation simultanée de ces deux composantes lors de la réalisation d'une tâche donnée.

10.2.2 Les assistants informatiques

Damas (2003) propose dans sa thèse une utilisation particulièrement séduisante du modèle MINERVA 2, dans le cadre de l'apprentissage assisté par ordinateur. En effet, l'auteur a utilisé une version modifiée du modèle en tant qu'*alter-ego* formel de l'apprenant. Cet *alter-ego* est intégré dans un système d'assistance qui peut être sollicité par l'utilisateur au cours de son apprentissage.

La Figure 10.9 illustre le système proposé par Damas (2003). Le scénario d'assistance peut se décrire en plusieurs étapes. Comme présenté sur la Figure 10.9, l'assistant a un rôle d'observateur de l'apprentissage mais aussi de soutien, en fournissant au sujet un indice de rappel des informations à la demande. Lors d'un exercice, (1) une question peut bloquer l'apprenant car il apparaît (2) un problème de mémorisation de la réponse attendue. L'apprenant peut alors (3) demander de l'aide à l'assistant qui, se référant à

ses observations, (4) soumet le problème sous plusieurs formes à l'*alter-ego*. Ce dernier (5) simule la remémoration des informations et (6) va renvoyer un comportement « idéalisé » de l'apprenant. L'assistant va ensuite (7) analyser le comportement indiqué par l'*alter-ego* et choisir les indices de récupération qui auront été les plus efficaces dans la simulation. L'assistant utilisera alors ces indices en tant (8) qu'amorces proposées à l'utilisateur, afin de faciliter (9) sa remémoration. Si les indices sont efficaces, l'utilisateur pourra (10) fournir une réponse à la question qui lui est posé.

Au cours de son travail de thèse, Damas (2003) a démontré non seulement que le comportement du simulateur de mémoire (*i.e.*, l'*alter-ego*) est corrélé au comportement des sujets, mais aussi que le système d'assistance à la remémoration basé sur ce type de simulateur (*i.e.*, celui exposé en Figure 10.9) est efficace chez des utilisateurs. Ces travaux sont alors encourageant pour le développement de systèmes informatiques d'aide à la mémorisation, basés sur des simulateurs de mémoire à appariement global.

Par rapport à nos travaux, une autre perspective de recherche pourrait être de développer un assistant de ce type en complétant ses capacités de soutien à la récupération par des capacités de soutien à l'apprentissage. En effet, si les notions de PDT et d'élaboration sont prise en compte dans l'*alter-ego* alors le modèle pourrait prédire l'efficacité de certaines aides potentiellement accessibles par l'utilisateur lors de la phase d'encodage. Dans ce cadre, seules les aides induisant la meilleure rétention d'information seraient alors fournies au sujet. De tels assistants pourraient s'avérer très utiles dans des domaines aussi différents que l'apprentissage à distance (*i.e.*, e-learning) ou la remédiation cognitive de patients souffrant d'atteintes de la mémoire.

10.3 Conclusion générale

Les travaux présentés dans cette thèse concernent le phénomène de *compensation mnésique*. Ce phénomène réfère à la réduction, voire l'annulation, d'une difficulté de mémorisation *via* l'utilisation d'aides de mémoire. Nos investigations ont permis de préciser la nature des processus cognitifs impliqués dans la compensation mnésique, en utilisant une approche expérimentale et des simulations informatiques. Cette double approche a reposé principalement sur le modèle de compensation de Dixon et Bäckman (2005), le cadre de la mémoire défini par les niveaux de traitement (Craik et Lockhart, 1972; Lockhart et Craik,

1990) et le modèle formel MINERVA 2 (Hintzman, 1984). Concernant les phénomènes compensatoires, les résultats obtenus mettent en avant la place centrale de l'adéquation entre les caractéristiques du sujet et celles de la tâche et soulignent également le rôle crucial des interactions entre les aides de mémoire afin de pallier les difficultés rencontrées. L'ensemble des expérimentations et des simulations effectuées nous a permis de proposer un modèle de compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement. Les perspectives de notre travail visent à tester la pertinence de ce modèle, notamment, en explorant l'implication des composantes implicites et explicites de la mémoire dans les phénomènes compensatoires. Enfin, les perspectives de notre travail s'inscrivent également dans les domaines de la remédiation cognitive et des assistants informatiques à la mémorisation.

Quatrième partie

Références

BIBLIOGRAPHIE

- ABDI, H. (1994). *Les réseaux de neurones*. Grenoble : PUG.
- ACKERMAN, B. (1987). Developmental differences in episodic retrieval : The role of differences in concept representations in semantic memory. *Developmental Psychology*, 23(1):31–38.
- ADLER, A. (1927). *Practice and theory of individual psychology*. New York : Harcourt Brace.
- AHMAD, S. (1971). The différence between the haptic perception of sighted and blind persons. *Research Bulletin of the American Foundation for the Blind*, 23:103–104.
- ANDERSON, J. (1974). Retrieval of prepositional information from long-term memory. *Cognitive Psychology*, 6:451–474.
- ANDERSON, J. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- ANDERSON, J. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- ANDERSON, J. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- ANDERSON, J., BOTHELL, D., BYRNE, M., DOUGLASS, S., LEBIERE, C. et QIN, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111(4):1036–1060.
- ANDERSON, J., GOLDBERG, S. et HIDDE, J. (1971). Meaningful processing of sentences. *Journal of Educational Psychology*, 62:395–399.
- ANDERSON, J. et LEBIERE, C. (1998). *Atomic components of thought*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- ANDERSON, J. et REDER, L. (1979). *Levels of Processing and Human Memory*, chapitre An elaborative processing explanation of levels of processing, pages 385–404. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- ARNDT, J. et HIRSHMAN, E. (1998). True and false recognition in MINERVA2 : Explanations from a global matching perspective. *Journal of Memory and Language*, 39:371–391.
- ARNETT, P. (2004). Speed of presentation influences story recall in college students and persons with multiple sclerosis. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19:507–523.
- ATKINSON, R. et SHIFFRIN, R. (1968). *The psychology of learning and motivation : Advances in research and theory*, chapitre Human memory : A proposed system and its control processes, pages 89–195. New York : Academic Press.
- Bach-y RITA, P. (1982). *Rehabilitation of the neurological patient*, chapitre Sensory substitution in rehabilitation, pages 361–383. Oxford : Blackwell Scientific Publications.
- Bach-y RITA, P. (1990). Brain plasticity as a basis for recovery of function in humans. *Neuropsychologia*, 28:298–304.
- BADDELEY, A. (1978). The trouble with levels : A re-examination of craik and lockhart's framework for memory research. *Psychological Review*, 85:139–152.
- BADDELEY, A. (2003). Working memory : looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10):829–839.

- BADDELEY, A. et HITCH, G. (1974). *Recent advances in learning and motivation*, chapitre Working memory, pages 47–90. New York : Academic Press.
- BADDELEY, A. et WILSON, B. (2002). Prose recall and amnesia : implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, 40(10):1737–1743.
- BAHRICK, H. et BAHRICK, P. (1964). A re-examination of the interrelations among measures of retention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 16:318–324.
- BALTES, P. et BALTES, M. (1990). *Successful aging : Perspectives from the behavioral sciences*, chapitre Psychological perspectives on successful aging : The model of selective optimization with compensation, pages 1–34. New York, NJ : Cambridge University Press.
- BARTO, A. et ANANDAN, P. (1985). Pattern recognizing stochastic learning automata. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 15:360–374.
- BATTIG, W. F. et MONTAGUE, W. E. (1969). Category norms for verbal items in 56 categories : A replication and extension of the connecticut category norms. *Journal of Experimental Psychology Monographs*, 80:1–46.
- BÄCKMAN, L. (1985). Compensation and recoding : A framework for aging and memory research. *Scandinavian Journal of Psychology*, 26:193–207.
- BÄCKMAN, L. (1989). *Everyday cognition in adulthood and late life*, chapitre Memory compensation and aging, pages 509–544. Cambridge University Press.
- BÄCKMAN, L. et DIXON, R. (1992). Psychological compensation : A theoretical framework. *Psychological Bulletin*, 112(2): 259–283.
- BÄCKMAN, L. et MÄNTYLÄ, T. (1988). Effectiveness of self-generated cues in younger and older adults : The role of retention interval. *Aging and Human Development*, 26:241–248.
- BÄCKMAN, L., MÄNTYLÄ, T. et HERLITZ, A. (1990). *Successful aging : Perspectives from the behavioral sciences*, chapitre The optimization of episodic remembering in old age, pages 118–163. Cambridge, England : Cambridge University Press.
- BEER, R. (2000). Dynamical approaches to cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(3):91–99.
- BENEDETTI, L. et LOEB, M. (1972). A comparison of auditory monitoring performance in blind subjects with that of sighted subjects in light and dark. *Perception & Psychophysics*, 11:10–16.
- BIRREN, J. et WARNER SCHAIE, K. E. (2001). *Handbook of the Psychology of Aging (5th Edition)*. San Diego, CA : Academic Press.
- BLANK, M. et BRIDGER, W. (1966). Conceptual cross-modal transfer in deaf and hearing children. *Child Development*, 37:29–38.
- BLAXTON, T. (1989). Investigating dissociations among memory measures : Support for a transfer-appropriate framework. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 15(4):657–668.
- BORING, E. (1950). *A history of experimental psychology*. New York : Appleton-Century-Crofts.
- BORST, M., KNOBLAUCH, A. et PALM, G. (2004). Modelling the auditory system : preprocessing and associative memories using spiking neurons. *Neurocomputing*, 58-60:1013–1018.
- BOWER, G. (1975). *Handbook of learning and cognitive processes*, chapitre Cognitive Psychology : An introduction. Hillsdale, NJ : Laurence Erlbaum.

- BRANDTSTÄDTER, J. et WENTURA, D. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Adjustment to shifting possibility frontiers in later life : Complementary adaptative modes, pages 83–106. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- BROOKS, R. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47:139–159.
- BUDSON, A., DESIKAN, R., DAFFNER, K. et SCHACTER, D. (2001). Perceptual false recognition in alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 15(2):230–243.
- BURACK, O. et LACHMAN, M. (1996). The effects of list-making on recall in young and elderly adults. *Journal of Gerontology : Psychological Sciences*, 51:226–233.
- CARPENTER, G. et GROSSBERG, S. (1991). *Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Networks*. Cambridge, MA : MIT Press.
- CARSTENSEN, L., HANSON, K. et FREUND, A. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Selection and compensation in adulthood, pages 107–126. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- CAVANAUGH, J., GRADY, J. et PERLMUTTER, M. (1983). Forgetting and use of memory aids in 20- and 70-year-olds' everyday life. *International Journal of Aging and Human Development*, 17:113–122.
- CHALLIS, B. et BRODBECK, D. (1992). Levels of processing affects priming in word fragment completion. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 18:595–607.
- CHALLIS, B., VELICHKOVSKY, B. et CRAIK, F. (1996). Levels-of-processing effects on a variety of memory tests : New findings and theoretical implications. *Consciousness and Cognition*, 5:142–164.
- CHARNESS, N. (1981). Search in chess : Age and skill differences. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7:467–476.
- CHERKOW, H., BUB, D. et SEIDENBERG, M. (1989). Priming and semantic memory in alzheimer's disease. *Brain & Language*, 36:420–446.
- CHIARELLO, C. (1980). A house divided Cognitive functioning with calosal agenesis. *Brain and Language*, 11:128–158.
- CHOMSKY, N. (1980). *Rules and Representations*. New York, NJ : Columbia University Press.
- CHURCHLAND, P. (1999). *Le cerveau : Moteur de la raison, siège de l'âme*. Bruxelles : DeBoeck Université.
- CLARKSON-SMITH, L. et HARTLEY, A. (1990). The game of bridge as an exercise in working memory and reasoning. *Journal of Gerontology*, 45(6):233–238.
- COHEN, G. (1991). *The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology*., chapitre Data-driven and conceptually-driven processing. Entry in Eysenck, M.W.
- COHEN, J. (1985). Learning disabilities and adolescence : Developmental considerations. *Annals of the American Society fo Adolescence Psychiatry*, 12:177–196.
- COHEN, J., MACWHINNEY, B., FLATT, M. et PROVOST, J. (1993). PsyScope : A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 25(2):257–271.
- COHEN, N. et SQUIRE, L. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia : Dissociation of "knowing how" and "knowing that". *Science*, 210:207–209.

- COLLINS, A. et QUILLIAN, M. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 8:240-247.
- CONTENT, A., MOUSTY, P. et RADEAU, M. (1990). Brulex une base de données lexicales informatisées pour le Français parlé et écrit. *L'année Psychologique*, 90:551-566.
- CORKIN, S. (1965). Tactually-guided maze-learning in man : Effects on unilateral cortical excisions and bilateral hippocampal lesions. *Neuropsychologica*, 3:339-351.
- CORKIN, S. (1968). Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal-lobe excision. *Neuropsychologia*, 6:255-265.
- CORSINI, M.-M. (2003). *Introduction aux réseaux de neurones artificiels*. Site Internet, URL : <http://www.sm.u-bordeaux2.fr/~corsini/Cours/mainRNA/>.
- CORSINI, M.-M., SCHMITT, A. et BRUZEK, J. (2005). Aging process variability on the human skeleton : Artificial network as an appropriate tool for age at death assessment. *Forensic Science International*, 148(2-3):163-167.
- CRAIK, F. (1977). *Attention and Performance VI*, chapitre Depth of processing in recall and recognition, pages 679-697. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- CRAIK, F. (1983). On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 302:341-359.
- CRAIK, F. (2002). Levels of processing : Past, present... and future. *Memory*, 10:305-318.
- CRAIK, F. et ANDERSON, N. (1999). *Attention and Performance XVII. Cognitive regulation of performance : Interactions of theory and application*, chapitre Applying cognitive research to problems of aging, pages 583-615. Cambridge, MA : MIT Press.
- CRAIK, F., GOVONI, R., NAVEH-BENJAMIN, M. et ANDERSON, N. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, 125:159-180.
- CRAIK, F. et JENNINGS, J. (1992). *The Handbook of Aging and Cognition*, chapitre Human memory, pages 51-110. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- CRAIK, F. et LOCKHART, R. (1972). Levels of processing : A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11:671-684.
- CRAIK, F. et LOCKHART, R. (1986). Charm is not enough : comments on eich's model of cued recall. *Psychological Review*, 93(3):360-364.
- CRAIK, F. et SALTHOUSE, T.A., E. (2000). *The Handbook of Aging and Cognition*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- CRAIK, F. et SIMON, E. (1980). *New directions in memory and aging*, chapitre Age differences in memory : The roles of attention and depth of processing, pages 95-112. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- CRAIK, F. et TULVING, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, 104:268-294.
- DAMAS, L. (2003). *Etude théorique et pratique de la production d'effets d'amorçage de la mémoire : Application à l'assistance à la remémoration chez l'utilisateur d'un système informatique pour une tâche d'apprentissage*. Thèse de doctorat, UFR Informatique, Université Claude Bernard Lyon 1.

- DARWIN, C., TURVEY, M. et CROWDER, R. (1972). An auditory analogue of the sperling partial report procedure : Evidence of brief auditory storage. *Cognitive Psychology*, 3(2):255–267.
- DEKOSKY, S. et SCHEFF, S. (1990). Synapse loss in frontal cortex biopsies in alzheimer's disease : Correlation with cognitive severity. *Annals of Neurology*, 27:457–464.
- DELTOUR, J. (1993). *Vocabulary scale of Mill Hill and Raven's standard Progressive Matrices (PM 38)*. Braine-le-château, Belgium : Modern Technics Applications.
- DITTMAR, M., BERCH, D. et WARM, J. (1982). Sustained visual attention in deaf and hearing adults. *Bulletin of Psychonomic Society*, 19:339–342.
- DIXON, R. (1992). *Intellectual Development*, chapitre Contextual approaches to adult intellectual development, pages 350–380. Cambridge, England : Cambridge University Press.
- DIXON, R. et BÄCKMAN, L. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Concepts of compensation : Integrated, differentiated, and janus-faced, pages 3–19. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- DIXON, R. et BÄCKMAN, L. (2005). *Cognitive neurorehabilitation*, chapitre Principles of compensation in cognitive neurohabilitation, pages 59–72. New York : Cambridge University Press.
- DIXON, R. et HULTSCH, D. (1983). Structure and development of metamemory in adulthood. *Journal of Gerontology*, 38:682–688.
- DOUGHERTY, M., GETTYS, C. et OGDEN, E. (1999). Minerva-dm : A memory process model for judgments of likelihood. *Psychological Review*, 106:180–209.
- DURAN, P. et TUFENKJIAN, S. (1970). The measurement of length by congenital blind children and a quasiformal approach for spatial concepts. *Research Bulletin of the American Foundation for the Blind*, 22:47–70.
- EAVES, L. et KLONOFF, H. (1970). A comparison of blind and sighted children on a tactual and performance test. *Exceptional Children*, 37:269–273.
- EBBINGHAUS, H. (1885). *Über das Gedächtnis : Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Leipzig : Duncker und Humboldt.
- EINSTEIN, G. et HUNT, R. (1980). Levels of processing and organization : additive effects of individual item and relational processing. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning & Memory*, 6:588–598.
- EINSTEIN, G., MCDANIEL, M., BOWERS, C. et STEVENS, D. (1984). Memory for prose : The importance of material appropriate processing. *Journal of Memory and Language*, 29:566–581.
- EINSTEIN, G., MCDANIEL, M., OWEN, P. et COTE, N. (1990). Encoding and recall of texts : The influence of relational and proposition-specific processing. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 10:133–143.
- EMERSON, R. (1900). *Compensation*. New York : Caldwell.
- ERDERLYI, M., BUSCHKE, H. et FINKELSTEIN, S. (1977). Hyperamnesia for socratic stimuli : The growth of recall for internally generated memory list abstracted from a series of riddles. *Memory & Cognition*, 5:283–286.
- EYSENCK, M. (1978). Levels of processing : A critique. *British Journal of Psychology*, 69:157–169.
- FERBER, J. (1995). *Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective*. Paris : InterEditions.

- FERRAND, L. et ALARIO, F.-X. (1998). Normes d'associations verbales pour 366 noms d'objets concrets. *L'Année Psychologique*, 98:659-670.
- FERRARO, K. (1981). *The social impact of widowhood on older persons : A longitudinal analysis*. Thèse de doctorat, University of Akron, Akron, OH, USA.
- FERRARO, K. (1984). Widowhood and social participation in later life : Isolation or compensation. *Research on Aging*, 6:451-468.
- FISHER, R. et CRAIK, F. (1977). The interaction between encoding and retrieval operations in cued recall. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 3:701-711.
- FODOR, J. (1983). *The modularity of mind : An essay on faculty psychology*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
- FORMEY, S. (1759). *Histoire de l'Academie Royale des Sciences et Belles-Lettres à Berlin*, chapitre Ebauche du système de la compensation, pages 378-389 (Vol. 25). Berlin : Haude & Spencer.
- GAONAC'H, D. (1984). Optimizing learning by interactive presentation in multi-trial free recall. *British Journal of Psychology*, 75:489-498.
- GATHERCOLE, S. et BADDELEY, A. (1989). *Brain and reading*, volume 28, chapitre The role of phonological memory in the development of complex verbal skills, pages 245-256. London, UK : Macmillan Press.
- GAUSSIER, P., ZREHEN, S. et NICLOUD, J. (1997). *Artificial life in robotics*, chapitre From perception to action : How to design cognitive robots by exploiting the interactions with the real world. IEEE Press.
- GILLUND, G. et SHIFFRIN, R. (1984). A retrieval model for both recognition and recall. *Psychological Review*, 91(1):1-67.
- GOLDINGER, S., PISONI, D. et LOGAN, J. (1991). On the nature of talker variability effects on recall of spoken word lists. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning and Memory*, 17(1):152-162.
- GONDRAN, M. (1984). *Introduction aux systemes experts*. Paris : Eyrolles.
- GRADY, C., HAXBY, J., HORWITZ, B., GILETTE, J., SALERNO, J., GONZALEZ-AVILES, A., CARSON, R., HERSCOVITCH, P., SHAPIRO, M. et RAPOPORT, S. (1993). Activation of cerebral blood flow during a face perception task in patients with dementia of the alzheimer type. *Journal of Clinical and Experimental Psychology*, 10:576-596.
- GRADY, C., MAISO, J.M., HORWITZ, B., UNGERLEIDER, L., MENTIS, M., SALERNO, J., PIETRINI, P., WAGNER, E. et HAXBY, J. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14:1450-1462.
- GRAF, P. et SCHACTER, D. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, 11:501-518.
- GREENE, R. (1988). Generation effects in frequency judgment. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 14(2):298-304.
- GURNEY, K. (1997). *An introduction to neural networks*. London : Routledge.
- HARTMANN, G. (1933). Changes in visual acuity through simultaneous stimulation of other sense organs. *Journal of Experimental Psychology*, 16:393-407.
- HASHER, L. et ZACKS, R. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, 108:356-388.

- HASHTROUDI, S., PARKER, E., LUIS, J. et REISEN, C. (1989). Generation and elaboration in older adults. *Experimental Aging Research*, 15:73-78.
- HAYES, S. (1933). New experimental data on the old problems of sensory compensation. *Teachers Forum*, 5:22-26.
- HAYMAN, G. et TULVING, E. (1989). Is priming fragment completion based on the "traceless" memory system. *Journal of Experimental psychology : Learning, Memory & Cognition*, 15:941-956.
- HEBB, D. (1949). *The Organization of behaviour*. John Wiley. New York, NJ : Wiley.
- HILL, R., BÄCKMAN, L. et STIGSDOTTER-NEELY, A. (2000). *Cognitive Rehabilitation in Old Age*.
- HINTZMAN, D. (1984). MINERVA 2 : A simulation model of human memory. *Behavior Research and Methods, Instruments & Computers*, 16:96-101.
- HINTZMAN, D. (1986). "Schema abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93(4):411-428.
- HINTZMAN, D. (1988). Judgements of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 95(4):528-551.
- HINTZMAN, D. et LUDLAM, G. (1980). Differential forgetting of prototypes and old instances : Simulation by an exemplar-based classification model. *Memory & Cognition*, 8:378-382.
- HOMA, D., CROSS, J., CORNELL, D., GOLDMAN, D. et SHWARTZ, S. (1973). Prototype abstraction and classification of new instances as a function of number of instances defining the prototype. *Journal of Experimental Psychology*, 101:116-122.
- HOPFIELD, J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79:2554-2558.
- HOPFIELD, J. (1984). Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 81:3088-3092.
- HOWARD, D. (1988). *Language, Memory, and Aging*, chapitre Aging and memory activation : The priming of semantic and episodic memories, pages 77-99. New York : Cambridge University Press.
- HULTSCH, D. (1971). Organization and memory in adulthood. *Human Developmental*, 14:16-29.
- HUNT, R. et SMITH, R. (1996). Accessing the particular from the general : The power of distinctiveness in the context of organization. *Memory & Cognition*, 24:217-225.
- ISRAEL, L. et SCHACTER, D. (1997). Pictorial encoding reduces false recognition of semantic associates. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(4):577-581.
- JACOBY, L. (1983). Remembering the data : Analysing interactive processes in reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22:485-508.
- JACOBY, L. (1991). A process dissociation framework : Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory & Language*, 30:513-541.
- JACOBY, L. (1994). *Attention & Performance*, chapitre Measuring recollection : Strategic versus automatic influence of associative context. Cambridge, MA : Bradford.
- JACOBY, L. et CRAIK, F. (1979). *Levels of processing in human memory*, chapitre Effects of elaboration of processing at encoding and retrieval : Trace distinctiveness and recovery of initial context, pages 1-22. Hillsdale, NJ : Erlbaum.

- JAMES, W. (1890). *The Principles of Psychology, Vol. 1 & 2*. New York : Dover (1950 ; reprint of original edition published by Henry Holt & Co.).
- JAUNAUX, I. (1991). Etude des mémoires implicite et explicite, introduction d'une nouvelle variable : La spécialisation hémisphérique. Mémoire de D.E.A., Université Victor Segalen Bordeaux 2.
- JOHNSON, M., SCHMITT, F. et PIETRUKOWICZ, M. (1989). The memory advantages of the generation effect : Age and process differences. *Journal of Gerontology*, 44:91-94.
- JOHNSON-LAYRD, P. (1983). *Mental models*. Cambridge : University Press.
- JONES, B. (1972). Development of cutaneous and kinesthetic localization by blind and sighted children. *Developmental Psychology*, 6:349-352.
- KAIL, R. (1986). Sources of age differences in speed of processing. *Child Development*, 57:968-987.
- KAIL, R. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological Bulletin*, 109:490-501.
- KAIL, R. et PARK, Y. (1992). Global development change in processing times. *Merrill-Palmer Quarterly*, 38:525-541.
- KAPUR, N. (1995). *Handbook of Memory Disorders*, chapitre Memory aids in the rehabilitation of memory disordered patients, pages 533-556. Chichester, UK : Wiley.
- KINTSCH, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension construction-integration model. *Psychological Review*, 95:163-182.
- KNOPMAN, D. et NISSEN, M. (1987). Implicit learning in patients with probable alzheimer's disease. *Neurology*, 37:784-788.
- KOHN, J. (1983). Old but not alone : Informal social supports among the elderly by marital status and sex. *The Gerontologist*, 23:57-63.
- KOHONEN, T. (1984). *Self-Organization and Associative Memory*. New York, NJ : Springer-Verlag.
- KOLB, B. (1990). Recovery from occipital stroke : A self-report and an inquiry into visual processes. *Canadian Journal of Psychology*, 44:130-147.
- KOLERS, P. (1979). *Levels of Processing and Human Memory*, chapitre A pattern-analysing basis of recognition, pages 363-384. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- KOLERS, P. et ROEDIGER, H. (1984). Procedures of mind. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23:425-449.
- KOUTSTAAL, W., SCHACTER, D., GALLUCCIO, L. et STOFER, K. (1999). Reducing gist-based false recognition in older adults : Encoding and retrieval manipulations. *Psychology and Aging*, 14(2):220-237.
- KRAMPE, R. et ERICSSON, K. (1996). Maintaining excellence : Deliberate practice and elite performance in young and older pianistes. *Journal of Experimental Psychology : General*, 125:331-359.
- KUAN, C. et WHITE, H. (1994). Artificial neural networks : An econometric perspective. *Econometric Reviews*, 13(1):1-91.
- KUIPER, N. et ROGERS, T. (1979). Encoding of personal information self-other differences. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37:449-514.
- LABERGE, D. et SAMUELS, S. (1974). Toward a theory of automatic processing in reading. *Cognitive Psychology*, 10:422-428.

- LAURENCE, S. et STEIN, D. (1978). *Recovery from brain damage*, chapitre Recovery after brain damage and the concept of localisation of function, pages 369–407. New York, NJ : Plenum Press.
- LEMAIRE, P. et BHERER, L. (2005). *Psychologie et vieillissement : Une perspective cognitive*, chapitre Expertise et vieillissement cognitif, pages 285–315. Bruxelles, Belgique : De Boeck Université.
- LESPINET-NAJIB, V., N'KAOUA, B., SAUZÉON, H., BRESSON, C., ROUGIER, A. et CLAVERIE, B. (2004). Levels of processing with free and cued recall and unilateral temporal lobe epilepsy. *Brain and Language*, 89:83–90.
- LEVERE, N. et LEVERE, T. (1982). Recovery of function after brain damage : Support for the compensation theory of the behavioral deficit. *Physiological Psychology*, 10:165–174.
- LEWANDOWSKY, S. et HOCKEY, W. (1987). Does charm need depth ? similarity and levels-of-processing effects in cued recall. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, & Cognition*, 13(3):443–455.
- LIEURY, A. (2005). *Mais où est donc... ma mémoire ? Découvrir et maîtriser les moyens mnémotechniques*. Paris, France : Dunod.
- LIPINSKA, B., BÄCKMAN, L., MÄNTYLÄ, T. et VIITANEN, M. (1994). Effectiveness of self-generated cues in early Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16:809–819.
- LOCKHART, R. (2002). Levels of processing, transfer appropriate processing, and the concept of robust encoding. *Memory*, 10:397–403.
- LOCKHART, R. et CRAIK, F. (1990). Levels of processing : A retrospective commentary on a framework for memory research. *Canadian Journal of Psychology*, 44:87–112.
- LOCKHART, R., CRAIK, F. et JACOBY, L. (1976). *Recall and Recognition*, chapitre Depth of processing, recognition and recall. New York, NJ : Wiley.
- LOEWEN, E., SHAW, R. et CRAIK, F. (1990). Age differences in components of metamemory. *Experimental Aging Research*, 16:43–48.
- LOPATA, H. (1973). *Widowhood in an American city*. Cambridge, MA : Schenkman.
- LURIA, A. (1963). *Restoration of function after brain injury*. New York, NJ : MacMillan.
- LURIA, A. (1973). *The working brain*. Harmondsworth, Middlesex, England : Penguin Books.
- MARKMAN, A. et DIETRICH, E. (2000). Extending the classical view of representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(12):470–475.
- MASSARO, D. (1970). Perceptual processes and forgetting in memory tasks. *Psychological Review*, 77:557–567.
- MCCLELLAND, J. et RUMELHART, D. E. (1986.). *Parallel Distributed Processing (Volume 2)*. Cambridge, MA : MIT Press.
- MCCULLOCH, W. et PITTS, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in neural activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115–137.
- MCDANIEL, M., EINSTEIN, G. et LOLLIS, T. (1988). Qualitative and quantitative considerations in encoding difficulty affects. *Memory & Cognition*, 16:8–14.
- MCDANIEL, M., RYAN, E. et CUNNINGHAM, C. (1989). Encoding difficulty and memory enhancement for young and older readers. *Psychology & Aging*, 4:333–338.

- McDERMOTT, K. et WATSON, J. (2001). The rise and fall of false recognition : The impact of presentation duration. *Journal of Memory and Language*, 45:160–176.
- METCALFE, J. (1991). Recognition failure and the composite memory trace in charm. *Psychological Review*, 98(4):529–533.
- METCALFE, J. (1993). Novelty monitoring, metacognition, and control in a composite holographic associative recall model : Implications for korsakoff amnesia. *Psychological Review*, 100:3–22.
- METCALFE, J. (1997). Predicting syndromes of amnesia from a composite holographic associative recall/recognition model (charm). *Memory*, 5:233–253.
- METCALFE, J., MENCL, E. et COTTRELL, G. (1992). *Memory Systems*, chapitre Cognitive binding, pages 369–394. Cambridge, MA : MIT Press.
- METCALFE EICH, J. (1982). A composite holographic associative recall model. *Psychological Review*, 89:627–661.
- METCALFE EICH, J. (1985). Levels of processing, encoding specificity, elaboration, and CHARM. *Psychological Review*, 92(1):1–38.
- MILNER, B. (1965). Visually-guided maze learning in man : Effects of bilateral hippocampal, bilateral frontal, and unilateral cerebral lesions. *Neuropsychologia*, 3:317–338.
- MINSKY, M. et PAPERT, S. (1969). *Perceptrons*. Cambridge, MA : MIT Press.
- MITCHELL, D. (1989). How many memory systems? evidence from aging. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15:31–49.
- MITCHELL, M. et FORREST, S. (1994). Genetic algorithms and artificial life. *Artificial Life*, 1(3):267–289.
- MÄNTYLÄ, T. et BÄCKMAN, L. (1990). Encoding variability and age-related retrieval failures. *Psychology & Aging*, 5:545–550.
- MÄNTYLÄ, T. et CRAIK, F. (1993). Context sensitivity and adult age difference in encoding variability. *European Journal of Cognitive Psychology*, 3:319–336.
- MÄNTYLÄ, T. et NILSSON, L. (1983). Are my cues better than your cues : uniqueness and reconstruction as prerequisites for optimal recall of verbal materials. *Scandinavian Journal of Psychology*, 24:303–312.
- MORRIS, C., BRANSFORD, J. et FRANKS, J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16:519–533.
- MORROW, D., CHANG, D., WICKENS, C., RANTANEN, E. et RAQUEL, L. (2005). Designing external aids that support older pilot performance. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 49th Annual Meeting*.
- MORROW, D., RIDOLFO, H., MENARD, W., SANBORN, A., STINE-MORROW, E., MAGNOR, C., HERMAN, L., TELLER, T. et BRYANT, D. (2003). Environmental support promotes expertise-based mitigation of age differences in pilot communication tasks. *Psychology and Aging*, 18:268–284.
- MOSCOVITCH, M. (1982). *Human memory and amnesia*, chapitre Multiple dissociation of function in amnesia, pages 337–370. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- MOSCOVITCH, M. et CRAIK, F. (1976). Depth of processing, retrieval cues, and uniqueness of encoding as factors in recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 15:447–458.

- MOSCOVITCH, M., WINOCUR, G. et McLACHLAN, D. (1986). Memory as assessed by recognition and reading time in normal and memory impaired people with alzheimer's disease and other neurological disorders. *Journal of experimental Psychology : General*, 115:331-346.
- MURDOCK, B. (1960). The distinctiveness of stimuli. *Psychological Review*, 67:16-31.
- MURDOCK, B. (1962). The serial position effect in free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 64:482-488.
- MURDOCK, B. (1974). *Human memory : Theory and data*. Potomac, MD : Erlbaum.
- MURDOCK, B. (1982). A theory for the storage and retrieval of item and associative information. *Psychological Review*, 89:609-626.
- MURDOCK, B. (1993). Todam 2 : A model for the storage and retrieval of item, associative, and serial order information. *Psychological Review*, 100:183-203.
- NAIRNE, J., PUSEN, C. et WIDNER, R. (1985). Representation in the mental lexicon : Implications for theories of the generation effect. *Memory & Cognition*, 13:183-191.
- NAIRNE, J. et WIDNER, R. (1987). Generation effects with nonwords : The role of test appropriateness. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 13(1):164-171.
- NEBES, R., BOLLER, F. et HOLLAND, A. (1986). use of semantic context by patients with alzheimer disease. *Psychology & Aging*, 1:261-269.
- NEISSER, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York, NJ : Appleton-Century-Crofts.
- NELSON, D. et McEVOY, C. (1979a). Effects of retention interval and modality on sensory and semantic trace information. *Memory & Cognition*, 7:257-262.
- NELSON, D. et McEVOY, C. (1979b). Encoding context and set size. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, & Cognition*, 5:542-552.
- NELSON, D., SCHREIBER, T. et McEVOY, C. (1992). Processing implicit and explicit representation. *Psychological review*, 99:322-348.
- NELSON, T. (1977). Repetition and levels of processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16:151-171.
- NEWELL, A. et SIMON, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- NICOLAS, S. (2000). *La mémoire humaine : Une perspective fonctionnaliste*. Paris, France : Editions L'Harmattan.
- NICOLAS, S., EHRLICH, M. et FACCI, G. (1996). Implicit memory and aging : Generation effect in a word-stem completion test. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 5:513-533.
- NILSSON, L.-G. et GARDINER, J. (1991). *Relating theory and data : Essays on human memory in honor of Bennet B. Murdock*, chapitre Memory theory and the boundary conditions of the Tulving-Wiseman law, pages 57-74. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- N'KAOUA, B. (2003). Neuropsychologie et modélisation : Niveaux de traitement et production de mots. Habilitation à diriger des recherches, Institut de Cognitique, Université Victor Segalen Bordeaux 2.
- N'KAOUA, B., SAUZÉON, H., CORSINI, M.-M. et CLAVERIE, B. (2003). Does CHARM account for findings from levels-of-processing framework? Depth, elaboration, and encoding specificity. *Cognitive Science Quarterly*, 3:91-113.

- N'KAOUA, B., SAUZÉON, H., CORSINI, M.-M. et CLAVERIE, B. (accepté en 2005). Age-related differences according to the LOP framework and the salt house's compensation model : An application of formal CHARM associative memory model. *Experimental Aging Research*.
- NOBEL, P. et SHIFFRIN, R. (2001). Retrieval processes in recognition and cued recall. *Journal of Experimental Psychology : Learning Memory & Cognition*, 27(2):384-413.
- OHLSSON, K. (1986). *Communication and handicap : Aspects of psychological compensation and technical aids*, chapitre Compensation as skill, pages 85-101. Amsterdam : North-Holland.
- OLOFSSON, M. et BÄCKMAN, L. (1993). Predictors of prose recall in adulthood and old age. *Archives of Gerontology & Geriatrics*, 16:129-140.
- PATTERSON, M. (1973). Compensation in nonverbal immediacy behaviors : A review. *Sociometry*, 36:237-252.
- PHILBLAD, C. et ADAMS, D. (1972). Widowhood, social participation, and life satisfaction. *International Journal of Aging and Human Development*, 3:323-330.
- PIKE, R. (1984). A comparison of convolution and matrix distributed memory systems. *Psychological Review*, 91:281-294.
- PITMAN, D. (1965). The musical ability of blind children. *Research Bulletin of the American Foundation for the Blind*, 11:63-80.
- PLATE, T. (1994). *Distributed Representations and Nested Compositional Structure*. Thèse de doctorat, Department of Computer Science, University of Toronto.
- PYLYSHYN, Z. (2001). Why the mind is (still) not a network. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(11):499-500.
- RAAIJMAKERS, J. et SHIFFRIN, R. (1981). Search of associative memory. *Psychological Review*, 88(2):93-134.
- RANKIN, J. et COLLINS, M. (1985). Adult age differences in memory elaboration. *Journal of Gerontology*, 40:441-458.
- RICHARDSON-KLAVEHN, A., GARDINER, J., ROSALIND, I. et JAVA, R. (1996). *Implicit Cognition*, chapitre Memory : Task dissociations, process dissociation, and dissociation of consciousness, pages 85-158. New York, NJ : Oxford University Press.
- RICHELLE, M. (1991). *Dictionnaire de Psychologie*, chapitre Modèle. Paris : PUF.
- RÖNNBERG, J. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Perceptual compensation in the deaf and blind : Myth or reality, pages 251-273. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- RÖNNBERG, J. et LYXELL, B. (1986). *Communication and handicaps : Aspects of psychological communication and technical aids*, chapitre Compensatory strategies in speechreading, pages 19-38. Amsterdam : North-Holland.
- ROEDIGER, H. (1990). Implicit memory : Retention without remembering. *American Psychologist*, 45:1043-1056.
- ROEDIGER, H. et BLAXTON, T. (1987). Effect of varying modalities, surface features, and retention interval on priming in word fragment completion. *Memory & Cognition*, 15:379-388.
- ROEDIGER, H. et GALLO, D. (2001). *Perspectives on human memory and cognitive aging : Essays in honor of Fergus Craik*, chapitre Levels of processing : Some unanswered questions, pages 28-47. Philadelphia, PA : Psychology Press.
- ROEDIGER, H., GALLO, D. et GERACI, L. (2002). Processing approaches to cognition : The impetus from the levels-of-processing framework. *Memory*, 10:319-332.

- ROEDIGER, H. et McDERMOTT, K. (1999). False alarms about false memory. *Psychological Review*, 106:406–410.
- ROEDIGER, H., WELDON, M., STADLER, M. et RIEGLER, G. (1992). Direct comparison of two implicit memory tests : Word fragment and word stem completion. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 18:1251–1269.
- ROGERS, T., KUIPER, N. et KIRKER, W. (1977). Self-reference and encoding of personal information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35:677–688.
- ROSENBLATT, F. (1958). The perceptron : A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6):386–408.
- ROSSI, J.-P. et COLL. (1999). *Les méthodes de recherche en psychologie*, chapitre La notion de modèle et son utilisation en psychologie, pages 264–289. Paris : Dunod.
- ROTHI, L. et HORNER, J. (1983). Restitution and substitution : Two theories of recovery with application to neurobehavioral treatment. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 5:73–81.
- RUMELHART, D. et McCLELLAND, J. E. (1986.). *Parallel Distributed Processing (Volume 1)*. Cambridge, MA : MIT Press.
- SALMON, D., SHIMAMURA, A., BUTTERS, N. et SMITH, S. (1988). Lexical and semantic priming deficits in patients with alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10:477–494.
- SALTHOUSE, T. (1984). Effects of age and skill in typing. *Journal of Experimental Psychology : General*, 113:345–371.
- SALTHOUSE, T. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions of in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2:179–183.
- SALTHOUSE, T. (1992). *Mechanisms of age-cognition relations in adulthood*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- SALTHOUSE, T. (1994). The nature of the influence of speed on adult age differences in cognition. *Developmental Psychology*, 30:240–259.
- SALTHOUSE, T. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Refining the concept of psychological compensation, pages 21–33. Mahwah, NJ : Erlbaum.
- SALTHOUSE, T. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3):403–428.
- SALTHOUSE, T. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54:35–54.
- SAUZÉON, H., N'KAOUA, B. et CLAVERIE, B. (2001). The effect of self-generated category cues on organizational processing in the recall performance of young, middle-old and old adults. *Current Psychology Letters : Behavior, Brain & Cognition*, 5:65–78.
- SAUZÉON, H., N'KAOUA, B., LESPINET, V., GUILLEM, F. et CLAVERIE, B. (2000). Age effect in recall performance according to the levels of processing, elaboration, and retrieval cues. *Experimental Aging Research*, 26:56–73.
- SCHACTER, D. (1987). Implicit memory : History and current status. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 13:501–518.
- SCHACTER, D. (1994). *Theories of Memory*, chapitre Understanding implicit memory : A cognitive neuroscience approach, pages 387–412. Hove, UK : Lawrence Erlbaum Associates.
- SCHACTER, D. (1996). *Searching for memory*. New York, NJ : Basic Books.

- SCHACTER, D., NORMAN, K. et KOUTSTAAL, W. (1998). The cognitive neuroscience of constructive memory. *Annual Review of Psychology*, 49:289–318.
- SCHNEIDER, W. et SHIFFRIN, R. (1977). Controlled and automatic human information processing : Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1):1–66.
- SCHULMAN, A. (1974). Memory for words recently classified. *Memory & Cognition*, 2:47–52.
- SHACHMUROVE, Y. (2002). Applying artificial neural networks to business, economics and finance. Rapport technique, UCLA, Department of Economics.
- SHARPS, M. (1997). Category superiority effects in young and elderly adults. *The Journal of Genetic Psychology*, 158(2):165–171.
- SHARPS, M. et ANTONELLI, J. (1997). Visual and semantic support for paired-associated recall in young and older adults. *The Journal of Genetic Psychology*, 158:347–355.
- SHAW, R. et CRAIK, F. (1989). Age differences in predictions and performance on cued recall task. *Psychology and Aging*, 4:131–135.
- SHIMAMURA, A., BERRY, J., MANGELS, J., RUSTLING, C. et JURICA, P. (1995). Memory and cognitive abilities in university professors : evidence for successful aging. *Psychological Science*, 6(5):271–277.
- SIMON, S., AYLON, T. et MILAN, M. (1982). Behavioral compensation : Contrastlike effects in the classroom. *Behavioral Modification*, 6:407–420.
- SLAMECKA, N. et GRAF, P. (1978). The generation effect : delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning & Memory*, 14:592–604.
- SÜLLWOD, L. (1982). *Biologische Psychiatrie*, chapitre Zum Einfluss von Sekundärreaktionen auf die langzeitemwicklung schizophrener psychosen. Stuttgart, FRG : Thieme.
- SOLSO, R. et PEARSON, L. (1997). *Cognitive Psychology*, chapitre Memory : Theory and Neurocognition, pages 151–226. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- SPELTING, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs : General and Applied*, 74(11):1–30.
- SPINLER, H. et TOGNONI, G. (1987). Standardizzazione e taratura italiana di test neuropsicologici. *The Italian Journal of Neurological Science*, (Suppl. 8), 6:1–120.
- SQUIRE, L. (1992). Memory and the hippocampus : A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99:195–231.
- SQUIRE, L. (2004). Memory systems of the brain : A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82:171–177.
- STANOVICH, K. (1986). Matthew effects in reading some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly*, 21:360–406.
- STANOVICH, K. (1993). Does reading make you smarter? literacy and the development of verbal intelligence. *Advances in Child Development and Behaviour*, 24:133–180.
- STANOVICH, K. et CUNNINGHAM, A. (1993). Where does knowledge come from specific associations between print exposure and information acquisition. *Journal of Educational Psychology*, 85:211–229.

- STARR, A. et PHILLIPS, L. (1970). Verbal and motor memory in the amnesic syndrome. *Neuropsychologia*, 16:339–348.
- STEIN, B. et BRANSFORD, J. (1979). Constraints on effective elaboration : effects of precision and subject generation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18:769–777.
- STERNBERG, R. (1985). *Beyond IQ : A triarchic theory of human intelligence*. New York, NJ : Cambridge University Press.
- TACONNAT, L. et ISINGRINI, M. (1995). Mémoire et vieillissement : Hypothèse d'un déficit de production dans l'élaboration de traitement à l'encodage. *Bulletin de Psychologie*, 420:502–505.
- TIBERGHEN, G. (1991). *Psychologie génétique et sciences cognitives (Cahiers de la Fondation Archives Jean Piaget, n° 11)*, chapitre La simulation cognitive de la mémoire humaine, pages 113–123. Genève : Fondations Archives Jean Piaget.
- TIBERGHEN, G. (1993). *Intelligence naturelle et intelligence artificielle*, chapitre Questions de modélisation et de simulations cognitives, pages 43–69. Paris : PUF.
- TIBERGHEN, G. (1997). *La mémoire oubliée*. Liège, Belgique : Edition Pierre Mardaga.
- TOTH, J., REINGOLD, E. et JACOBY, L. (1994). Toward a redefinition of implicit memory : Process dissociation following elaborative processing and self-generation. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory & Cognition*, 20:290–303.
- TREISMAN, A. (1964). Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5:193–197.
- TSANG, P. et SHANNER, T. (1998). Age, attention, expertise, and time-sharing performance. *Psychology & Aging*, 13:323–347.
- TULVING, E. (1982). Synergistic ephory in recall and recognition. *Canadian Journal of Psychology*, 36:130–147.
- TULVING, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York, NJ : Oxford University Press.
- TULVING, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40(4):385–398.
- TULVING, E. (1995). *The cognitive neurosciences*, chapitre Organisation of memory : quo vadis?, pages 839–847. Cambridge, MA : MIT Press (pp. 839-847).
- TULVING, E. et THOMSON, D. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80:352–373.
- VARELA, F. (1997). *Invitation aux sciences cognitives*. Paris : Points Sciences.
- VERHAEGHEN, P. et MARCOEN, A. (1994). Production deficiency hypothesis revised : Adult age differences in strategy use as a function of processing resources. *Aging & Cognition*, 1:323–338.
- VERSACE, R., NEVERS, B. et PADOVAN, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Solal.
- WARRINGTON, E. et WEISKRANTZ, L. (1974). The effect of prior learning on subsequent retention in amnesic patients. *Neuropsychologia*, 12:419–428.
- WARRINGTON, E. et WEISKRANTZ, L. (1978). Further analysis of the prior learning effect in amnesic patients. *Neuropsychologia*, 16:169–176.
- WASSERMAN, G., ALLEN, R. et SOLOMON, C. (1985). At-risk toddlers and their mothers : The special case of physical handicap. *Child Development*, 56:73–83.

- WERBOS, P. (1974). *Beyond Regression : New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences*. Thèse de doctorat, Harvard University.
- WESCHLER, D. (1997). *Weschler Adult Intelligence Scale - 3rd Edition (WAIS-III)*. San Antonio, TX : Harcourt Assessment.
- WESCHLER, D. (2001). *Echelle clinique de mémoire de Weschler MEM III (WMS-III)*. Paris, France : Les éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- WHISHAW, I. et KOLB, B. (1988). Sparing of skilled forelimb reaching and cortical spinal projections after neonatal motor cortex removal of hemidecortication. *Brain Research*, 451:97-114.
- WICKELGREN, W. (1975). Relations, operators, predicates, and the syntax of (verbal) propositional and (spatial) operational memory. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 6(2):161-164.
- WIDROW, B. et HOFF, M. (1960). *IRE WESCON*, chapitre Adaptive switching circuits, pages 96-104. New York, NJ : Convention Record.
- WILSON, B. (1991). Long term prognosis of patients with severe memory disorders. *Neuropsychological rehabilitation*, 1:117-134.
- WILSON, B. (1995). *Compensating for psychological deficits and declines : Managing losses and promoting gains*, chapitre Memory Rehabilitation : Compensating for memory problems, pages 3-19. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- WITKIN, H., OLTMAN, P., CHASE, J. et FRIEDMAN, F. (1971). *Cognitive studies*, chapitre Cognitive patterning in the blind. New York : Brunner-Mazel.
- WOZNIAK, R. H. (1999). *Classics in Psychology, 1855-1914 : Historical Essays*. Bristol, UK : Thoemmes Press.
- YEE, P. et HAYKIN, S. (2001). *Regularized Radial Basis Function Networks : Theory and Applications*. New York, NJ : John Wiley.
- ZUBECK, J. (1969). *Sensory deprivation : Fifteen years of research*. New York : Appleton-Century-Crofts.

INDEX DES AUTEURS

- Abdi, H., **83**
- Ackerman, B.P., **184**
- Adams, D.L., **15**
- Adler, A.A., **9**
- Ahmad, S., **19**
- Alario, F-X., **128, 132, 146**
- Allen, R., **30, 277**
- Anandan, P., **92**
- Anderson, J.R., **41, 55, 57, 69, 84, 85**
- Anderson, N.D., **116, 118, 273**
- Antonelli, J.R.S., **117**
- Arndt, J., **106, 109, 135, 184, 229, 242**
- Arnett, P.A., **184**
- Atkinson, R.C., **37, 39, 41, 77, 86**
- Ayllon, T., **28**
- Bach-y-Rita, P., **20, 24**
- Baddeley, A.D., **18, 37, 39, 41, 47, 49, 53, 54, 86**
- Bahrnick, H.P., **63**
- Bahrnick, P.O., **63**
- Baltes, M.M., **7, 15**
- Baltes, P.B., **7, 15**
- Barto, A.G., **92**
- Battig, W. F., **189**
- Beer, R.D., **84**
- Benedetti, L.H., **19**
- Berry, J.M., **192**
- Bherer, L., **21, 22**
- Birren, J.E., **21**
- Blank, M., **20**
- Blaxton, T.A., **47, 65**
- Boller, F., **12**
- Boring, E.G., **36**
- Borst, M., **87**
- Bothell, D., **41**
- Bowers, C.A., **192**
- Brandtstädter, J., **16, 17**
- Bransford, J.D., **46, 48, 49, 53–56, 60, 62, 64, 65, 167, 202, 209, 264**
- Bresson, C., **284**
- Bridger, W.H., **20**
- Brodbeck, D.R., **198**
- Brooks, R.A., **84**
- Bruzek, J., **87**
- Bryant, D., **14**
- Bub, D., **12**
- Budson, A.E., **131**
- Burack, O.R., **188**
- Buschke, H., **57**
- Butters, N., **12**
- Byrne, M.D., **41**
- Bäckman, L., **2, 7–9, 15, 17, 21, 24–30, 32, 117, 131, 143, 144, 149, 151, 152, 186, 188, 191, 192, 197, 256, 263, 264, 266, 269, 271, 274, 276, 277, 279, 280, 288**
- Carpenter, G.A., **90**
- Carson, R.E., **23**
- Carstensen, L.L., **15**
- Cavanaugh, J.C., **13, 115**

- Challis, B.H., **51, 198**
- Chang, D., **14**
- Charness, N., **21**
- Chase, J.B., **19**
- Cherkow, H., **12**
- Chiarello, C., **7**
- Chomsky, N., **37**
- Churchland, P.M., **83**
- Claverie, B., **2, 52, 53, 58, 60, 68, 117, 119–122, 134, 144, 145, 147, 149, 162, 173, 176, 220, 221, 223, 224, 247, 265, 284**
- Cohen, G., **47**
- Cohen, J., **18**
- Cohen, J.D., **130**
- Cohen, N.J., **12**
- Collins, A.M., **94**
- Collins, M., **149**
- Content, A., **131, 132**
- Corkin, S., **11, 36**
- Cornell, D., **107**
- Corsini, M-M., **2, 87, 88, 90, 119–122, 134, 144, 145, 162, 176, 247, 265**
- Cote, N.C., **192**
- Cottrell, G.W., **98, 99, 286, 287**
- Craik, F.I.M., **2, 13, 14, 21, 35, 46–57, 59–61, 65, 66, 69, 70, 98, 116–118, 127, 143, 144, 149, 150, 155, 157, 158, 160, 161, 165, 167, 173, 183, 199, 202, 209, 215, 217, 224–226, 263, 273, 277, 280, 289**
- Cross, J., **107**
- Crowder, R.C., **39**
- Cunningham, A.E., **18**
- Cunningham, C.J., **117, 144**
- Daffner, K.R., **131**
- Damas, L., **104, 110, 135, 287, 288, 325**
- Darwin, C.J., **39**
- DeKosky, S.T., **23**
- Deltour, J.J., **133**
- Desikan, R., **131**
- Dietrich, E., **84**
- Dixon, R.A., **2, 7–9, 13, 15, 17, 24–30, 32, 131, 151, 152, 186, 188, 191, 192, 197, 256, 263, 264, 266, 269, 271, 274–277, 280, 288**
- Dougherty, M.R.P., **110**
- Douglass, S., **41**
- Duran, P., **19**
- Eaves, L., **30**
- Ebbinghaus, H., **38, 46, 75**
- Ehrlich, M.F., **198**
- Einstein, G.O., **53, 192**
- Emerson, R.W., **8**
- Erderlyi, M., **57**
- Ericsson, K.A., **22**
- Eysenck, M.W., **49, 53**
- Facci, G., **198**
- Ferber, J., **84**
- Ferrand, L., **128, 132, 146**
- Ferraro, K.F., **7, 15**
- Finkelstein, S., **57**
- Fisher, R.P., **52, 61, 65, 66, 70, 127, 215, 217**
- Flatt, M., **130**
- Fodor, J.A., **37, 44, 81**
- Formey, S., **8**

- Forrest, S., **84**
- Franks, J.J., **46, 48, 49, 53, 54, 62, 64, 65, 202, 264**
- Freund, A.M., **15**
- Friedman, F., **19**
- Gallo, D.A., **35, 49, 53**
- Galluccio, L., **193**
- Gaonac'h, D., **28**
- Gardiner, J.M., **45, 47, 98**
- Gathercole, S.E., **18**
- Gaussier, P., **84**
- Geraci, L., **35**
- Gettys, C.F., **110**
- Gilette, J., **23**
- Gillund, G., **100**
- Goldberg, S.R., **57**
- Goldinger, S.D., **184**
- Goldman, D., **107**
- Gondran, M., **83**
- Gonzalez-Aviles, A., **23**
- Govoni, R., **116, 273**
- Grady, C.L., **23**
- Grady, J.G., **13, 115**
- Graf, P., **42, 58, 60, 143, 150, 161, 164, 165, 167, 172, 177, 209**
- Greene, R.L., **59**
- Grossberg, S., **90**
- Guillem, F., **52, 60, 68, 117, 145, 147, 149, 173, 221, 223, 224**
- Gurney, K., **83**
- Hanson, K.A., **15**
- Hartmann, G.W., **19**
- Hasher, L., **273**
- Hashtroudi, S., **117, 144**
- Haxby, J.V., **23**
- Hayes, S.P., **9, 19**
- Haykin, S., **89**
- Hayman, G.A.C., **98, 99**
- Hebb, D., **91**
- Herlitz A., **152, 256, 279**
- Herman, L., **14**
- Herscovitch, P., **23**
- Hidde, J.L., **57**
- Hill, R.D., **21**
- Hintzman, D.L., **2, 76, 94, 95, 100–102, 106–109, 133–135, 153, 160, 264, 289**
- Hirshman, E., **106, 109, 135, 184, 229, 242**
- Hitch, G.J., **37, 39, 41, 86**
- Hockey, W.E., **98**
- Hoff, M.E., **92**
- Holland, A., **12**
- Homa, D., **107**
- Hopfield, J.J., **90**
- Horner, J., **23**
- Horwitz, B., **23**
- Howard, D.V., **12**
- Hultsch, D.F., **13, 188**
- Hunt, R.R., **53, 192**
- Isingrini, M., **117**
- Israel, L., **131**
- Jacoby, L.L., **45, 47–49, 54, 56, 65, 70, 198**
- James, W., **37, 101**
- Jauniaux, I., **189**
- Java, R.I., **45, 47**
- Jennings, J.M., **14, 116, 117, 143, 149**
- Johnson, M.M.S., **117, 144**
- Johnson-Layrd, P.N., **81**

- Jones, B., **19**
- Jurica, P.J., **192**
- Kail, R., **187**
- Kapur, N., **13**
- Kintsch, W., **93**
- Kirker, W.S., **57**
- Klonoff, H.A., **30**
- Knoblauch, A., **87**
- Knopman, D.S., **12**
- Kohen, J.A., **15**
- Kohonen, T., **90**
- Kolb, B., **24**
- Kolers, P.A., **46, 55, 65**
- Koutstaal, W., **107, 193**
- Krampe, R.T., **22**
- Kuan, C.M., **87**
- Kuiper, N.A., **57**
- LaBerge, D., **273**
- Lachman, M.E., **188**
- Laurence, S., **23**
- Lebiere, C., **41, 85**
- Lemaire, P., **21, 22**
- Lespinet, V., **52, 60, 68, 117, 145, 147, 149, 173, 221, 223, 224, 284**
- LeVere, N.D., **30, 277**
- LeVere, T.E., **30, 277**
- Lewandowsky, S., **98**
- Lieury, A., **12**
- Lipinska, B., **117**
- Lockhart, R.S., **2, 35, 46–51, 53–56, 59–61, 65, 69, 70, 98, 143, 144, 160, 183, 202, 225, 263, 280, 289**
- Loeb, M., **19**
- Loewen, E.R., **13**
- Logan, J.S., **184**
- Lollis, T., **192**
- Lopata, H.Z., **15**
- Ludlam, G., **100**
- Luis, J.D., **117, 144**
- Luria, A.R., **7, 9, 23**
- Lyxell, B., **7**
- MacWhinney, B., **130**
- Magnor, C., **14**
- Maisog, J.M., **23**
- Mangels, J.A., **192**
- Marcoen, A., **116**
- Markman, A.B., **84**
- Massaro, D.W., **50**
- McClelland, J.L., **87**
- McCulloch, W.S., **87**
- McDaniel, M.A., **117, 144, 192**
- McDermott, K.B., **184, 193**
- McEvoy, C.L., **285, 286**
- McLachnan, D., **12**
- Menard, W.E., **14**
- Mencl, E., **98, 99, 286, 287**
- Mentis, M.J., **23**
- Metcalf, J., **94, 95, 97–99, 134, 162, 286, 287**
- Milan, M.A., **28**
- Milner, B., **11**
- Minsky, M.L., **79, 89**
- Mitchell, D.B., **12**
- Mitchell, M., **84**
- Montague, W. E., **189**
- Morris, C.D., **46, 48, 49, 53, 54, 62, 64, 65, 202, 264**
- Morrow, D.G., **14**

- Moscovitch, M., **12, 49, 61, 69, 70, 160, 161, 165, 167, 224–226**
- Mousty, P., **131, 132**
- Murdock, B.B.Jr., **38, 55, 69, 95**
- Mäntylä, T., **58, 67, 117, 144, 146, 150, 152, 199, 218, 256, 277, 279**
- N’Kaoua, B., **2, 52, 53, 58, 60, 68, 117, 119–122, 134, 144, 145, 147, 149, 162, 173, 176, 220, 221, 223, 224, 247, 265, 283, 284**
- Nairne, J.S., **59, 128**
- Naveh-Benjamin, M., **116, 273**
- Nebes, R.D., **12**
- Neisser, U., **48**
- Nelson, D.L., **285, 286**
- Nelson, T.O., **53**
- Nevers, B., **95**
- Newell, A., **85, 86**
- Nicolas, S., **44, 65, 198**
- Nicoud, J.D., **84**
- Nilsson, L.G., **58, 67, 98, 146, 150, 199, 218, 277**
- Nissen, M.J., **12**
- Nobel, P.A., **184**
- Norman, K.A., **107**
- Ogden, E.E., **110**
- Ohlsson, K., **19**
- Olofsson, M., **188**
- Oltman, P.K., **19**
- Owen, P.D., **192**
- Padovan, C., **95**
- Palm, G., **87**
- Papert, S.A., **79, 89**
- Park, Y., **187**
- Parker, E.S., **117, 144**
- Patterson, M.L., **7, 9**
- Pearson, L., **40**
- Perlmutter, M.P., **13, 115**
- Philblad, C.T., **15**
- Phillips, L., **11**
- Pietrini, P., **23**
- Pietrukowicz, M., **117, 144**
- Pike, R., **100**
- Pisoni, D.B., **184**
- Pitman, D., **19**
- Pitts, W.A., **87**
- Plate, T.A., **95**
- Provost, J., **130**
- Pusen, C., **59**
- Pylyshyn, Z.W., **81**
- Qin, Y., **41**
- Quillian, M.R., **94**
- Raaijmakers, J.G.W., **100**
- Radeau, M., **131, 132**
- Rankin, J., **149**
- Rapoport, S.I., **23**
- Raquel, L., **14**
- Ratanen, E., **14**
- Reder, L.M., **55**
- Reingold, E.M., **198**
- Reisen, C.A., **117, 144**
- Richardson-Klavehn, A., **45, 47**
- Richelle, M., **76**
- Riegler, G.L., **51, 198**
- Rifoldo, H.E., **14**
- Roediger, H.L.III, **35, 46, 47, 49, 51, 53, 65, 193, 198**

- Rogers, T.B., **57**
- Rosalind, I., **45, 47**
- Rosenblatt, F., **79, 89**
- Rossi, J-P., **76–78, 80, 81**
- Rothi, L.J., **23**
- Rougier, A., **284**
- Rumelhart, D.E., **87**
- Rustling, C.L., **192**
- Ryan, E.B., **117, 144**
- Rönnberg, J., **7, 19**
- Salerno, J.A., **23**
- Salmon, D.P., **12**
- Salthouse, T.A., **7, 17, 19–21, 120, 144, 186, 187, 193, 269, 274**
- Samuels, S.J., **273**
- Sanborn, A., **14**
- Sauzón, H., **2, 52, 53, 58, 60, 68, 117, 119–122, 134, 144, 145, 147, 149, 162, 173, 176, 220, 221, 223, 224, 247, 265, 284**
- Schacter, D.L., **42, 70, 107, 131, 160, 193, 225**
- Scheff, S.W., **23**
- Schmitt, A., **87**
- Schmitt, F.A., **117, 144**
- Schneider, W., **49, 273**
- Schreiber, T.A., **285, 286**
- Schulman, A.I., **56**
- Seidenberg, M., **12**
- Shachmurove, Y., **87**
- Shanner, T.L., **21, 22**
- Shapiro, M.B., **23**
- Sharps, M.J., **117, 188**
- Shaw, R.J., **13, 117, 143, 149**
- Shiffrin, R.M., **37, 39, 41, 49, 77, 86, 100, 184, 273**
- Shimamura, A.P., **12, 192**
- Shwartz, S., **107**
- Simon, E., **116, 273**
- Simon, H.A., **85, 86**
- Simon, S.J., **28**
- Slamecka, N.J., **58, 60, 143, 150, 161, 164, 165, 167, 172, 177, 209**
- Smith, R.E., **192**
- Smith, S., **12**
- Solomon, C.R., **30, 277**
- Solso, R.L., **40**
- Sperling, G., **38**
- Spinnler, H., **133**
- Squire, L.R., **10, 12, 36, 42, 44, 77**
- Stadler, M.L., **51, 198**
- Stanovich, K.E., **18**
- Starr, A., **11**
- Stein, B.S., **55, 56, 60, 167, 209**
- Stein, D., **23**
- Sternberg, R.J., **18**
- Stevens, D.T., **192**
- Stigsdotter-Neely, A., **21**
- Stine-Morrow, E.A.L., **14**
- Stofer, K.A., **193**
- Süllwod, L., **30, 277**
- Tacconat, L., **117**
- Teller, T., **14**
- Thomson, D.M., **46, 48, 62–65, 128, 150, 183, 199, 207, 211–213, 264, 277**
- Tiberghien, G., **1, 46, 75, 78, 79, 87, 93, 94, 96, 98**
- Tognoni, G., **133**

- Toth, J.P., **198**
- Treisman, A., **50**
- Tsang, P.S., **21, 22**
- Tufenkjian, S., **19**
- Tulving, E., **35, 40–46, 48, 51, 53, 56, 57, 62–65, 77, 98, 99, 104, 128, 150, 155, 157, 158, 173, 183, 199, 207, 209, 211–213, 264, 277**
- Turvey, M.T., **39**
- Ungerleider, L.G., **23**
- Varela, F., **75, 81, 82, 84**
- Velichkovsky, B.M., **51**
- Verhaeghen, P., **116**
- Versace, R., **95**
- Viitanen, M., **117**
- Wagner, E., **23**
- Warner Schaie, K., **21**
- Warrington, E.K., **12**
- Wasserman, G.A., **30, 277**
- Watson, J.M., **184**
- Weiskrantz, L., **12**
- Weldon, M.S., **51, 198**
- Wentura, D., **16, 17**
- Werbos, P.J., **92**
- Weschler, D., **133**
- Whishaw, I.Q., **24**
- White, H., **87**
- Wickelgren, W.A., **46**
- Wickens, D., **14**
- Widner, R.L.Jr., **59, 128**
- Widrow, B., **92**
- Wilson, B.A., **12, 13, 16, 37, 39, 275**
- Winocur, G., **12**
- Witkin, H.A., **19**
- Wozniak, R.H., **78**
- Yee, P.V., **89**
- Zacks, R.T., **273**
- Zrehen, S., **84**
- Zubeck, J.P., **7, 9**

TABLE DES FIGURES

1.1	Espace conceptuel de la compensation	15
1.2	Le modèle de compensation de Brandtstädter et Wentura	17
1.3	Le modèle de compensation de Salthouse	20
1.4	Relation entre compensation neuronale et comportementale	25
1.5	Le modèle de compensation de Bäckman et Dixon	27
1.6	Relation entre probabilité de compensation et niveau de difficulté	28
2.1	Le modèle de mémoire d'Atkinson et Shiffrin	39
2.2	Une représentation du modèle de mémoire de Tulving	41
2.3	Le modèle de mémoire de Squire	42
2.4	Une autre représentation du modèle de mémoire de Tulving	43
2.5	Relations fonctionnelles entre processus cognitifs	47
2.6	Présentation des processus cognitifs automatiques et contrôlés	49
2.7	Le cadre général des niveaux de traitement	71
3.1	Le modèle de mémoire d'Atkinson et Shiffrin	77
3.2	Représentation schématique du modèle ACT*	85
3.3	Représentation schématique du neurone de McCulloch et Pitts	87
3.4	Exemples de fonctions d'activation utilisées dans les neurones formels	88
3.5	Taxonomie des différentes classes de réseaux de neurones artificiels	90
3.6	Représentation schématique du modèle CHARM	96
3.7	Représentation schématique du modèle MINERVA 2	108
3.8	Phénomène de généralisation dans MINERVA 2	110
4.1	Effets d'une aide sémantique, d'une aide à l'élaboration et de leur interaction chez des sujets jeunes et âgés.	119
5.1	Manipulations expérimentales effectuées dans le cadre des niveaux de traitement	129
5.2	Exemple d'un profil d'activation dans Minerva 2	138

6.1	Effet d'interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent	151
6.2	Courbe en U inversé décrivant la probabilité de compensation en fonction de la difficulté	152
6.3	Effet de profondeur de traitement dans MINERVA 2	156
6.4	Simulation de l'expérience de Craik et Tulving (1975) à l'aide de MINERVA 2	158
6.5	Profils d'activation en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs	159
6.6	Effet d'élaboration dans MINERVA 2	161
6.7	Modèle théorique de l'effet d'élaboration dans MINERVA 2, en termes de pourcentage de réponses correctes	163
6.8	Simulation des résultats de Slamecka et Graf (1978) dans MINERVA 2	165
6.9	Profils d'activation en fonction de la dimension des vecteurs	166
6.10	L'interaction <i>PDT</i> × <i>Elaboration</i> dans MINERVA 2	168
6.11	Modèle théorique de l'effet d'interaction <i>PDT</i> × <i>Elaboration</i> dans MINERVA 2	170
6.12	Simulation dans MINERVA 2 de l'interaction positive entre la profondeur de traitement et l'élaboration	172
6.13	Interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent simulés dans MINERVA 2	175
6.14	Un modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement	178
7.1	Performances des sujets en fonction du type de difficulté et du type d'aide	201
8.1	Effet de la spécificité d'encodage dans MINERVA 2	210
8.2	Simulation des résultats de Tulving et Thomson (1973) dans MINERVA 2	212
8.3	Profils d'activation en fonction de la proportion de caractéristiques communes entre les vecteurs sondes et les vecteurs cibles	214
8.4	L'interaction <i>PDT</i> × <i>Spécificité d'encodage</i> dans MINERVA 2	216
8.5	Simulation des résultats de Fisher et Craik (1977) dans MINERVA 2	217
8.6	L'interaction <i>Elaboration</i> × <i>Spécificité d'encodage</i> dans MINERVA 2	219
8.7	Simulation des résultats de Sauzéon et al. (2001) dans MINERVA 2	221
8.8	La triple interaction <i>PDT</i> × <i>Elaboration</i> × <i>Spécificité d'encodage</i> dans MINERVA 2	222
8.9	Simulation des résultats de Sauzéon et al. (2000) dans MINERVA 2	224
9.1	Simulation de la durée de présentation dans MINERVA 2	232

9.2	L'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2, en fonction de la durée de présentation	233
9.3	Triple interaction $Durée\ de\ présentation \times PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2	235
9.4	Effet de l'organisation du matériel dans MINERVA 2	239
9.5	Profil d'activation de la mémoire en fonction de l'organisation des listes de vecteurs	241
9.6	L'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2, en fonction de l'organisation du matériel	242
9.7	La triple interaction $Organisation \times PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2 . . .	244
9.8	Effet de la consigne de récupération dans MINERVA 2	249
9.9	L'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2, en fonction du type de consigne simulé	250
9.10	Rapport entre les valeurs de distance Sonde/Écho, leurs déviations standards et le seuil de réponse du modèle, en fonction des conditions d'encodage et du type de consigne simulés	253
10.1	Interaction entre la profondeur de traitement et l'élaboration, chez trois groupes d'âge différent	266
10.2	Un modèle de compensation dans le cadre des niveaux de traitement	267
10.3	Un modèle de la compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement	272
10.4	Relation entre les effets compensatoires et l'adéquation entre les caractéristiques de la tâche et du sujet.	276
10.5	Modèle théorique de l'effet d'interaction $PDT \times Elaboration$ dans MINERVA 2 .	281
10.6	Profils d'activation en fonction de la proportion de caractéristiques non-nulles dans les vecteurs	282
10.7	Représentation schématique de la démarche scientifique adoptée au cours de la thèse	283
10.8	Variabes affectant les composantes explicites et implicites de la mémorisation . .	286
10.9	Illustration schématique d'un système informatique d'aide à la remémoration . .	287

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Les systèmes de mémoire en fonction de la durée de rétention	40
2.2	Tâches d'orientation utilisées par Craik et Tulving (1975)	51
3.1	Présentation des différents courants de pensée adoptés en sciences cognitives . . .	82
6.1	Performances de mémoire de trois groupes de sujets d'âge différent en fonction des conditions d'encodage et de récupération	147
6.2	Pourcentage de rappel correct obtenu dans MINERVA 2 chez trois groupes de sujets simulés, en fonction des conditions d'encodage	173
7.1	Performances de mémoire des sujets en fonction de la durée de présentation du matériel	185
7.2	Performances de mémoire des sujets en fonction de l'organisation du matériel . .	190
7.3	Performances de mémoire des sujets en fonction des consignes de récupération . .	195

Cinquième partie

Annexes

L'OPÉRATION DE CONVOLUTION

Soit deux vecteurs X et Y tels que :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{et} \quad Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

Une convolution se définit alors par la formule suivante :

$$Z = X * Y$$

où :

$$z_j = \sum_{k=1}^n x_k \cdot y_{j-k+1}$$

pour Z de dimension $2n - 1$ (*i.e.*, j allant de 1 à $2n-1$) et en supposant que toute valeur d'indice négative (*e.g.*, x_{-1}), nulle (*e.g.*, x_0) ou supérieure à n (*e.g.*, x_4 avec $n = 3$) induise une valeur nulle (*i.e.*, $x_k \cdot y_{j-k+1} = 0$).

En prenant comme exemple $n = 3$, le vecteur Z possède 5 dimensions :

$$Z = (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5)$$

où :

$$z_1 = x_1 \cdot y_1 + x_2 \cdot y_0 + x_3 \cdot y_{-1} = \mathbf{x_1 \cdot Y_1}$$

$$z_2 = x_1 \cdot y_2 + x_2 \cdot y_1 + x_3 \cdot y_0 = \mathbf{x_1 \cdot Y_2 + x_2 \cdot Y_1}$$

$$z_3 = x_1 \cdot y_3 + x_2 \cdot y_2 + x_3 \cdot y_1 = \mathbf{x_1 \cdot Y_3 + x_2 \cdot Y_2 + x_3 \cdot Y_1}$$

$$z_4 = x_1 \cdot y_4 + x_2 \cdot y_3 + x_3 \cdot y_2 = \mathbf{x_2 \cdot Y_3 + x_3 \cdot Y_2}$$

$$z_5 = x_1 \cdot y_5 + x_2 \cdot y_4 + x_3 \cdot y_3 = \mathbf{x_3 \cdot Y_3}$$

(Illustration tirée de Damas, 2003, p. 21)

Matériel Expérimental : Expérience 1

LISTES SÉMANTIQUES		LISTES PHONÉTIQUES	
Liste 1	Liste 2	Liste 1	Liste 2
<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>
PRUNE - FRUIT	AGNEAU - MOUTON	CROSSE - BOSSE	CARTE - TARTE
CLOCHE - EGLISE	LESSIVE - MACHINE	POULET - GALET	VIGNE - SIGNE
BOUTON - CHEMISE	BRIQUET - CIGARETTE	FLACON - BALCON	STATION - POTION
FLUTE - MUSIQUE	POISSON - BROCHET	REFUGE - LUGE	TASSE - IMPASSE
CACTUS - DESERT	DANSEUR - BALLET	PEINTURE - RATURE	HUTTE - LUTTE
METRE - MESURE	CASSETTE - VIDEO	CHARRETTE - BARRETTE	COQUE - PHOQUE
VOILIER - MER	BROSSE - DENT	EPAVE - CAVE	USINE - RUINE
COLLIER - BIJOU	LUNETTE - SOLEIL	RUBAN - CABAN	PLANCHE - HANCHE
BUCHE - FEU	MANEGE - FOIRE	HANGAR - PLACARD	CRISTAL - SIGNAL
GORILLE - SINGE	MECHE - CHEVEU	POUSSIÈRE - PANIÈRE	MARMITE - TERMITE
NUAGE - CIEL	TUNNEL - TRAIN	SIROP - BUREAU	DIGUE - FIGUE
TULIPE - FLEUR	PANIER - OSIER	AIGUILLE - BILLE	VAISSELLE - FICELLE
POUCE - DOIGT	SAVON - TOILETTE	LEVURE - SERRURE	DIVAN - FAISAN
CEINTURE - PANTALON	PAILLE - FOIN	DEMEURE - BEURRE	GRAPPE - TRAPPE
MOUCHE - INSECTE	RIDEAU - FENÊTRE	VAUTOUR - CONTOUR	RIVAGE - VISAGE
SANDALE - CHAUSSURE	BILLET - BANQUE	CHANTIER - LAITIER	CAISSE - GRAISSE
TRACTEUR - CHAMP	TROMPETTE - ARMÉE	NOYAU - TUYAU	GILET - FILET
FUSEE - ESPACE	JUPON - ROBE	DUNE - LUNE	PIMENT - CIMENT
CAHIER - ÉCOLE	JUS - RAISIN	PIPE - TYPE	LIEVRE - FIEVRE
AIGLE - OISEAU	BALLON - JEU	MONNAIE - PONEY	COUSSIN - POUSSIN

Matériel expérimental utilisé dans l'expérience décrite au chapitre 6 (§ 6.2, p. 145). Dans les conditions élaborées, seul le premier mot de chaque paire était présenté.

Listes sémantiques : Expériences 2 & 4

LISTE 1	LISTE 2	LISTE 3	LISTE 4
<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>
LETTRE - COURRIER	ABRICOT - PECHE	MANTEAU - FOURRURE	ARROSOIR - FLEUR
CHAINE - FER	TROMPETTE - ARMEE	ESCARGOT - COQUILLE	COQ - CHANT
PIANO - NOTE	HORLOGE - MONTRE	ARMOIRE - COMMODE	POUPEE - JOUET
CASTOR - QUEUE	NOEUD - CORDE	OEIL - LYNX	ORANGE - CITRON
PHARE - PORT	TRAIN - GARE	FENETRE - VITRE	CERF - FORET
ETOILE - LUNE	TARTE - CREME	CASSEROLE - EAU	BALLE - RAQUETTE
CHEVRE - BREBIS	METRE - LONGUEUR	MONTAGNE - ESCALADE	NEZ - PIED
DENT - BROSSE	GOMME - ECOLE	CROCODILE - RIVIERE	LION - CRINIÈRE
FROMAGE - ODEUR	PAIN - TARTINE	JAMBE - MARCHE	BAIGNOIRE - DOUCHE
FERME - POULE	MARTEAU - OUTIL	INDEX - LIVRE	NUAGE - FUMÉE
VALISE - SAC	ACCORDEON - MUSETTE	VELO - PROMENADE	MUR - AFFICHE
CERVEAU - NEURONE	FRAISE - FRUIT	OREILLER - SOMMEIL	BALAI - MENAGE
LIT - DRAP	MOULE - HUITRE	ANE - MULET	CYGNE - LAC
BARRIERE - BOIS	BOUTON - MANCHETTE	PHOQUE - OTARIE	GIRAFE - ZOO
CANON - FEU	MALLE - COFFRE	POIGNEE - SERRURE	CHAUSSURE - CUIR
AIGLE - AILE	CHEMISIER - COL	SERPENT - BOA	ARC - TIR
PAPILLON - COULEUR	LAMPE - POCHE	ARAIGNEE - MYGALE	ARBRE - CHENE
CARTABLE - ECOLIER	RAISIN - VIGNE	PUIT - TROU	VASE - POT
EGLISE - CLOCHE	KANGOUROU - BOXE	OLIVE - APERITIF	LUNETTE - VERRE
TOMATE - SAUCE	EVIER - CUISINE	RATEAU - SABLE	CARAVANE - GITAN

Listes sémantiques utilisées dans les expériences 2 (§ 7.1, p. 184) et 4 (§ 7.3, p. 193), décrites au chapitre 7.

Listes phonétiques : Expériences 2 & 4

LISTE 1	LISTE 2	LISTE 3	LISTE 4
<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>	<i>Cible - Indice</i>
LEVURE - CASSURE	FOIRE - TIROIR	REFUGE - JUGE	CHANTIER - POMPIER
TRACTEUR - ELECTEUR	VAUTOUR - POURTOUR	MANEGE - SIEGE	GORILLE - FILLE
CONTOUR - FOUR	VAISSELLE - FAISSELLE	POUSSIÈRE - LIÈRE	TASSE - PLACE
CHARRETTE - CLAQUETTE	MONNAIE - CARNET	CASSETTE - BELETTE	POISSON - CHANSON
CEINTURE - TEINTURE	CRISTAL - PETAL	USINE - BASSINE	MESURE - RATURE
COUSSIN - POUSSIN	ROBE - GLOBE	IMPASSE - TRACE	FUSEE - NAVET
PANIER - ACIER	FLACON - PONT	COLLIER - SOULIER	CIMENT - JUMENT
DANSEUR - MASSEUR	TRAPPE - NAPPE	BILLE - VRILLE	LESSIVE - ENDIVE
BILLET - FEUILLET	POTEAU - CHATEAU	VISAGE - MIRAGE	BALCON - BATON
NOYAU - MAILLOT	ESPACE - MASSE	GALET - ALLEE	POUCE - HOUSSE
RIVAGE - RAMAGE	RUBAN - AMANT	VOILIER - BOULIER	LAITIER - PLOMBIER
MECHE - FLECHE	PIMENT - FROMENT	GRAPPE - CAPE	BROCHET - SACHET
TUNNEL - TRUELLE	MARMITE - HERMITE	CAUTION - POTION	TERMITE - FRITE
GRAISSE - PRESSE	VENDANGE - LANGE	OISEAU - ROSEAU	TOILETTE - PALETTE
VIDEO - MOTO	HANGAR - GUITARE	FICELLE - PARCELLE	PAILLE - FAILLE
BUREAU - VEAU	FAISAN - ARTISAN	BARRETTE - BARQUETTE	TUYAU - BOULOT
SIGNAL - BOCAL	BEURRE - HEURE	MACHINE - EPINE	DUNE - PRUNE
LUTTE - BUTTE	BOULE - AMPOULE	FILET - BOULET	SIROP - ZERO
PLACARD - RENARD	INSECTE - COLLECTE	BIJOU - GENOU	CAISSE - PARESE
POULET - OURLET	FOIN - POINT	TYPE - CLIP	BRIQUET - VOLET

Listes phonétiques utilisées dans les expériences 2 (§ 7.1, p. 184) et 4 (§ 7.3, p. 193), décrites au chapitre 7.

Questionnaire d'évaluation Subjective

Evaluation subjective	Questions sur les Conditions
<p><u>Manip</u> : ORGANISATION</p> <p><u>Sujet</u> :</p> <hr/>	
<p style="text-align: center;"><i>Questions Générales</i></p>	
<p>1. Avez-vous éprouvé plus de difficulté dans la condition "Non Organisé" que dans la condition "Organisé" ?</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON</p>	<p>6. Avez-vous éprouvé plus de difficulté en :</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> SÉMANTIQUE <input type="checkbox"/> PHONÉTIQUE <input type="checkbox"/> aucun</p>
<p>2. Avez-vous utilisé des stratégies particulières d'apprentissage (ex: classification, imagerie mentale, etc.) ?</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON</p>	<p>7. Avez-vous éprouvé plus de difficulté en :</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> ÉLABORÉ <input type="checkbox"/> NON ÉLABORÉ <input type="checkbox"/> aucun</p>
<p>3. Si oui, lesquelles ?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>	<p>8. Classer les différents types de restitution (i.e., Rappel Libre, Rappel Indiqué et Reconnaissance) selon l'ordre décroissant de difficulté éprouvée :</p> <p><i>Ex : Rappel Indiqué > Rappel Libre > Reconnaissance</i></p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>
<p>4. Si oui toujours, avez-vous plus employé ces stratégies lorsque vous vous sentiez en difficulté ?</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON</p>	
<p>5. Remarques ?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>	
<p>1</p>	<p>2</p>

Un exemple de questionnaire d'évaluation subjective utilisée dans les expériences décrites au chapitre 7 (p. 181).

Catégories sémantiques : Expérience 3

Catégories sémantiques					
INSECTES		ANIMAUX VOLANTS		ELEMENTS NATURELS	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
PAPILLON	COULEUR	AIGLE	FAUCON	FLEUVE	LAC
ARAIGNEE	FIL	COQ	CHANT	MONTAGNE	ESCALADE
ABEILLE	PIQURE	CYGNE	MARE	OCEAN	BLEU
CAFARD	PEUR	HIBOU	CHOUETTE	VOLCAN	LAVE
ANIMAUX DE LA FERME		VETEMENTS		ANIMAUX SAUVAGES	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
CHEVRE	BREBIS	CHEMISIER	COL	KANGOUROU	BOXE
ANE	MULET	MANTEAU	FOURRURE	CROCODILE	ALLIGATOR
CHEVAL	PONEY	CHAUSSURE	TALON	LION	SAVANE
VACHE	TAUREAU	GILET	VESTE	GIRAFE	ZOO
BOISSONS		RELIGION		HABITATS	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
CAFE	BREUVAGE	EGLISE	CLOCHE	FERME	CAMPAGNE
LAIT	BLANC	BIBLE	SAINT	CARAVANE	GITAN
VIN	IVRESSE	DIEU	PERE	MAISON	CHEMINEE
WHISKY	VERRE	PRETRE	SOUTANE	TENTE	PIQUET
MEUBLES		OUTILS		FRUITS	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
ARMOIRE	COMMODE	METRE	DISTANCE	ABRICOT	CONFITURE
LIT	CHAMBRE	MARTEAU	OUTIL	FRAISE	FRUIT
CHAISE	FAUTEUIL	PELLE	SEAU	RAISIN	VIGNE
TABLE	CUISINE	PERCEUSE	MUR	ORANGE	POMME
LEGUMES		VEHICULES		ARMES	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
TOMATE	CONCOMBRE	TRAIN	DEPART	CANON	POUDRE
POIVRON	PIMENT	VELO	PROMENADE	ARC	TIR
LAITUE	LAPIN	BUS	METRO	COUTEAU	LAME
ARTICHAUT	FEUILLE	VOITURE	ROUTE	HACHE	ARBRE
INSTRUMENTS		PARTIES DU CORPS		METIERS	
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>
PIANO	NOTE	DENT	BROSSE	POMPIER	ROUGE
TROMPETTE	ARMEE	CEIL	LYNX	DOCTEUR	SANTE
ACCORDEON	FETE	NEZ	FIGURE	SOLDAT	PLOMB
VIOLON	ARCHET	CERVEAU	NEURONE	JUGE	AVOCAT
METEO		SENTIMENTS			
<i>Cible</i>	<i>asso</i>	<i>Cible</i>	<i>asso</i>		
FROID	NEIGE	COLERE	RAGE		
CHALEUR	SUEUR	JOIE	PLAISIR		
SOLEIL	ETE	ESPOIR	AVENIR		
NUAGE	FUMEE	CRAINTE	DANGER		

Catégories sémantiques utilisées dans l'expérience 3 (§ 7.2, p. 188) décrite au chapitre 7.

Catégories phonétiques : Expérience 3

Catégories phonétiques					
« URE »		« EUR »		« OUR »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
LEVURE	CASSURE	TRACTEUR	AMATEUR	CONTOUR	FOUR
MESURE	RATURE	DANSEUR	MASSEUR	VAUTOUR	POURTOUR
CEINTURE	TEINTURE	FLEUR	PLEUR	JOUR	DETOUR
PEINTURE	PATURE	BEURRE	HEURE	TAMBOUR	RETOUR
« ETTE »		« IER »		« O »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
CHARRETTE	ARETE	PANIER	ACIER	VIDEO	MOTO
CASSETTE	BELETTE	COLLIER	METIER	BUREAU	GATEAU
BARRETTE	PIROUETTE	VOILIER	BOULIER	POTEAU	ETAU
TOILETTE	PALETTE	CHANTIER	QUARTIER	TUYAU	BOULOT
« AGE »		« EL »		« AISSE »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
RIVAGE	RAMAGE	TUNNEL	TRUELLE	GRAISSE	PRESSE
VISAGE	MIRAGE	VAISSELLE	CRECELLE	CAISSE	VITESSE
IMAGE	PLUMAGE	FICELLE	PARCELLE	TRESSE	MAITRESSE
GARAGE	PLAGE	ECHELLE	BRETELLE	ADRESSE	BAISSE
« AL »		« AR »		« ET »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
SIGNAL	BOCAL	PLACARD	RENARD	POULET	COULEE
CRISTAL	DALLE	HANGAR	GUITARE	GALET	PALET
SANDALE	VENDALE	ECART	BILLARD	FILET	BOULET
METAL	BALLE	CANARD	MOTARD	BRIQUET	MINET
« ON »		« IERE »		« AS »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
FLACON	DRAGON	POUSSIERE	PRIERE	ESPACE	MASSE
CAUTION	POTION	CARRIERE	CUILLERE	IMPASSE	TRACE
POISSON	CHANSON	PANIERE	SALIERE	TASSE	RACE
BALCON	SALON	MANIERE	SOUPIERE	CHASSE	SURFACE
« AN »		« INE »		« ILLE »	
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>
RUBAN	FLAN	USINE	BASSINE	BILLE	VRILLE
GANT	SERPENT	MACHINE	EPINE	GORILLE	QUILLE
FAISAN	ARTISAN	COPINE	VITRINE	FAMILLE	PUPILLE
CIMENT	ROMAN	ROBINE	CANTINE	GRILLE	PASTILLE
« ITE »		« IN »			
<i>Cible</i>	<i>Asso</i>	<i>Cible</i>	<i>Asso</i>		
MARMITE	GITE	COUSSIN	BASSIN		
TERMITE	SITE	VOISIN	TERRAIN		
LIMITE	ORBITE	MATIN	OURSIN		
ELITE	MERITE	DESSIN	SAPIN		

Catégories phonétiques utilisées dans l'expérience 3 (§ 7.2, p. 188) décrite au chapitre 7.

RÉSUMÉ

Les travaux présentés dans cette thèse concernent le phénomène de *compensation mnésique*. Ce phénomène réfère à la réduction, voire l'annulation, d'une difficulté de mémorisation *via* l'utilisation d'aides de mémoire. Nos investigations ont permis de préciser la nature des processus cognitifs impliqués dans la compensation mnésique, en utilisant des expérimentations et des simulations informatiques. Cette double approche a reposé principalement sur le modèle de compensation de Bäckman et Dixon, le cadre de la mémoire défini par les niveaux de traitement et le modèle formel MINERVA 2. Concernant les phénomènes compensatoires, les résultats obtenus mettent en avant la place centrale de l'adéquation entre les caractéristiques du sujet et celles de la tâche et soulignent le rôle crucial des interactions entre les aides de mémoire, afin de pallier la difficulté. L'ensemble des expérimentations et des simulations effectuées nous a permis de proposer un modèle de compensation mnésique dans le cadre des niveaux de traitement. Pour finir, les perspectives de notre travail sont positionnées dans le domaine de la remédiation cognitive et des assistants informatiques à la mémorisation.

Mots clefs : Compensation, mémoire, approche des niveaux de traitement, difficulté de la tâche, modélisation néo-connexionniste, MINERVA 2.

ABSTRACT

The work presented here deals with *memory compensation*. This phenomenon refers to the reduction of memory difficulties using cognitive aids. Our investigations aimed to specify the nature of the cognitive processes involved in memory compensation, using both experiments and simulations. The study was mainly based on the Bäckman and Dixon's model of compensation, the levels-of-processing memory framework, and the global-matching memory model MINERVA 2. Concerning compensation, the results demonstrate the importance of an adequacy between the subject and task characteristics, and also underline the crucial role of the interactions between the memory aids to compensate difficulties. From the whole of the experiments and simulations, a model of memory compensation is proposed within the levels-of-processing framework. Finally, the perspectives of our work are indicated in the fields of cognitive remediation and computer memory assistants.

Keywords : Compensation, memory, levels-of-processing framework, task difficulty, global-matching models, MINERVA 2.