

Université de Montréal

Activité cardiovasculaire, réactions émotionnelles et performance à l'épreuve de Stroop. Analyse de la dynamique non linéaire et de la complexité de la résolution du conflit attentionnel.

par

Patrice Renaud

Département de Psychologie

Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiae Doctor (Ph.D.) en psychologie
option psychophysiologie-ergonomie

Août, 1997

© Patrice Renaud



BF
22
U54
1998
V.014

Université de Montréal

Les travaux de recherche réalisés en vue de l'obtention du grade de
maîtrise en sciences de la santé sont présentés ci-dessous.

Thèse de

l'Université de Montréal

Faculté des sciences de la santé

Thèse présentée à la Faculté des sciences de la santé
en vue de l'obtention du grade de
maîtrise en sciences de la santé par
Monsieur [Nom] [Prénom] [Noms]

1998

Université de Montréal



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

La thèse intitulée:

Activité cardiovasculaire, réactions émotionnelles et performance
à l'épreuve de Stroop. Analyse de la dynamique non linéaire et de la
complexité de la résolution du conflit attentionnel

présentée par

Patrice Renaud

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Michael Strobel, Président-rapporteur

Jean-Pierre Blondin, Directeur de recherche

Luc Granger, Membre du jury

Simon Grondin, Examineur externe

Jacques Bélair, Représentant du Doyen

Thèse acceptée le:..... 28.04.1998

SOMMAIRE

Le sujet à la base de la présente thèse est l'étude de la dynamique attentionnelle présidant à la résolution de conflits perceptivo-cognitifs. Plus spécifiquement, le concept de dynamique cognitive est exploré par le biais des perspectives psychophysiologique et connexionniste, lesquelles perspectives ouvrent sur le rôle central des facteurs organismiques dans la gestion des processus attentionnels. La complexité et l'instabilité dynamique des processus psychophysiologiques nécessités par l'exercice de l'attention sélective sont éclairées ici par l'utilisation du paradigme connexionniste. L'activité réticulaire continue des réseaux neuronaux suscités par l'attention sélective, telle qu'indicée par des paramètres systémiques de complexité et d'instabilité dynamique, est considérée comme ressource attentionnelle adaptative. Il est postulé ici que la résolution de conflits attentionnels, de même que la pression temporelle exercée en cours de résolution, entraînent une diminution de l'instabilité dynamique et de la complexité des processus psychophysiologiques suscités. L'activité perceptivo-cognitive de sélection d'information conflictuelle est par ailleurs supposée requérir une plus grande complexité de traitement. Il est de plus avancé que les états affectifs dysphoriques agissent tels des réducteurs à la fois de complexité et d'instabilité dynamique des processus psychophysiologiques.

Des mesures de performance et d'activité cardiovasculaire, auxquelles s'ajoutent des mesures psychométriques d'états affectifs, sont utilisées afin de cerner l'état organismique et la capacité des sujets à résoudre des conflits attentionnels. La technique d'analyse de la transaction entre la vitesse et la précision de la réponse est requise pour comparer les stratégies de gestion à

travers différents degrés de conflits attentionnels. Des simulations numériques opérées à l'aide de réseaux de neurones formels sont également appliquées afin de mesurer les paramètres reflétant la complexité et la dynamique non linéaire des processus psychophysiologiques.

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que les processus attentionnels au centre de la résolution de conflits perceptivo-cognitifs sont de nature continue et que leur régime varie suivant la profondeur du conflit suscité. Il est également possible d'avancer que l'instabilité dynamique de ces mêmes processus, telle qu'évaluée par le biais de simulations numériques connexionnistes, fluctue significativement suivant la présence ou l'absence de conflit. Ces mêmes résultats laissent également entrevoir le rôle modulateur des états affectifs au plan de la dynamique cognitivo-attentionnelle non linéaire.

La présente thèse se termine sur des considérations faisant écho au rôle prometteur des paradigmes connexionniste et de la dynamique non linéaire en psychologie de l'attention. Ces paradigmes sont également considérés comme pouvant ouvrir la voie à un décloisonnement et à un rapprochement entre les différentes disciplines et approches théoriques en psychologie.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	vii
Tableaux des moyennes	vii
Tableaux statistiques	viii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE THÉORIQUE	3
La tâche de Stroop et les conflits perceptivo-cognitifs	3
La dynamique de la résolution des conflits perceptivo-cognitifs: les facteurs organismiques et la transaction entre la vitesse et la précision (TVP)	6
<u>Les facteurs organismiques: activation énergétique et connexionnisme</u>	7
<u>L'analyse de la transaction entre la vitesse et la précision (TVP)</u>	8
<u>L'amorçage sémantique et le traitement descendant</u>	10
Les systèmes dynamiques linéaires et non linéaires	11
<u>Les caractéristiques d'un système dynamique</u>	11
<u>Les mesures d'un système dynamique non linéaire</u>	13
L'organisation des réseaux connexionnistes	15
<u>Les unités constitutives</u>	15
<u>La propagation de l'activation et l'apprentissage</u>	17
Le problème du liage perceptuel et le phénomène de Stroop	19
L'inhibition latérale des neurones et la compétition au sein des réseaux connexionnistes	22
<u>L'évolution de la complexité</u>	22

Les traitements automatiques et contrôlés de l'information	23
Le contrôle de la dynamique attentionnelle et la stabilisation de l'activité des réseaux connexionnistes	24
Dynamique chaotique et adaptabilité biologique	26
<u>L'activité cardiovasculaire</u>	27
<u>La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)</u>	27
<u>La dynamique non linéaire de l'activité cardiovasculaire</u>	28
<u>Dynamique non linéaire de la coordination motrice</u>	30
HYPOTHESES	32
1- Effets du temps de traitement imposé	33
2- Effets de la nature des traitements exigés	33
3- Effets de la transaction entre la vitesse et la précision	34
MÉTHODOLOGIE	35
L'échantillon expérimental	35
Le matériel expérimental	36
Les tâches expérimentales	37
Le déroulement de l'expérience	39
L'analyse de la dynamique non linéaire	40
Les traitements statistiques	44
ANALYSE DES RÉSULTATS	45
Vérification des hypothèses	45
<u>Mesures de la performance</u>	45
<u>Réponses absentes</u>	46
<u>Taux de réponses correctes</u>	46
<u>Taux d'erreurs de type Stroop</u>	48
<u>Temps de réaction aux réponses correctes et transaction entre la vitesse et la précision</u>	50
<u>Temps de réaction aux erreurs de type Stroop</u>	52
<u>Mesures de la dynamique non linéaire de la performance</u>	56
<u>Exposants de Lyapounov.</u>	56
<u>Dimensions de plongement.</u>	58
<u>Unités cachées.</u>	58

<u>Mesures physiologiques</u>	59
<u>Fréquence cardiaque</u>	59
<u>Variabilité de la fréquence cardiaque</u>	60
<u>Mesures de la dynamique physiologique non linéaire</u>	63
<u>Exposants de Lyapounov.</u>	63
<u>Dimensions de plongement.</u>	63
<u>Unités cachées.</u>	64
<u>Mesures d'état affectif</u>	66
<u>MAACL</u>	66
<u>MAACL-Anxiété.</u>	68
<u>MAACL-Dépression.</u>	68
<u>MAACL-Hostilité.</u>	68
<u>ASTA</u>	69
<u>Analyses complémentaires</u>	69
<u>Identification de la couleur</u>	69
<u>Résolution du conflit Stroop</u>	70
<u>Résolution du conflit Stroop avec les non-mots</u>	70
INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	72
Analyse de la transaction entre la vitesse et la précision	72
Résultats issus des simulations numériques	76
<u>Dimension de plongement</u>	76
<u>Unités cachées</u>	77
<u>Exposants de Lyapounov</u>	80
CONCLUSION	83
BIBLIOGRAPHIE	87
ANNEXE I: Questionnaires	98
ANNEXE II: Tableaux des moyennes	102

ANNEXE III: Tableaux statistiques	107
REMERCIEMENTS	126

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux des moyennes

Tableau I.	Pourcentages de réponses absentes	p. 103
Tableau II	Pourcentages de réponses correctes	p. 103
Tableau III	Pourcentages d'erreurs	p. 103
Tableau IV	Pourcentages d'erreurs Stroop	p. 103
Tableau V	Temps de réaction moyens aux réponses correctes (ms)	p. 104
Tableau VI	Temps de réaction aux erreurs de type Stroop (ms)	p. 104
Tableau VII	Exposants de Lyapounov moyens des temps de réaction	p. 104
Tableau VIII	Nombres moyens de dimensions de plongement aux temps de réaction	p. 104
Tableau IX	Nombres moyens d'unités cachées aux temps de réaction	p. 105
Tableau X	Fréquence cardiaque moyenne (battements par minute)	p. 105
Tableau XI	Variabilité de la fréquence cardiaque (écart type de la fréquence cardiaque)	p. 105
Tableau XII	Exposants de Lyapounov moyens à la fréquence cardiaque	p. 105
Tableau XIII	Nombres moyens de dimensions de plongement à la fréquence cardiaque	p. 106
Tableau XIV	Nombres moyens d'unités cachées à la fréquence cardiaque	p. 106
Tableau XV	Scores moyens au MAACL	p. 106
Tableau XVI	Scores moyens à l'ASTA	p. 106

Tableaux statistiques

<p>Tableau XVII</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les réponses absentes, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Analyses multivariées</p> <p style="padding-left: 40px;">*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)</p>	p. 108
<p>Tableau XVIII</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les réponses correctes, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Analyses multivariées</p> <p style="padding-left: 40px;">*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)</p>	p. 109
<p>Tableau XIX</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les erreurs de type Stroop, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Analyses multivariées</p> <p style="padding-left: 40px;">*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)</p>	p. 110
<p>Tableau XX</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les temps de réaction aux réponses correctes, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Analyses multivariées</p> <p style="padding-left: 40px;">*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)</p>	p. 111
<p>Tableau XXI</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les temps de réaction aux erreurs de type Stroop, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Analyses multivariées</p> <p style="padding-left: 40px;">*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)</p>	p. 113
<p>Tableau XXII</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse de la variance des exposants de Lyapounov des temps de réaction, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Tests univariés (d.l.: 1, 20)</p>	p. 114
<p>Tableau XXIII</p> <p style="padding-left: 20px;">Analyse de la variance des dimensions de plongement des temps de réaction, en fonction des facteurs Stroop et Signal</p> <p style="padding-left: 40px;">*Tests univariés (d.l.: 1, 20)</p>	p. 115

Tableau XXIV	p. 116
Analyse de la variance des unités cachées des temps de réaction, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Tests univariés (d.l.: 1, 20)	
Tableau XXV	p. 117
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Analyses multivariées	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)	
Tableau XXVI	p. 118
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert de la variabilité de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Analyses multivariées	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)	
Tableau XXVII	p. 119
Analyse de la variance des exposants de Lyapounov de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Tests univariés (d.l.: 1, 20)	
Tableau XXVIII	p. 120
Analyse de la variance des dimensions de plongement de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Tests univariés (d.l.: 1, 20)	
Tableau XXIX	p. 121
Analyse de la variance des unités cachées de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal	
*Tests univariés (d.l.: 1, 20)	
Tableau XXX	p. 122
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'anxiété du MAACL, en fonction du facteur Stroop	
*Analyse multivariée	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)	
Tableau XXXI	p. 123
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores de dépression du MAACL, en fonction du facteur Stroop	
*Analyse multivariée	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)	

Tableau XXXII	p. 124
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'hostilité du MAACL, en fonction du facteur Stroop	
*Analyse multivariée	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)	

Tableau XXXIII	p. 125
Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'anxiété de l'ASTA, en fonction du facteur Stroop	
*Analyse multivariée	
*Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)	

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Pourcentage de réponses correctes en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 47
Figure 2	Pourcentage d'erreurs Stroop en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 49
Figure 3	Temps de réaction aux réponses correctes en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 51
Figure 4	Transaction entre la vitesse et la précision en fonction du type d'information traitée	p. 54
Figure 5	Temps de réaction aux erreurs Stroop en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 55
Figure 6	Exposants de Lyapounov des temps de réaction en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 57
Figure 7	Fréquence cardiaque moyenne en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 61
Figure 8	Variabilité de la période cardiaque en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 62
Figure 9	Nombre moyen d'unités cachées dans le réseau de la dynamique cardiaque en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants	p. 65
Figure 10	Anxiété, dépression et hostilité (Scores au MAACL) en fonction du type d'information traitée	p. 67

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AS: Anxiété situationnelle

DP: Dimension de plongement

EL: Exposant de Lyapounov

FC: Fréquence cardiaque

IC: Condition expérimentale « Identification de la couleur »

NB: Niveau de base

NBAS: Niveau de base de l'anxiété situationnelle

STR: Condition expérimentale « Stroop »

STRNM: Condition expérimentale « Stroop avec non-mots »

TA: Trait d'anxiété

TR: Temps de réaction

TVP: Transaction entre la vitesse et la précision

UC: Unités cachées

La présente thèse vise à analyser la dynamique attentionnelle et cognitive nécessaire à la résolution de conflits perceptivo-cognitifs. La tâche de Stroop est utilisée à cette fin (Stroop Color-Word Interference Test; Stroop, 1935). Cette tâche, qui consiste à nommer le plus rapidement possible la couleur dans laquelle un mot désignant une couleur autre est écrit, permet l'étude des processus d'attention sélective. Le concept de dynamique est invoqué puisque de fait il existe un rapport de force entre les dimensions perceptuelles des stimuli Stroop lors de leur traitement, et que ce rapport de force est ici étudié dans son déploiement temporel. Essentiellement, deux techniques sont utilisées dans le cadre de la présente étude, celle de la transaction entre la vitesse et la précision et celle de la dynamique non linéaire. Ces deux techniques permettent de dépasser l'examen des états finaux résultant du traitement de l'information en ouvrant une fenêtre sur le processus même, en en dégageant les paramètres dynamiques. Ces paramètres expriment comment le flux du traitement varie suivant le cours du temps. Les régimes ainsi dégagés servent à comprendre les conditions d'émergence des outputs comportementaux habituellement analysés, à savoir les temps de réaction et les taux d'erreurs commises lors de l'exécution d'une tâche.

Une perspective à la fois psychophysologique et connexionniste est adoptée afin de saisir comment l'organisme humain gère la résolution des conflits attentionnels. Cette perspective met l'accent sur les facteurs organismiques, c'est-à-dire les états affectifs et l'activité cardiovasculaire, ainsi que sur la compréhension de l'instabilité dynamique des réseaux de neurones formels. Cette instabilité dynamique est ici considérée comme indice de la plasticité attentionnelle et de ses variations. L'utilisation de simulations numériques, desquelles sont tirés les paramètres exprimant cette instabilité ainsi que la complexité des processus à l'étude, donne la possibilité de quantifier la dynamique cognitivo-attentionnelle, aux niveaux comportemental et physiologique. Ces simulations sont opérées à partir de réseaux de neurones formels, lesquels exécutent des régressions non linéaires sur les vecteurs de données issues des mesures comportementales et cardiovasculaires. Les paramètres en question sont également mis

en relation avec les mesures classiques de performance et d'activité cardiovasculaire, ainsi qu'avec les états affectifs associés aux différents traitements de l'information à l'étude.

CONTEXTE THÉORIQUE

La tâche de Stroop et les conflits perceptivo-cognitifs

Les stimuli utilisés dans la tâche de Stroop ont la propriété de créer une interférence cognitive chez les sujets devant nommer la couleur dans laquelle un mot-stimulus désignant une couleur autre est écrit (Dyer, 1973; Jensen et Rohwer, 1966; MacLeod, 1991; Stroop, 1935). Un nombre plus grand d'erreurs est observé lorsque cette tâche est accomplie avec des stimuli Stroop à contenu interférentiel qu'avec des stimuli de contrôle, généralement une série de "X" de la même couleur que les stimuli de la condition expérimentale. Traditionnellement, la tâche de Stroop est administrée par le biais de cartes où sont présentés les stimuli mentionnés; les sujets ont pour tâche d'identifier le plus rapidement possible la couleur de stimuli se trouvant sur une carte ou encore de lire des mots correspondant aux mêmes couleurs. La performance est généralement évaluée en calculant le temps mis pour lire une carte.

Hochman (1967) rapporte cependant qu'en faisant varier le temps alloué au traitement d'une carte, le nombre d'erreurs varie. En effet, plus le temps de présentation des stimuli est court, plus le nombre d'erreurs est élevé. Par ailleurs, lorsque les stimuli de la tâche de Stroop sont présentés individuellement, à l'aide d'un tachistoscope par exemple, le temps de latence des réponses est plus long lors de la présentation de stimuli à contenu interférentiel que lors de la présentation de stimuli de contrôle (Dalrymple-Alford et Budayr, 1966; Sichel et Chandler, 1969).

MacLeod (1991) relève principalement trois interprétations théoriques du phénomène de Stroop, à savoir l'hypothèse de la compétition de la réponse ou de la vitesse relative de

traitement, celle de l'automatisme et finalement celle du traitement parallèle et distribué du conflit Stroop.

Suivant la première hypothèse, le temps mis pour répondre aux stimuli conflictuels repose sur la compétition entre la lecture du mot et l'identification de sa couleur. Comme la lecture se fait plus rapidement que l'identification de la couleur et qu'il est demandé d'effectuer la seconde opération, une "course" pour le contrôle moteur final a lieu (Dunbar et MacLeod, 1984; Dyer, 1973; Morton, 1969; Treisman, 1969). Le modèle en question postule que les deux dimensions du stimulus sont traitées simultanément à des vitesses différentes, qu'il existe une capacité limitée de traitement au niveau moteur et que la vitesse de traitement détermine la priorité du traitement.

La deuxième hypothèse, celle de l'automatisme, repose sur l'idée que le traitement d'une des deux dimensions du stimulus requiert plus d'attention que le traitement de l'autre dimension. Suivant le modèle théorique sous-jacent, le traitement de l'information se conçoit ou bien comme étant automatique, c'est-à-dire ne requérant aucun effort et pouvant s'effectuer simultanément à d'autres processus, ou bien comme étant contrôlé, c'est-à-dire nécessitant une importante concentration de l'attention forçant un traitement sériel de l'information (Logan, 1978; Shiffrin et Schneider, 1977; Schneider et Shiffrin, 1977). La plupart des tenants de cette hypothèse supposent une dichotomie claire entre ces deux types de processus; les tenants d'une approche continue de l'automatisme, quant à eux, postulent un continuum où des gradients unissent contrôle et automatisme (Kahneman et Chajczyk, 1983). Selon ces derniers, aucun traitement de l'information n'est à l'abri du contrôle attentionnel et l'automatisation se développe par le biais de l'apprentissage et de la répétition.

L'activation de processus automatiques au sein du réseau sémantique s'étend librement au fil des associations que ce dernier recèle et ce n'est qu'avec l'intervention de l'attention, et

donc des processus contrôlés, qu'il est possible de limiter la prolifération des associations. L'hypothèse de l'automatisme permet de répondre des phénomènes d'amorçage où des stimuli liés sémantiquement peuvent servir à accentuer des conflits de type Stroop en suscitant une préparation du réseau sémantique au traitement de la dimension dominante du stimulus.

Finalement, l'hypothèse du traitement parallèle et distribué du conflit Stroop se démarque des deux autres interprétations théoriques en évacuant l'idée de capacité limitée de traitement et en remplaçant la dichotomie automatisme-contrôle ainsi que son corollaire, la vitesse de traitement, par l'idée de la force des connexions unissant les unités d'un réseau (Cohen *et al.*, 1990; Cohen et Servan-Schreiber, 1992; MacLeod, 1991). Le gradient d'automatisme est déterminé par la valeur des poids synaptiques unissant les unités qui sont de type neuronal. En effet, cette conception se fonde sur une métaphore neuronale où sont interconnectées des unités simples ayant la possibilité de s'exciter ou de s'inhiber mutuellement selon une série de règles précises (Rumelhart et McClelland, 1986; Rumelhart, 1989). Dans cette conception, si deux circuits sont activés simultanément et produisent des activations conflictuelles à leur intersection, des interférences en résultent. L'attention est ici conçue non pas comme un élément extrinsèque du système possédant une ressource ou une capacité particulière disponible en quantité limitée mais comme l'effet de circuits intégrés au système de traitement de l'information participant à l'ensemble de la dynamique de résolution des conflits. Les réponses produites par ce type d'architecture de connexions apparaissent lorsque le seuil de déclenchement des unités de sortie est atteint. Il est possible de concevoir dans ce contexte l'effet modulateur de l'attention comme facteur de variation de la dynamique globale du réseau.

Le texte qui suit explore les possibilités de cette dernière hypothèse à travers diverses formes d'opérationnalisations du concept de dynamique telles qu'elles s'appliquent à la résolution de conflits perceptivo-cognitifs. L'analyse de la transaction entre la vitesse et la précision d'exécution permet tout d'abord d'examiner de plus près le concept d'automatisme tel

qu'il concourt à la dynamique globale du système de traitement de l'information. Le concept de dynamique comme tel est par la suite examiné en détail afin de dégager les composantes spécifiques d'un système dit dynamique et de distinguer les systèmes dynamiques linéaires des systèmes dynamiques non linéaires. Des mesures spécifiques de non-linéarité et de complexité sont examinées également dans cette section et ce, afin de caractériser la dynamique des réseaux connexionnistes. Ces derniers sont décrits à la section suivante en passant en revue les composantes ainsi que les règles régissant leur activation, leur inhibition et leur apprentissage. La section suivante analyse le problème de l'intégration des caractéristiques perceptuelles au sein d'un même objet perceptuel. Ce problème, aussi appelé problème du liage (*binding problem*), est central dans le phénomène de Stroop dans la mesure où la ségrégation des dimensions du stimulus conflictuel répond des mêmes interrogations. Le problème du liage est ici considéré dans une optique connexionniste; une réponse est tentée à la section qui suit par le biais des concepts d'inhibition latérale et de compétition neuronale, lesquels expliquent la stabilisation de la dynamique réseautique dans des états satisfaisants. Finalement, les notions d'instabilité dynamique et d'adaptabilité biologique sont liées en des termes psychophysiologiques à travers les mesures de l'activité du muscle cardiaque et de la coordination motrice propre à la résolution de conflits perceptivo-cognitifs.

La dynamique de la résolution des conflits perceptivo-cognitifs: les facteurs organismiques et la transaction entre la vitesse et la précision (TVP)

L'organisation des processus de traitement de l'information est traditionnellement considérée sous l'angle de la cognition. Cette dernière est généralement associée à la mise en branle de règles logiques servant l'analyse et la catégorisation de l'information parvenant au système de traitement. La présente section présente une vision du traitement de l'information se

fondant sur les besoins de l'organisme ainsi que sur les stratégies de gestion dynamique de la cognition. Ces considérations ouvrent la voie à une analyse de la dynamique non linéaire des processus cognitifs.

Les facteurs organismiques: activation énergétique et connexionisme

Sanders (1983) ainsi que d'autres chercheurs (Derryberry, 1988; Hockey, 1984; Hockey et Hamilton, 1983; Hancock, 1987a, 1987b) estiment qu'aux différents états organismiques correspondent différents patterns cognitifs. Ce postulat est lourd de conséquences puisqu'il signifie que pour un même processus cognitif les procédures algorithmiques ne seront pas les mêmes suivant l'état de tension psychophysiologique de l'organisme.

Il semble en effet que conation et cognition soient liées de façon si intime que les aspects intensifs de l'attention en conditionnent les aspects sélectifs (Kahneman, 1973). Les différentes métaphores énergétiques faisant reposer les capacités attentionnelles sur des ressources disponibles en quantité limitée ont mis l'accent sur cette interrelation, tantôt en postulant un traitement de nature sérielle (Broadbent, 1971, 1982; Sanders, 1983; Wickens, 1980, 1984), tantôt en postulant un possible traitement parallèle des informations attentionnelles (Schneider et Shiffrin, 1977). Malgré les difficultés logiques engendrées par la possibilité d'ajouter *a posteriori* de nouvelles ressources attentionnelles au système de traitement de l'information (Allport, 1989; Navon, 1984), il faut répondre de la réorganisation dynamique du système attentionnel sous l'effet de pressions environnementales ou de variations au sein de la hiérarchie motivationnelle de l'organisme (Levine et Leven, 1992). Le concept d'activation (Duffy, 1962), autrefois beaucoup utilisé, cède maintenant le pas à des notions référant toujours à la dimension énergétique du traitement de l'information mais dans une perspective différente. En effet, les variations énergétiques créées par la réorganisation dynamique des systèmes attentionnels sont

maintenant considérées sous l'angle du connexionnisme. La fonction d'activation propre aux systèmes de traitement de l'information parallèle et distribué traduit en cela la plasticité neuronale rendant possible l'adaptation des organismes (Rumelhart, 1989; Rumelhart et McClelland, 1986). La diffusion réticulaire de l'énergie électrique propre aux influx neuronaux se plie aux impératifs dictés simultanément par l'environnement et l'état de l'organisme (Allport, 1989; Levine et Leven, 1995). De cette dynamique énergétique neuronale émergent les capacités dites cognitives et les outputs moteurs qui en sont tributaires. Postuler de multiples ressources de traitement dans cette perspective devient inutile, une seule ressource énergétique existe: celle propre à l'énergie électrique diffusée dans le système nerveux en réponse aux aléas du métabolisme de ce dernier. Il importe ici d'identifier les variations du régime propre à cette diffusion énergétique et de les mettre en relation avec leurs émergences comportementales.

L'analyse de la transaction entre la vitesse et la précision (TVP)

Les processus cognitifs sont généralement inférés à partir de performances à différentes tâches demandant une série d'opérations mentales sur certaines informations. Les mesures prises sont généralement des temps de réaction (TR) et quelques fois des taux d'erreurs. Les temps de réaction nous renseignent quant à la durée du traitement, et les taux d'erreurs, quant à la qualité de la performance. Ces deux paramètres fondamentaux de la performance entretiennent cependant des relations dynamiques entre eux. Ces relations nous informent sur les liens stratégiques unissant la durée des opérations propres à un traitement donné à la capacité de produire un output répondant à un critère donné. La transaction entre ces deux paramètres est en somme un indice du type de stratégie utilisée par le système afin d'optimiser son rendement par rapport aux ressources disponibles à un moment donné et par rapport aux opérations nécessitées par le traitement. Cette transaction répond des contingences environnementales imposées au système ainsi qu'à l'état interne du système (Hockey, 1984, Hockey et Hamilton, 1983).

Meyer et ses collègues (1988) ont élaboré une méthode de décomposition de la vitesse et de la précision basée sur différentes études de la transaction vitesse-précision (TVP; Fitts, 1966; Pachella, 1974; Wickelgren, 1977). Cette méthode repose sur l'utilisation de signaux précipitant la réponse et envoyés au sujet à différents moments, le forçant ainsi à répondre malgré un traitement qui peut ne pas être exhaustif. Ces réponses précipitées permettent de considérer l'état d'un output partiel renseignant sur les modifications apportées au traitement suivant le type d'information traitée ou encore suivant l'état organismique du sujet. En effet, suivant le type de tâche demandée au sujet, la pression temporelle exercée sur le système de traitement de l'information fera apparaître des résultats spécifiques faisant écho à des dynamiques propres à ces contraintes. Les courbes de TVP expriment ces variations particulières engendrées par le traitement d'information distinct, à l'intérieur de contraintes temporelles définies.

Suivant Coles et ses collaborateurs (1995), l'analyse des outputs partiels révèle en outre la forme de la distribution des TR, laquelle forme permet de spécifier les effets particuliers des traitements expérimentaux sur les systèmes cognitifs à l'étude. La nature de la dynamique de transmission des informations peut ainsi s'analyser et laisser apparaître les mécanismes gérant la compétition entre les représentations pour le contrôle moteur de la réponse.

Le découpage que rend possible la technique de TVP permet de générer des courbes qui sont le reflet des fonctions unissant la vitesse d'exécution et la précision de la réponse. Or, ces courbes sont caractérisées par différents paramètres et, entre autres choses, par leur point d'inflexion. Le point d'inflexion d'une courbe représente le moment spécifique où cette dernière passe de concave à convexe ou encore le moment où la fonction qui la génère passe de croissante à décroissante (Seeley, 1990). Le point d'inflexion d'une courbe correspond à la valeur zéro de la deuxième dérivée de la fonction. La signification psychologique du point d'inflexion dans une courbe de TVP fait référence à un changement de stratégie dans la gestion des ressources attentionnelles. Plus tôt le point d'inflexion apparaît sur la courbe, moins l'effort

attentionnel déployé est important: la performance atteint alors plus rapidement une asymptote horizontale par rapport au temps alloué. En effet, le plus tôt le point d'inflexion apparaît sur la courbe, le plus rapidement la performance atteindra une asymptote horizontale par rapport au temps alloué au traitement. Or, cette asymptote horizontale correspond à la stabilisation de la performance aux alentours d'un optimum. En d'autres termes, dans une tâche facile requérant peu d'effort, l'obligation de répondre le plus rapidement possible se traduira par une croissance rapide de la précision en fonction du temps utilisé, alors que pour une tâche plus difficile l'augmentation de l'efficacité sera plus lente.

L'amorçage sémantique et le traitement descendant

Kounios et ses collègues (1987), dans le contexte d'une étude portant sur la vérification de phrases ambiguës, ont utilisé le paradigme de TVP; la décomposition des TR ainsi obtenue a permis d'observer des outputs partiels renseignant sur l'accumulation progressive d'information au sein du système de traitement. Cette information semble s'accumuler continûment à un taux dont l'amplitude dépend du degré de relation entre les catégories sémantiques impliquées. Le degré de relation est lui même tributaire des structures mnémoniques suscitées par les stimuli utilisés. Dans le cadre de l'étude faite par Kounios et ses collègues (1987), il est question des relations entre les éléments lexicaux composant des phrases; pour ce qui est des stimuli Stroop, ce sont les relations entre les dimensions mêmes du stimulus dont il est question, soit la couleur dans laquelle apparaît le mot-cible et la signification à laquelle il réfère (Stroop, 1935; MacLeod, 1991).

Stone et Van Orden (1993) ont observé, à la suite d'autres auteurs (Andrews, 1982; McQuade, 1981), que des mots sans signification, et dont la forme ressemble à celle de mots ayant une signification reconnue, affectent la reconnaissance lexicale. Ces non-mots suscitent

des réseaux de traitement dont la sémantique appartient aux mots leur étant apparentés, sans toutefois mener à une signification précise. Les non-mots semblent ainsi préparer de façon descendante (*top-down*) des circuits de traitements appartenant à des mots reconnus et favorisent de cette manière des TR inférieurs et une précision supérieure à ceux obtenus sans leur utilisation. L'extraction de l'information, suivant les processus perceptuels ascendants, est modulée par l'amorçage sémantique des non-mots (Banquet et al., 1992).

Les systèmes dynamiques linéaires et non linéaires

En termes philosophiques, la dynamique se définit par l'étude du devenir tel qu'il est déterminé par le jeu de forces multiples (Lalande, 1988). Ce jeu peut être à la fois coopératif et compétitif. La conception dynamique se distingue de la conception statique par un examen des changements d'états dans le temps. La conception statique se penche essentiellement sur l'examen des caractéristiques définitionnelles propres à un état donné alors que la dynamique s'intéresse aux fluctuations temporelles des valeurs propres à ces caractéristiques.

Les caractéristiques d'un système dynamique

Un système dynamique, tel que défini en mathématique et en physique, est caractérisé par diverses composantes. Tout d'abord, un système dynamique est balisé par un ensemble de variables d'état (X) et par une loi ou fonction dynamique (F) qui gouverne le changement de valeurs des variables d'état (Beer, 1995; Stewart, 1994). L'ensemble de toutes les valeurs possibles de ces variables d'état s'appelle l'espace des phases. Cet espace des phases est un espace géométrique à N dimensions à l'intérieur duquel se déplace la trajectoire caractérisant le

flux dynamique du système. Cette trajectoire est en fait la séquence des états générés par la fonction dynamique. La trajectoire évolue dans la topologie des états possibles sous l'influence d'attracteurs, lesquels sont des ensembles de points invariants générés par la fonction dynamique. En conséquence, lorsqu'une trajectoire passe aux abords d'un attracteur elle converge vers ce dernier. La zone frontalière délimitant un attracteur est appelé bassin d'attraction. Le bassin d'attraction constitue l'espace d'influence d'un attracteur donné (Bergé et Dubois, 1992).

Il existe principalement quatre types d'attracteurs (Barton, 1994; Stewart, 1994). Tout d'abord l'attracteur stable qui consiste en un seul point d'équilibre et qui correspond de façon abstraite à un état "arrêté". L'attracteur périodique, en second lieu, présente lui aussi une certaine stabilité mais dans la cyclicité, c'est-à-dire dans le retour des mêmes valeurs de variables d'état. Puis, troisièmement, les attracteurs quasi-périodiques qui présentent eux aussi une stabilité mais non dans le retour de valeurs exactement égales des variables d'état mais dans l'exploration quasi-aléatoire de champs de valeurs bien balisés. Au plan topologique, les trajectoires sous l'influence de tels attracteurs explorent des espaces toroïdaux (en forme de cylindre bouclé sur lui même) à l'intérieur desquels le chemin exact emprunté est difficilement prévisible. En dernier lieu, les attracteurs chaotiques ou attracteurs étranges (Ruelle, 1991), lesquels présentent des trajectoires extrêmement labiles, difficilement discernables des influences purement aléatoires, démontrent une dépendance sensible aux conditions initiales du système dynamique. Cette sensibilité implique qu'advenant une différence infinitésimale dans les valeurs initiales traitées par la fonction dynamique, les trajectoires résultantes divergeront de façon marquée, au point de faire émerger des topologies résolument distinctes dans l'espace des phases. Difficilement discernables donc d'une activité purement aléatoire, ces processus chaotiques sont néanmoins bien déterministes parce que dictés par une fonction dynamique belle et bien déterministe.

Les mesures d'un système dynamique non linéaire

Les différents attracteurs sus-mentionnés donnent lieu à des dynamiques présentant différents degrés de complexité. Le concept de complexité s'opérationnalise par le nombre de dimensions de plongement (DP; Eckmann, 1992) recouvrant un système dynamique particulier. Le nombre de DP d'un système dynamique donné correspond à son nombre de degrés de liberté et circonscrit ainsi l'espace des possibilités propres à un système dynamique donné. Un plus grand nombre de DP suppose une plus grande complexité.

Les attracteurs chaotiques et subchaotiques répondent d'une dynamique non linéaire, en démarcation des dynamiques linéaires où les forces en présence s'annulent dans une progression monotone (Barton, 1994; Jordan, 1986). Les dynamiques linéaires répondent de logiques additives où le système d'équations est intégrable alors que les systèmes dynamiques non linéaires sont beaucoup plus difficiles à résoudre; l'évolution temporelle desdits systèmes est incertaine et comprend des bifurcations rendant leur intégration mal aisée, sinon impossible (Guillen, 1992). La compréhension de la logique non linéaire suppose de dépasser les conceptions physiques newtonienne et einsteinienne, et de comprendre l'évolution des systèmes dynamiques dans une perspective où la flèche du temps n'est pas symétrique (Hawking, 1991; Prigogine, 1994). En fait, cette conception dynamique ouvre sur la notion d'irréversibilité dans l'évolution des systèmes dissipatifs, c'est-à-dire dans l'évolution des systèmes thermodynamiques dont la déperdition énergétique fait croître la complexité structurale et peut éventuellement mener à l'auto-organisation, telle qu'on la connaît chez les organismes vivants (Prigogine, 1996; Varela et al., 1993).

Ordre et désordre sont donc nécessaires à l'émergence de structures complexes (Prigogine, 1994, 1996). L'instabilité dynamique propre à cette émergence, et qui suppose un

un système loin de l'équilibre thermodynamique, peut se quantifier par le biais des exposants de Lyapounov (EL; Abraham, 1995; Abraham et Gilgen, 1995; Brown, 1995; Dalmedico et al., 1992; Eckmann et Ruelle, 1992; Ellner et al., 1992; Robertson et Combs, 1995). Les EL, qui viennent des travaux du mathématicien russe du même nom (A.-M. Lyapounov), renseignent essentiellement sur la séparation de trajectoires au sein de systèmes dynamiques. Les EL constituent une mesure du taux de divergence exponentielle entre deux vecteurs eux-mêmes issus d'un même système dynamique où les conditions initiales ne varient que de façon infinitésimale. La sensibilité aux conditions initiales, le sceau du chaos déterministe, est ainsi opérationnalisée par une mesure où des EL aux valeurs négatives représentent un système stable, capable d'absorber les perturbations exogènes sans engendrer de changements structuraux majeurs. Des EL aux valeurs positives, par contre, représentent un système instable, un système amplifiant le bruit incident suivant un taux exponentiel, de telle façon que les trajectoires divergent radicalement dans l'espace des phases.

Ces mesures de complexité et d'instabilité dynamique permettent de qualifier un processus dynamique se déroulant dans le temps. L'analyse de la dynamique présidant à la résolution du conflit Stroop peut s'effectuer selon le calcul des DP et des EL caractérisant les TR et la fréquence cardiaque (FC) associés à la performance. Les vecteurs de TR et de FC retrouvés dans les conditions conflictuelles et non conflictuelles devraient démontrer des propriétés dynamiques propres au régime attentionnel qu'ils traduisent. Le calcul de ces mesures suppose d'opérer une régression non linéaire sur les vecteurs en question. Comme nous le verrons plus loin, ce type particulier de régression demande une flexibilité de calcul que peut offrir les réseaux de neurones formels (Barron, 1991; Gallant et White, 1991).

L'organisation des réseaux connexionnistes

Suivant les modèles connexionnistes du traitement de l'information, les opérations mentales concernent des éléments subsymboliques traités en parallèle dans un réseau d'unités simples. Le terme « subsymbolique » fait ici référence au fait que les unités du réseau sont activées par les dimensions caractérisant ou constituant le symbole. Globalement, à travers la distribution d'activation à différentes unités, le réseau laisse émerger une représentation. Cette représentation ne dépend pas d'une catégorisation exhaustive classique où des éléments définitionnels sont appariés avec les caractéristiques perçues de l'objet. Ce type de traitement de l'information permet notamment de traiter des exemplaires atypiques sans avoir à utiliser des règles d'exception. Ce type de traitement de l'information, en fait, n'utilise pas de règles logiques déterministes propres aux modèles symbolistes classiques. Il utilise des contraintes souples permettant la compétition entre plusieurs "candidats" sans avoir à recourir à des règles d'arbitrage *ad hoc* des conflits. Entre autres propriétés, ce type d'architecture cognitive permet ce qu'on appelle la dégradation gracieuse (*graceful degradation*); la surcharge informationnelle, des patterns d'input inusités ou encore la rupture de certains liens au sein du réseau d'unités de traitement n'occasionneront pas l'effondrement du système, contrairement aux systèmes de traitement de l'information classiques (Hinton et Shallice, 1991). Cette plasticité quasi-neuronale est la caractéristique fondamentale des systèmes connexionnistes (Bechtel et Abrahamsen, 1993; Rumelhart, 1989; Rumelhart et McClelland, 1986).

Les unités constitutives

L'ensemble d'unités constitutives du réseau de connexions se subdivise essentiellement en trois catégories, les unités d'entrée, les unités de sortie et les unités cachées. Les unités

d'entrée sont celles composant l'interface entre le réseau et l'environnement, ce sont elles qui reçoivent, sous forme de vecteurs, les stimuli auxquels l'ensemble de la structure réticulaire sera sensible. En fait, chaque pattern donné en input au réseau, chaque occurrence environnementale, est considéré comme un vecteur présenté à la matrice des interconnexions (Rumelhart, 1989; Rumelhart et McClelland, 1986). Au plan purement théorique, il est pratique de considérer ces différents vecteurs dans une perspective orthogonale, c'est-à-dire linéairement indépendants les uns des autres. Cependant, dans les faits, la plupart des caractéristiques perceptuelles provenant d'un environnement donné, et traitées par le réseau de connexions, sont interdépendantes les unes des autres et donc existent dans un rapport non linéaire où leur émergence phénoménologique est tributaire de ces interrelations. Nous reviendrons un peu plus loin sur ces questions lorsque sera abordé le problème du liage.

En bout de ligne, les unités de sortie, à travers leur configuration d'ensemble, forment en émergence la réponse de la totalité du réseau au stimulus reçu par les unités d'entrée. Ces deux premiers types d'unités sont dits visibles parce qu'à la périphérie du réseau, en amont et en aval. Il existe cependant une troisième catégorie d'unités, celles dites cachées et qui ne sont pas visibles de l'extérieur du réseau. Ces dernières unités, elles aussi formées en couches horizontales, ne reçoivent pas directement d'activation de l'environnement. Elles sont plutôt affectées, tant dans leur organisation intrinsèque que dans leur arrangement interconnecté, par la propagation d'activation provenant de la couche d'unités d'entrée. Les unités cachées (UC) sont nécessaires quand les structures des patterns d'input et d'output sont très différentes (Cohen et al., 1990; Cohen et Servan-Schreiber, 1990; Rumelhart, 1989). Les UC servent donc à opérer des processus plus complexes où il est nécessaire de séparer des dimensions particulières d'un stimulus, lesquelles dimensions se superposent. Les UC dans ce contexte servent à créer des représentations internes de ces dimensions et ce afin de contrôler plus finement la réponse du système. Cette réponse est fonction d'objectifs visant la disjonction de ces dimensions superposées.

Le problème logique de la disjonction exclusive (Bechtel et Abrahamsen, 1993; Rumelhart, 1989), ainsi que l'ambiguïté sémantique propre à la relation existant entre les dimensions picturales et lexicales des stimuli Stroop représentent bien ce rôle particulier des UC dans la séparation de dimensions conflictuelles (Cohen et al., 1990; Cohen et Servan-Schreiber, 1992).

La propagation de l'activation et l'apprentissage

La propagation de l'activation dans le réseau d'interconnexions est dictée par une règle d'activation (ou règle de transmission; Rumelhart, 1989; Rumelhart et McClelland, 1986). Cette règle opère sous forme de fonction qui, à travers une pondération des inputs reçus par une unité donnée, et suivant l'état initial de cette même unité, déclenche ou non la transmission d'activation à partir de l'unité, et ce vers d'autres unités réceptrices. Le déploiement de l'activation se fait donc au gré de la configuration réseautique qui elle-même relève à la fois de l'état des différents neurones formels ainsi que de leur interconnectivité, qu'elle soit activatrice ou inhibitrice.

La règle d'activation est une fonction à seuil émulant le registre dynamique des neurones réels en tant qu'ils sont des systèmes physiques ayant un taux critique de saturation, une limite de stimulation ouvrant sur le déclenchement et la propagation de l'influx nerveux. Ladite fonction peut être linéaire, quasi-linéaire ou encore, comme dans le cas des fonctions sigmoïdes, non linéaire (Jordan, 1986).

Pour le connexionnisme, la représentation est une entité dynamique qui évolue et fluctue au gré des aléas contextuels et des variations endogènes propres à l'organisme (Allport, 1989). L'activation et l'inhibition des unités interconnectées favorisent l'émergence d'un pattern aux

contours flous, pattern lui-même en liens avec d'autres patterns; la proximité conceptuelle des représentations repose ici sur la similitude topologique des patterns émergeant dans l'espace des états représentationnels.

Hopfield (1982, 1986) a décrit la dynamique représentationnelle connexionniste comme étant fonction de minima énergétiques. Ces minima énergétiques sont en fait la résultante de la relaxation topologique du réseau suite à la propagation de l'activation énergétique dans le champ des contraintes inhérentes à une configuration neuronale donnée. Les minima énergétiques sont assimilables aux bassins d'attraction précédemment décrits comme étant les zones d'influence d'attracteurs particuliers. L'espace des états représentationnels est, de fait, balisé par le pouvoir de ces attracteurs qui sont en fait des pôles mnémoniques infléchissant la trajectoire du flux dynamique suivant les caractéristiques perceptuelles reçues de l'environnement.

Outre une architecture particulière et une règle d'activation, les systèmes connexionnistes possèdent également une règle d'apprentissage leur permettant de modifier la valeur des poids synaptiques pondérant les connexions interneuronales. En fait, c'est dans la valeur de ces poids, et à travers leur arrangement particulier, que réside la représentation du monde extérieur; modifier les poids synaptiques revient à modifier la représentation, ou à ajouter des nuances dans la représentation du monde. L'apprentissage consiste donc à renforcer les liens interneuronaux permettant la reconnaissance des formes extérieures visées par le processus et à diminuer simultanément les liens n'y concourant pas. La règle d'apprentissage de Hebb (1949) stipule en effet que si une unité U_i (ou neurone) reçoit un input d'une autre unité U_j alors, si les deux unités sont hautement actives, le poids synaptique W_{ij} unissant U_i et U_j devrait être renforcé. La règle de Hebb est appliquée aux réseaux de neurones artificiels à travers un mécanisme de rétroaction d'erreurs, supervisé ou non de l'extérieur par l'expérimentateur (Bégin et Proulx, 1996; Rumelhart, 1989; Zornetzer *et al.*, 1990).

Le problème du liage perceptuel et le phénomène de Stroop

Le problème du liage concerne la question suivante: Comment peut-on représenter ce qui est lié au plan perceptuel, ou encore, comment peut-on intégrer ou lier ensemble les sous-ensembles appropriés de caractéristiques perceptuelles qui, dans leur globalité, constituent l'objet perceptuel, et ce, sans créer des conjonctions inappropriées ou illusoirs entre ces mêmes caractéristiques perceptuelles (Allport, 1989; Damasio, 1989; Hummel et Biederman, 1992)? Les réponses au problème du liage se trouvent fort probablement du côté de l'analyse temporelle de la dynamique du codage distribué de l'information, telle que retrouvée dans les modèles connexionnistes de l'attention (Hummel et Biederman, 1992; Thorpe, 1994).

Le problème du liage est au coeur du phénomène de Stroop (Allport, 1989). En effet, ce qui intrigue dans les performances typiques retrouvées à la tâche de Stroop, tant dans le temps mis pour répondre aux stimuli que dans la nature des réponses retrouvées, c'est la difficulté de faire fi d'une des deux caractéristiques du stimulus (la dimension lexicale) qui, dans sa contiguité à l'autre (la dimension picturale), en vient à interférer avec les processus attentionnels et volitionnels. Cette difficulté à distinguer les deux dimensions du stimulus de Stroop met en lumière, par la négative, la capacité cérébrale de lier les différentes caractéristiques formant un objet perceptuel. Suivant Changeux (1992), "l'attention, dans ce contexte, devient un renforcement auto-entretenu qui restreint le champ des possibles". Les fragments de représentations sont dans les faits unifiés ou segmentés sous le primat du cortex préfrontal; Roland (1982, 1985), grâce à l'examen des variations hémodynamiques du métabolisme cérébral, a pu associer à cette zone du cerveau la préparation attentionnelle requise par les tâches de type Stroop. Damasio (1989) qualifie le cortex préfrontal, dans ce contexte, de zone de convergence permettant la synthèse des différents fragments représentationnels. Les zones frontales et préfrontales forment avec d'autres régions du cerveau, notamment les régions sous-

corticales dont les projections ascendantes transigent par les noyaux thalamiques, un réseau complexe permettant le traitement du stimulus de Stroop et la ségrégation des dimensions auxquelles il est demandé de répondre (Siéoff, 1994). Ce réseau permet l'émergence ponctuelle de représentations guidant les réponses motrices. La zone préfrontale est, dans ce réseau, celle responsable de la préparation à extraire la dimension picturale du stimulus, notamment en inhibant la dimension lexicale dominante.

Hoffman (1987) propose en ce sens une explication pathophysiologique des symptômes positifs de la schizophrénie reposant sur l'utilisation de simulations faites à l'aide de réseaux neuronaux artificiels; selon lui, une masse neuronale préfrontale réduite chez les patients atteints de schizophrénie expliquerait les phénomènes hallucinatoires et le relâchement dans les chaînes associatives. De la même façon, toujours selon Hoffman, la surcharge informationnelle amènerait le réseau à se stabiliser dans des états mnémoniques inappropriés, états associés à des aberrations. Le système de traitement de l'information, dans ce contexte, ne semble donc pas se désorganiser totalement, et en cela il rejoint le principe de dégradation gracieuse (Hinton et Shallice, 1991); il semble en effet plutôt faire preuve d'un relâchement dans le contrôle attentionnel, relâchement favorisant la prépondérance des réponses dominantes dans le système de traitement de l'information. Le liage perceptuel semble donc ici demeurer, comme par défaut ou nécessité, bien que dans une forme résultante considérée inappropriée.

Ce qui précède peut en partie expliquer les résultats trouvés par Schooler et ses collègues (1997) quant aux différences existant entre les performances de sujets normaux et schizophrènes à la tâche de Stroop. Les sujets schizophrènes de cette étude ont en effet démontré une plus grande fragilité à l'effet d'interférence des stimuli conflictuels. La capacité d'inhibition de la réponse dominante semble ici déficitaire et entraîne une dynamique particulière chez ce type de sujets.

La dynamique présidant à la perception et à l'extraction des caractéristiques perceptuelles visées repose sur le jeu d'attracteurs configurant l'espace des états, lequel est en somme une abstraction des fluctuations neuronales ponctuant le réseau précédemment mentionné. On peut supposer ici que les attracteurs en question sont principalement au nombre de deux, un incarnant la préparation à répondre à la dimension picturale et l'autre la préparation à répondre à la dimension lexicale. Dans les faits, le bassin d'attraction du second attracteur exerce une force plus grande sur la dynamique de la réponse que le premier, c'est ce qui permet de rendre compte de l'effet d'interférence du stimulus de Stroop. Le rapport de force existant entre ces deux attracteurs est en quelque sorte modulé par un troisième attracteur, celui défini par l'action exercée par la zone préfrontale dans la préparation attentionnelle à sélectionner l'information pertinente. Les fluctuations propres à la force d'attraction de ce dernier attracteur sont responsables des variations observées au niveau de la performance telle qu'indiquée par le temps mis à répondre aux stimuli ainsi que par le taux de réponses exactes retrouvés. Ces fluctuations sont à mettre également en relation avec les variations du tonus attentionnel telles que modulées par l'activité des structures sous-corticales, notamment la formation réticulée et le *locus coeruleus*. Les projections neuronales partant de ces régions ont un *fan-out* important, c'est-à-dire des ramifications se prolongeant en inputs affectant l'ensemble des structures sus-jacentes et notamment la région préfrontale responsable de la ségrégation des caractéristiques du stimulus de Stroop (Derryberry et Tucker, 1990; Levine et al., 1992; Rumelhart, 1989). L'impact des dimensions conatives et affectives sur l'attention est important dans la mesure où il module l'activité des interconnexions des circuits sus-jacents, lesquels sont plus spécifiques au plan de la sélection et de l'inhibition de l'information pouvant guider la réponse motrice (Allport, 1989; Milner, 1996; Prueitt, 1995; Levine et al., 1992; Taylor, 1994; Wright et Liley, 1996).

L'inhibition latérale des neurones et la compétition au sein des réseaux connexionnistes

L'attention en tant que mécanisme de coordination du traitement de l'information relève, pour ce qui est de son origine, des changements qu'a connu le système nerveux au cours de son évolution. Un des mécanismes centraux issus de cette évolution et ayant permis un fonctionnement nerveux optimal est l'inhibition latérale des neurones.

L'évolution de la complexité

L'évolution biologique des espèces a entraîné une croissance constante de la complexité de l'appareil nerveux dans le règne animal (Eccles, 1992, 1993; Waldrop, 1992). Au fil des mutations biologiques et des sélections environnementales successives, le système nerveux s'est différencié au sein du phylum spécifique à l'humain tout en intégrant les caractéristiques des espèces nous ayant précédé dans l'histoire évolutive (Edelman, 1987; MacLean, 1970). L'intrication progressive du réseau de connexions nerveuses semble avoir simultanément poussé à l'émergence de structures neuroanatomiques à même de moduler une dynamique neuronale toujours plus instable (Eccles, 1992, 1993; Wright et Liley, 1996). L'apparition des lobes frontaux et de leur capacité inhibitrice supérieure est tributaire de cette nécessité croissante de gérer une dynamique nerveuse toujours plus plastique mais également toujours plus fluctuante (Smith, 1992). Les travaux de J.H. Jackson sur la dissolution du système nerveux rendent bien compte de cette intégration anatomo-fonctionnelle progressive et de sa gradation corollaire en complexité (Seron, 1994; Jackson, 1884). L'évolution du cerveau, dans cette perspective, suppose un passage du plus automatique au plus volontaire.

Les traitements automatiques et contrôlés de l'information

La dichotomie entre processus attentionnels automatiques et contrôlés, telle que mise de l'avant par Schneider et Shiffrin (1977) ainsi que par Posner (1978), distingue les différents traitements de l'information sur la base de l'utilisation d'une capacité attentionnelle disponible en quantité limitée. Le contrôle dans cette perspective est assimilable à une ressource unitaire attribuable à différents types de processus mentaux; la sélectivité attentionnelle et les effets d'interférence observés face à divers distracteurs sont causés par la compétition visant l'accaparement de cette ressource limitée de contrôle (Schneider et Shiffrin, 1977; Shiffrin et Schneider, 1977). Les processus dits contrôlés sont conçus ici comme des consommateurs importants d'énergie, des processus opérant sériellement et requérant un effort attentionnel important. D'autre part, les processus qualifiés d'automatiques peuvent opérer concurremment, c'est-à-dire sans limitation au plan des capacités, et également sans générer d'interférences.

Ryan (1983) a sévèrement critiqué ce modèle dichotomique en démontrant que plusieurs processus considérés contrôlés pouvaient être effectués en parallèle et ce sans interférence. Certaines opérations mentales exigent effectivement un plus grand effort attentionnel que d'autres et sont plus sujettes à interférence lorsqu'elles sont cumulées ou effectuées dans un cadre temporel serré; cependant, on ne peut parler d'une réelle dichotomie tranchant radicalement entre des processus purement sériels et contrôlés, et des processus strictement parallèles et automatisés.

Le contrôle de la dynamique attentionnelle et la stabilisation de l'activité
des réseaux connexionnistes

A travers une série de simulations informatiques de performances à des tâches attentionnelles, Cohen et ses collaborateurs (1990, 1992) avancent qu'il faut plutôt considérer l'automatisme comme un phénomène continu. Les propriétés de l'automatisme dépendent essentiellement, dans ce cadre connexionniste, des forces relatives des processus en compétition. Ces forces sont elles-mêmes le reflet de l'importance des poids synaptiques unissant les neurones formant le réseau traitant les vecteurs-stimuli se distribuant sur les couches d'entrée. Cette compétition neuronale entre les différents circuits impliqués se traduit, au plan phénoménologique, par un effort attentionnel plus ou moins grand investi dans une tâche donnée.

Les différents modèles de la compétition neuronale que l'on retrouve dans le sillage des recherches connexionnistes ont tous des caractéristiques communes, ils ne sont pas supervisés dans leur processus d'apprentissage, ils simulent la propriété neuronale de l'inhibition latérale et leurs réseaux convergent vers la stabilité (Commons et al., 1991; Grossberg, 1982a, 1982b, 1982c, 1987; Kohonen, 1984; Prueitt et al., 1995; Rumelhart et Zisper, 1986). La non supervision de l'apprentissage signifie que ces systèmes s'auto-organisent, qu'ils modifient d'eux-mêmes, par une procédure de rétroaction de l'erreur, la valeur de leurs poids synaptiques. Cette modification dynamique de la valeur des poids synaptiques se fait à travers la diffusion de l'activation dans le réseau des connexions excitatrices et inhibitrices, et ce dans le but de magnifier l'importance de certains aspects de l'environnement perçu. Cette magnification perceptuelle est apprise et mise en action à travers l'attention du système de traitement de l'information, et ce principalement grâce à l'inhibition latérale des unités neuronales.

La ségrégation des différentes dimensions d'un stimulus, cette sélection de l'information propre au problème du liage, peut s'expliquer à la lumière de la magnification perceptuelle résultant de l'inhibition latérale des unités neuronales (Prueitt *et al.*, 1995; Levine et Levin, 1995). Le phénomène d'inhibition latérale est intimement lié à celui de champ récepteur, c'est-à-dire d'espace de captation des stimulations où se produit la ségrégation de l'information pertinente à la réponse motrice (Levine et Levin, 1995). Ce sont les unités neuronales contenues dans ce champ récepteur qui, de par leurs interconnexions, s'inhibent mutuellement. En fait, à l'intérieur d'un certain périmètre défini par la courbe de sensibilité des unités neuronales, les unités s'excitent mutuellement alors qu'au-delà de ce même périmètre l'activité interneuronale devient inhibitrice. En même temps, chaque unité est connectée sur elle-même en rétroaction positive. Le processus dynamique global fait émerger, à travers rétroactions positives et négatives, les unités les plus fortes, celles qui auront en quelque sorte drainé le plus de poids synaptiques.

Cette compétition entre les unités neuronales, ponctuée par l'inhibition latérale, concourt à l'atteinte de la stabilité par le réseau. Cette stabilité correspond à la convergence des différentes unités vers des valeurs formant au plan topologique des minima énergétiques associés à des représentations guidant la réponse motrice (Hopfield, 1982, 1986; Prueitt *et al.*, 1995). Il apparaît donc qu'une compétition accrue au sein d'un réseau d'unités participe d'une dynamique convergeant vers des états stables (Hogg et Huberman, 1991). Cette stabilité est elle-même quantifiable, dans le contexte connexionniste, par la mesure des exposants de Lyapounov, lesquels sont associés à la convergence du réseau vers un état donné (McFadden, 1995).

L'attention, conçue comme mécanisme de sélection de l'information par excitation et inhibition d'unités de traitement, apparaît dans ce contexte comme un processus généralisé visant à articuler les motivations de l'organisme avec les contraintes de son environnement tout en prévenant le chaos neuronal et, par extension, le chaos comportemental (Anderson et

Spellman, 1995; Milner, 1996; Vandervert, 1988, 1990; Wright et Liley, 1996).

Dynamique chaotique et adaptabilité biologique

L'ajout du concept de chaos à l'étude de la dynamique écologique permet une compréhension mécaniste complète des phénomènes biologiques collectifs fluctuants (Goerner, 1995; May, 1991). Le simple fait de sortir des ornières de la géométrie euclidienne et de la notion limitative d'un temps symétrique ouvre sur la possibilité d'expliquer la croissance instable de certaines populations ou encore la dynamique épidémiologique de certaines pathologies (Drepper et al., 1994; Haynes, 1992; Prigogine, 1994, 1996). L'adaptabilité biologique des systèmes auto-organisés repose sur cette plasticité comportementale qui, jusqu'à tout récemment, échappait à l'analyse parce que cette dernière s'étayait essentiellement sur une logique linéaire ne dépeignant qu'une portion infime des états possibles de la nature (Mainzer, 1994; Varela, 1993). La géométrie fractale, cette géométrie aux dimensions non-finies, décrit l'intrication des réseaux adaptés, des neurones aux écosystèmes, en passant par celle des organes constitués (Mandelbrot, 1977; Stewart, 1994; Vandervert, 1988, 1990; Wright et Liley, 1996). Ces différents systèmes réticulaires oscillent suivant des patterns traduisant une instabilité fondamentale, fondamentale parce qu'étant la source même de l'adaptabilité. La fluidité comportementale se jauge donc en tant qu'elle représente une marge de manoeuvre cruciale à la survie des organismes.

Par ailleurs, il est évident qu'une instabilité dynamique extrême est source de dislocation, qu'un chaos généralisé d'où aucune structure ne peut émerger et durer, est non adaptatif et pathogène (Glass et Mackey, 1988; Pool, 1989; Reidbord et Redington, 1992). Cependant, un système sans plasticité non linéaire aucune est littéralement un système d'où toute vie est exclue;

le biologique suppose nécessairement une dose importante de chaos, même si ce dernier doit être tempéré afin de parvenir à des états particuliers où le respect de contraintes s'impose.

L'activité cardiovasculaire

Les mesures de l'activité du muscle cardiaque reflètent l'importance de l'effort demandé à l'organisme suivant le contexte dans lequel il se trouve. Aux mesures classiques de la fréquence cardiaque (FC) et de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) s'ajoutent également certaines mesures issues des modèles de la dynamique non linéaire. Les variations hémodynamiques ainsi indicées lors de l'exécution de la tâche de Stroop renseignent sur l'effort attentionnel nécessité par la résolution de conflits perceptivo-cognitifs (Renaud et Blondin, 1997).

La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)

La VFC est considérée par plusieurs comme une mesure sensible de l'effort attentionnel tel qu'exprimé dans des situations de surcharge informationnelle. (Kalsbeek, 1967, voir Mulder et Mulder, 1981, Luczak, 1979, Mulder et Mulder, 1981, Mulder et Mulder-Hajonides van der Meulen, 1972, Wierwille, 1979). La VFC se distingue de la FC en ce qu'elle reflète la variabilité de la période séparant deux pics R du complexe cardiaque QRS (Vander et al., 1985). Le complexe QRS représente l'onde cardiaque typique, laquelle onde varie régulièrement en fonction de la dépolarisation ventriculaire du muscle cardiaque. La VFC est associée à la régulation des fonctions métaboliques de l'organisme et notamment à la modulation respiratoire. Dans le cas de la modulation respiratoire, l'inspiration est liée à une augmentation de la FC et l'expiration à une diminution. Ce lien respiratoire phasique avec la FC semble être modulé par des changements de contrôle parasympathique (Mulder et Mulder, 1981). Ces accélérations et

ces décélérations de la FC affectent directement la VFC qui, elle aussi, est donc modulée par l'activité parasympathique de l'organisme.

Deux facteurs ont plus spécialement retenu l'attention des chercheurs dans l'établissement d'un lien entre effort attentionnel et VFC: le taux d'arrivée de l'information et la complexité du traitement à effectuer, notamment la compatibilité de la réponse. En ce qui concerne le premier facteur, une baisse significative de la VFC a été observée suivant l'augmentation du taux signal/unité de temps (Blitz, Hoogstraten et Mulder, 1970, voir Mulder et Mulder, 1981, Mulder et Mulder-Hajonides van der Meulen, 1972, Luzcak, 1979). Le deuxième facteur fait indirectement référence au degré d'automatisation des opérations mentales exigées par une tâche. En regard de cela, Mulder et Mulder (1981) remarquent que l'oscillation de l'intervalle cardiaque, c'est-à-dire la variation de temps séparant deux pics R, est plus petite lorsque l'organisme fonctionne de façon prépondérante en mode attentionnel contrôlé plutôt qu'en mode attentionnel automatisé.

La dynamique non linéaire de l'activité cardiovasculaire

La FC d'une personne jeune et en santé est plus complexe que celle d'une personne plus âgée (Bassingtwaighte et al., 1994). En fait la réduction en complexité de la FC concomitante au vieillissement peut être considérée comme un signe avant-coureur d'arythmie cardiaque, laquelle peut être fatale (Kaplan et al., 1991). Il semble que cette baisse de la complexité cardiaque rende le muscle dans son ensemble plus fragile, moins à même d'absorber adéquatement les stress extérieurs.

Le système cardiovasculaire, comme tout système biologique, est un système ouvert, un système dissipatif en échange constant avec son environnement (Bassingtwaighte et al., 1994; Sabelli et al., 1995 a, b). L'environnement est ici conçu autant dans une perspective restreinte

(interaction avec les autres systèmes physiologiques) que dans une perspective élargie (interaction de l'organisme complet avec le monde extérieur telle que reflétée par l'activité métabolique du muscle cardiaque). L'état affectif (ou émotionnel), qui peut se comprendre comme un pattern d'action comportementale préparant l'organisme (De Sousa, 1987; Lazarus et Folkman, 1984) et qui rend compte de l'évaluation organismique d'une situation donnée, est considéré en lien étroit avec la dynamique cardiaque (Sabelli et al., 1995 a, b; Redington et Reidbord, 1992; Reidbord et Redington, 1992).

Redington et son collègue Reidbord (Redington et Reidbord, 1992; Reidbord et Redington, 1992 a, b) ont observé en cours de psychothérapies d'orientation psychodynamique différents types d'attracteurs caractérisant l'activité cardiovasculaire des patients en cure. Il ressort de cette typologie qu'un continuum allant du plus stable au plus instable, au plan de la dynamique des attracteurs, soit à mettre en relation avec l'état affectif des patients à différents stades de la cure. En effet, aux moments où les patients abordaient des sujets conflictuels et démontraient une certaine fermeture, la trajectoire caractéristique de la FC explorait de façon plutôt prévisible un espace des phases réduit alors qu'aux moments d'ouverture, aux moments où l'alliance thérapeutique était solide, la trajectoire de la FC remplissait l'espace des phases et démontrait une labilité beaucoup plus importante. Les auteurs lient contenu psychodynamique et dynamique physiologique par le biais du concept d'attention; les patients en situation d'évitement sont dans un état affectif négatif les amenant à réduire leur champ attentionnel, la dynamique cardiovasculaire traduit alors le conflit vécu sous forme d'une moins grande plasticité adaptative; de la même façon, lorsque ces mêmes patients démontrent un engagement thérapeutique plus grand, lorsqu'ils sont moins défensifs, ils sont capables de faire des liens plus pertinents, et ce parallèlement à une dynamique cardiaque labile, corollaire d'une attention élargie.

Ces résultats, et d'autres observations (Sabelli et al., 1995 a, b), nous poussent à

considérer la dynamique cardiovasculaire comme tributaire des impacts environnementaux tels qu'ils sont modulés par l'évaluation affective faite par l'organisme. Un continuum de non linéarité physiologique apparaît lié ici à l'état affectif et aux conflits vécus.

Dynamique non linéaire de la coordination motrice

Les temps de réponses à partir desquels sont inférés les processus cognitifs dans la plupart des études en psychologie cognitive sont le produit, bien entendu, de l'activité du système nerveux central, mais également du système nerveux périphérique, puisqu'étant le fruit de réponses motrices. Les propriétés balistiques des comportements moteurs sont étudiées dans le but de comprendre la transmission de l'information (ou de l'influx nerveux) du centre à la périphérie (Jordan et Rosenbaum, 1989). L'organisation dynamique des effecteurs correspond dans les faits à la résultante de l'activité perceptivo-cognitive. Le contrôle moteur dépend de multiples paramètres dont le temps de traitement disponible ou encore la fréquence de présentation d'un stimulus auquel il est demandé de répondre (Beuter et al., 1993; Marr, 1992). Des changements quantitatifs dans ces paramètres de contrôle peuvent occasionner des changements qualitatifs au niveau des comportements moteurs émergents (England, 1995).

Les systèmes de coordination motrice sont des systèmes ouverts et oscillatoires (England, 1995; Kelso et al., 1981; Kelso et Schoner, 1988) dont les propriétés ballistiques émergentes sont en partie déterminées par la préparation opérée au niveau du système nerveux central et en partie par les variations motrices intrinsèques. Ces dernières variations sont fonction des degrés de liberté propres aux effecteurs considérés (Jordan et Rosenbaum, 1989). Pour un même segment moteur, dans des contraintes de déplacement similaires, les variations au plan de la dynamique motrice seront donc imputables à la préparation centrale du système de traitement de l'information et, par extension, à l'information prise en compte.

Une préparation motrice faite dans l'optique de la résolution d'un conflit perceptivo-cognitif de type Stroop imposera donc une coordination motrice relevant, comme on l'a vu précédemment, d'une inhibition latérale et d'une compétition neuronale importante. Cette compétition neuronale, et la préparation motrice qui en est tributaire, dans le cas où aucun conflit n'est géré, seront moins importantes. Le premier type de coordination motrice relève de fait d'une rétroaction négative visant un contrôle moteur plus serré alors que le second type de coordination est à dominance positive en terme de rétroaction et permet ainsi une dynamique comportementale plus flexible.

HYPOTHESES

En regard du contexte théorique et expérimental qui précède, les hypothèses qui suivent permettent de vérifier les effets du temps de traitement imposé ainsi que les effets de la nature des traitements exigés, et ce, sur les mesures physiologiques et de performance, statiques et dynamiques¹, ainsi que sur l'état affectif des sujets. Les effets du temps de traitement sont vérifiés par l'imposition de délais temporels précédant l'émission des réponses, délais fixés respectivement à 400ms, 500ms, 600ms et 700ms. Les effets du type d'information traitée, par ailleurs, sont vérifiés par l'utilisation de stimuli variant dans le niveau de conflit perceptivo-cognitif qu'ils supposent. Sont ici utilisés 1) des stimuli de contrôle servant à l'identification de couleur (une série de "X" de couleur; IC) , 2) des stimuli Stroop classiques (des mots de couleur désignant une couleur autre; STR) et 3) des stimuli Stroop classiques où se retrouvent des non-mots (une suite de lettres sans signification et ressemblant aux mots utilisés dans la condition Stroop; STRNM), lesquels augmentent le niveau du conflit perceptivo-cognitif.

Des hypothèses sont également formulées quant à la forme de la courbe traduisant la relation transactionnelle entre la vitesse et la précision d'exécution (TVP) en fonction du type d'information traitée. Le point d'inflexion caractérisant chacune des courbes de TVP, soit la deuxième dérivée de la fonction décrivant la courbe, est ici considéré comme point de comparaison.

Les mesures dynamiques (EL, DP, UC) ne sont comparées que suivant les extrêmes des conditions vérifiant l'effet du temps de traitement imposé, soit à des temps de traitement de 400ms et 700ms. Ces mêmes mesures sont également restreintes aux stimuli IC et STR, lesquels

¹Mesures tirées de simulations numériques et renseignant sur la dynamique non linéaire des phénomènes temporels considérés.

servent à vérifier l'effet de la nature des traitements exigés. Ces restrictions sont expliquées au chapitre concernant la méthodologie.

Toutes les vérifications d'hypothèses sont faites suivant des comparaisons intrasujets.

Les hypothèses sont les suivantes:

1- Effets du temps de traitement imposé

Plus le temps de traitement imposé aux sujets est court, plus ceux-ci devraient démontrer une fréquence cardiaque élevée, une variabilité de la fréquence cardiaque réduite, des temps de réaction rapides et des pourcentages de réussite faibles.

Les exposants de Lyapounov, le nombre de dimensions de plongement et le nombre d'unités cachées caractérisant la dynamique des temps de réaction ainsi que la dynamique de la fréquence cardiaque devraient être plus élevés à 700ms qu'à 400ms.

2- Effets de la nature des traitements exigés

Lorsqu'ils répondent aux stimuli STRNM, les sujets devraient démontrer une fréquence cardiaque supérieure, une variabilité de la fréquence cardiaque inférieure, des temps de réaction supérieurs, des pourcentages de réussites plus faibles et un état affectif plus dysphorique que lorsqu'ils répondent aux stimuli STR. Cette même relation devrait apparaître entre les variables dépendantes des sujets lorsqu'ils répondent aux stimuli STR par rapport aux stimuli IC.

Les exposants de Lyapounov caractérisant la dynamique des temps de réaction devraient être plus élevés à la condition IC qu'à la condition STR. En revanche, le nombre de dimensions

de plongement et le nombre d'unités cachées caractéristiques de la dynamique des temps de réaction devraient être plus élevés à la condition STR qu'à la condition IC.

Les exposants de Lyapounov, le nombre de dimension de plongement et le nombre d'unités cachées propres à la dynamique de la fréquence cardiaque devraient être plus élevés dans la condition IC que dans la condition STR.

3- Effets de la transaction entre la vitesse et la précision

Le point d'inflexion de la courbe de TVP pour les stimuli STRNM devrait être plus éloigné de l'ordonnée à l'origine sur l'abscisse que celui de la courbe de TVP pour les stimuli STR, alors que la courbe de TVP pour les stimuli IC ne devrait pas comporter de point d'inflexion.

MÉTHODOLOGIE

Les aspects méthodologiques de la présente thèse sont présentés en six étapes. Tout d'abord, les caractéristiques de l'échantillon expérimental sont expliquées. Puis, le matériel et les tâches expérimentales sont successivement décrits. Le déroulement de l'expérience fait ensuite l'objet d'une description détaillée. Finalement, le rationnel sous-jacent à l'analyse de la dynamique non linéaire et aux traitements statistiques est amené en deux temps.

L'échantillon expérimental

L'échantillon expérimental est composé de 24 sujets, 13 de sexe féminin et 11 de sexe masculin. Ces sujets ont été sélectionnés sur une base volontaire et répartis de façon aléatoire dans les différents ordres de passation expérimentale. Une série de questions portant sur l'état de santé permet de vérifier que le sujet ne souffre d'aucun trouble cardiovasculaire ou encore de daltonisme.

Des 24 sujets initialement recrutés, un a dû être éliminé de l'analyse de la performance et 3 de l'analyse de la fréquence cardiaque (FC). Les données recueillies par le système informatisé furent entâchées d'artefacts majeurs. L'impact de ces artefacts fut plus critique dans le cas des simulations numériques car les vecteurs utilisés dans ce contexte ne peuvent être corrigés *a posteriori* par des procédures de calcul manuel, comme dans le cas de la FC. En raison de ces difficultés techniques d'enregistrement, l'échantillon utilisée à des fins de simulations numériques fut réduit de 3 sujets dans le cas de la performance (TR) et de 9 sujets dans le cas de la FC.

Le matériel expérimental

L'expérimentation se déroule dans un local dont les dimensions sont approximativement de 3m x 2m et dont l'aménagement empêche toute interférence sonore ou électrique. Les conditions environnementales (température, intensité lumineuse, ventilation) sont maintenues à un niveau constant tout au long de l'expérience. Le sujet est assis face à un ordinateur (PC compatible IBM, AT-386) qui contrôle le déroulement de l'expérimentation, la présentation des stimuli, l'emmagasinage ainsi que l'analyse statistique des données physiologiques et de performance à la tâche expérimentale. L'interface entre l'ordinateur et le sujet est assurée par un clavier de réponse à trois touches qui fonctionnent par impédance et qui sont déclenchées par un simple effleurement du doigt. Chacune des trois touches est associée à une des couleurs utilisée avec les stimuli visuels.

La mesure physiologique recueillie au cours de l'expérience, soit la fréquence cardiaque (FC), est prise à partir de deux électrodes de surface (Grass Ag/AgCl) installées sur la cage thoracique du sujet et d'une troisième, servant de mise à la terre, qui est installée au poignet de la main non-dominante. Le signal physiologique est acheminé vers un polygraphe Grass 79D, puis amplifié et reproduit sur un tracé polygraphique. Ce signal électrocardiographique est également détecté par un dispositif électrique (Shimizu, 1975) qui capte les pics R de l'onde cardiaque et les transmet à l'ordinateur afin que ce dernier puisse faire les calculs menant à la FC. Les données sont exprimées en battements par minute.

Les tâches expérimentales

Une version informatisée de la tâche de Stroop (Stroop Color Word Test: Stroop, 1935) sert de tâche expérimentale. Le programme assure la présentation des stimuli ainsi que le contrôle du déroulement temporel de l'expérience. Trois versions de la tâche sont utilisées: 1) une version servant à la tâche d'identification de la couleur (IC) où des "X" de couleur bleue, rouge ou verte apparaissent, 2) une version servant à la tâche de résolution de conflits Stroop (STR) où apparaissent les mots "BLEU", "ROUGE" ou "VERT" dans les couleurs bleue, rouge ou verte, sans jamais que la signification du mot ne soit en accord avec la couleur du stimulus, 3) une dernière version où apparaissent les stimuli conflictuels accompagnés de non-mots (STRNM). Ces non-mots sont des suites de lettres sans signification et ressemblant aux mots utilisés: "BLAU", "BLEA", "ROUGA", "ROUCE", "VERC" et "VECT". Les non-mots apparaissent dans les mêmes couleurs que celles précédemment mentionnées mais jamais en accord avec la signification du mot auxquels ils s'apparentent. Dans cette dernière condition le sujet a pour tâche de ne pas répondre aux non-mots tout en répondant aux autres stimuli en fonction de la couleur dans laquelle ils apparaissent, tout comme dans la condition STR. L'utilisation des non-mots force les sujets à concentrer leur attention sur la dimension lexicale du stimulus conflictuel.

La version informatisée de la tâche de Stroop assure également la gestion temporelle de l'exécution des différentes étapes nécessitées par l'expérience. La présentation de séries d'essais où se retrouve l'une ou l'autre des trois versions (IC, STR, STRNM) ainsi que le déclenchement des signaux sonores précipitant servant à forcer la réponse des sujets à 400ms, 500ms, 600ms ou 700ms après l'apparition de chaque stimulus sont commandés par le programme informatisé. A l'intérieur de chacune des trois séries, quatre blocs d'essais de cinq minutes correspondant aux quatre signaux sonores précipitants sont présentés. A chacun des blocs, en moyenne 272 essais

sont complétés. Afin de contrôler tout effet de séquence, tant la présentation des séries que celle des blocs d'essais correspondant aux signaux sonores précipitants sont contrebalancées suivant un plan en carré latin.

Face à la présentation de l'une ou l'autre des catégories d'information à traiter (IC, STR ou STRNM) le sujet doit répondre en fonction de la couleur dans laquelle apparaissent les stimuli tout en respectant le signal sonore précipitant (400, 500, 600 ou 700ms). Ce respect suppose de répondre immédiatement après l'audition du signal sonore précipitant. La séquence des événements est donc la suivante: le programme génère à l'écran le stimulus cible, puis après un laps de temps déterminé (400, 500, 600 ou 700ms) se fait entendre le signal sonore précipitant. Suite à l'apparition de ce dernier, le sujet doit le plus rapidement possible répondre en fonction de la couleur du stimulus. Une fois que le sujet a appuyé sur une des touches du clavier à impédance, le stimulus à l'écran disparaît et un nouveau apparaît. Le temps séparant la disparition d'un stimulus de l'apparition d'un autre est de 200ms. Advenant une erreur du sujet, un signal sonore d'erreur, différent du signal sonore précipitant par son timbre, se fait entendre. Si par ailleurs le sujet omet de répondre à un essai spécifique, après deux secondes le stimulus à l'écran disparaît, le signal d'erreur se fait entendre et un nouveau stimulus apparaît. Le sujet est donc tenu de répondre dans ce cadre temporel où la limite inférieure est déterminée par le signal sonore précipitant et où la limite supérieure est fixée à deux secondes. Le sujet doit répondre à chaque essai, sauf lors de l'apparition de non-mots dans la condition STRNM.

Ce train de stimuli est présenté sans arrêt à l'intérieur des quatre blocs de cinq minutes, lesquelles forment les séries propres aux trois versions de la tâche de Stroop ici utilisées. La séquence des stimuli apparaissant dans chacune des versions est déterminée par trois banques de 150 stimuli consécutifs. La suite des couleurs présentées est la même pour chacune des versions alors que la suite de significations lexicales des stimuli, elle, diffère pour chaque version.

Lors de l'exécution de ces tâches, le sujet est assis à 57 cm de l'écran, distance à laquelle le balayage visuel n'est pas nécessaire et à laquelle le sujet peut aisément lire le mot stimulus; à cette distance, l'angle visuel sous-tendu varie de 0,9 à 1,2 degré selon la longueur du mot-stimulus.

Le déroulement de l'expérience

Après avoir été accueilli au laboratoire, chaque sujet est assigné aléatoirement à un des ordres de passation déterminé par le contrebalancement de la présentation des trois versions de la tâche expérimentale ainsi que du contrebalancement de la présentation des signaux sonores précipitants, à l'intérieur de chacun des blocs.

Lorsque le sujet est assis, l'expérimentateur lui demande de remplir un formulaire de consentement quant à sa participation à l'expérience et des questions relatives à son état de santé lui sont posées. De plus, les questionnaires ASTA (Anxiété Situationnelle et Trait d'Anxiété; Bergeron, Landry et Bélanger, 1976) et une version française du MAACL (Multiple Affect Adjective Checklist; Zuckerman, 1960), concernant respectivement l'anxiété situationnelle et le trait d'anxiété, et l'état affectif général sont administrés au sujet (voir Annexe I).

Vient ensuite la pose des électrodes pour mesurer l'électrocardiogramme. Une période de repos de 10 minutes suit afin d'enregistrer le niveau de base de la mesure physiologique.

Afin de permettre au sujet de se familiariser avec la tâche, une première période de mise en train de deux minutes avec des stimuli non-conflictuels lui est allouée. Les consignes expérimentales suivantes sont alors dictées au sujet: « Vous devez répondre manuellement en

fonction de la couleur dans laquelle les mots apparaîtront à l'écran. Vous devez également répondre le plus vite possible et en faisant le moins d'erreurs possible, immédiatement après que vous aurez entendu le signal sonore ». A la condition STRNM s'ajoute la consigne suivante: «Vous ne devez pas répondre aux mots suivants: "BLAU", "BLEA", "ROUGA", "ROUCE", "VERC" et "VECT"». Puis, selon l'ordre de passation précédemment déterminé, le sujet a droit à une période de mise en train spécifique à la série qu'il amorcera ensuite. Cette période de mise en train dure une minute et s'effectue avec un signal sonore précipitant de 800ms, pour un nombre moyen d'essais par sujet égale à cinquante. Entre chacun des blocs de cinq minutes correspondant aux différents signaux sonores précipitants, le sujet bénéficie d'un temps d'arrêt d'une minute. Entre chacune des séries correspondant aux différentes versions de la tâche le sujet bénéficie d'un temps d'arrêt de cinq minutes; au cours de ce temps d'arrêt le sujet doit remplir la version AS de l'ASTA concernant l'anxiété situationnelle, ainsi que le MAACL, et ce, en fonction de son état affectif au cours de l'exécution de la série qu'il vient d'effectuer.

Les trois séries sont ainsi administrées au sujet. Une fois l'expérimentation terminée, le sujet est libéré de ses électrodes puis une explication succincte des objectifs de l'expérience lui est donnée. Une somme de cinq dollars lui est finalement remise.

L'analyse de la dynamique non linéaire

La plupart des simulations numériques utilisées en recherche repose sur un modèle logicomathématique formalisé dont toutes les composantes théoriques, c'est-à-dire les paramètres, sont explicitées *a priori*. Les outputs produits par ces simulations sont alors nécessairement tributaires du modèle théorique sous-jacent. La stratégie ici utilisée diffère quelque peu. En effet, les paramètres exprimant la dynamique non linéaire ainsi que la

complexité des processus à l'étude ne proviennent pas de simulations dont la formalisation a été effectuée *a priori*, mais bien d'une stratégie inductive s'alimentant à même les vecteurs de données expérimentales recueillies en laboratoire. Les paramètres sont ici recueillies suite aux régressions non linéaires effectuées sur les dits vecteurs; les simulations servent donc en fait à obtenir les paramètres à l'étude en comparant vecteurs issus des mesures prises en laboratoire et vecteurs issus des simulations.

Les paramètres exprimant les propriétés non linéaires de la performance, de même que ceux de l'activité cardiovasculaire des sujets, ont été obtenus par le biais de simulations numériques faites avec le programme informatisé LENNS (Ellner, Nychka et Gallant, 1992; vous pouvez consulter le programme et les instructions à l'adresse internet suivante: <http://econwpa.wustl.edu/eprints/prog/papers/9603/9603002.abs>. LENNS est conçu pour estimer les exposants de Lyapounov (EL) de systèmes non linéaires bruités, et ce, à partir de données provenant de séries temporelles. Ce programme effectue une régression non linéaire globale pour chacun des vecteurs de données issus des TR enregistrés et fait de même pour la FC. Ce calcul numérique, qui dure entre 20 et 30 heures pour chaque vecteur de données, est fait pour chacun des 24 sujets, dans les conditions expérimentales IC et STR. La condition STRNM n'est pas retenue ici parce qu'elle suppose l'utilisation de non-mots, lesquels induisent des interruptions dans la suite des valeurs retrouvées pour chaque vecteur de réponses. Seuls les vecteurs des conditions IC et STR sont donc utilisés, et ce, avec les signaux sonores précipitants à 400ms et 700ms. Pour des raisons de temps et de coûts, seuls ces deux signaux sonores précipitants sont retenus. Ces signaux sonores précipitants représentent les extrêmes des contraintes temporelles imposées aux sujets et leur utilisation spécifique permet des comparaisons pertinentes au plan des variations engendrées dans la dynamique non linéaire des TR et de la FC.

Suivant ce nouveau plan factoriel, quatre conditions sont évaluées avec deux mesures, ce

qui donne huit simulations par sujet. En tout donc 144 simulations numériques sont effectuées, ce qui représente approximativement 2880 heures de calcul numérique intensif pour obtenir les paramètres décrivant la dynamique non linéaire des systèmes physiologique et de réponse. Les données brutes sont accessibles en support informatique.

Les EL sont ici considérés comme des indices caractérisant l'instabilité dynamique propre aux systèmes de TR et de FC. En fait les EL permettent d'opérationnaliser le concept de chaos en tant que phénomène de fluctuation limitée avec sensibilité aux conditions initiales (Brown, 1995; Eckmann, 1992). L'EL quantifie le taux de divergence exponentielle entre deux trajectoires ayant des conditions initiales similaires. Le programme ici utilisé vérifie ladite sensibilité en perturbant infinitésimalement, et de façon aléatoire, des trajectoires ayant des conditions initiales similaires. Un EL négatif décrit un système dont la dynamique absorbe les perturbations tout en conservant sa structure; un tel système intégrera le bruit incident en variant peu. Par ailleurs, un EL positif (ou plus élevé relativement à un autre) décrit un système dont la dynamique agit tel un amplificateur du bruit incident; l'amplification en question cause des changements structuraux, des bifurcations dans les trajectoires du système dynamique, des changements donc qui, à la limite, rendent impossible toute prédiction quant à l'évolution subséquente du système.

Outre les EL, LENNS permet également le calcul des dimensions de plongement (DP) qui, comme il l'a été expliqué précédemment, circonscrivent la dynamique des systèmes considérés et constituent un indice de complexité. Ce dernier indice ainsi que l'EL s'obtiennent grâce à l'utilisation par LENNS d'un réseau de neurones formels. Suivant McCaffrey et ses collaborateurs (1992), pour des séries temporelles échantillonnées dans des systèmes bruités, les résultats les plus fiables dans l'estimation des fonctions non linéaires sont trouvés grâce aux réseaux neuronaux artificiels, lesquels excellent dans la reconnaissance des patterns, quels qu'ils soient (Barron, 1991; Gallant et White, 1991). Le réseau en question est constitué de trois

couches dont une couche d'unités cachées. Lors de simulations, le nombre d'unités cachées sises au sein de cette couche augmente en fonction de la complexité du calcul requis pour estimer la fonction non linéaire de laquelle sont tirés les EL et les DP.

La raison pour laquelle la régression non linéaire effectuée par le programme est si longue repose sur le fait que la matrice constituée des neurones formels doit s'adapter à chaque valeur des vecteurs qui lui sont présentés. Cette adaptation s'effectue par le biais de la réorganisation dynamique à la fois des liens unissant entre eux les neurones formels et des poids synaptiques caractérisant chacun de ces neurones. C'est en fait à travers cette reconfiguration continue que le processus mimétique de reconnaissance se produit. Vu la diversité du paysage topologique des systèmes dynamiques non linéaires, le réseau de neurones artificiels prend un temps considérable pour effectuer la reconnaissance.

Cette modélisation neuronale repose enfin sur une estimation faite par la méthode des moindres carrés non linéaires (Casdagli et Eubanks, 1992). Cette méthode permet de faire l'approximation des fonctions caractérisant les systèmes chaotiques à faibles dimensions, c'est-à-dire où coexistent structures et instabilité (Barron, 1991). Afin d'éviter l'*overfitting* avec cette procédure, c'est-à-dire de mesurer strictement le bruit contenu dans le système au lieu des effets de la rétroaction endogène non linéaire, la précision de la prédiction est quantifiée à l'aide de critères de validation. Ces critères sont obtenus en supprimant une à une les données comprises dans les vecteurs afin de faire des prédictions sur un ensemble réduit quant aux valeurs subséquentes. Les analyses statistiques qui suivent ont été faites avec les EL, les DP et les UC correspondant aux critères de validation maximisant la précision de la prédiction.

Les traitements statistiques

Trois schèmes expérimentaux sont utilisés dans le cadre de la présente thèse. Un premier schème factoriel trois par quatre comprenant le facteur Stroop (IC, STR et STRNM) et le facteur Signal (400, 500, 600 et 700ms) est utilisé en mesures répétées avec les mesures de performance classique ainsi qu'avec les mesures physiologiques. Un schème factoriel deux par deux, également en mesures répétées et comprenant les facteurs Stroop (IC et STR) et Signal (400 et 700ms), est utilisé spécifiquement pour les comparaisons statistiques avec les EL, les DP et les UC. Finalement, un schème à mesures répétées comprenant une seule variable indépendante sert à vérifier l'impact affectif qu'ont les conditions IC, STR et STRNM sur les sujets.

Les résultats qui suivent proviennent pour la plupart d'analyses de variance multivariée. Les comparaisons univariées sont faites dans le contexte d'un effet multivarié significatif; des contrastes orthogonaux, principalement de type Helmert, sont utilisés pour comparer les différents niveaux des variables indépendantes ainsi que leurs interactions. Des corrélations de Pearson sont également présentées, et ce afin d'éclairer les effets des traitements expérimentaux sur les mesures considérées. Tous ces traitements statistiques des données expérimentales se font à partir d'un seuil de signification de .05.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Vérification des hypothèses

La présentation des résultats expérimentaux se fera comme suit: d'abord, la vérification des différentes hypothèses énoncées plus tôt sera présentée en procédant par l'examen successif des variables dépendantes dans les différentes conditions explorées. Cet examen se fera par type de mesure; mesures de performance, mesures physiologiques et mesures d'état affectif. Ensuite, des analyses complémentaires à cette étude permettront de mieux comprendre les relations unissant les différentes variables ici observées et de cerner de plus près l'effet des traitements expérimentaux.

En ce qui concerne les statistiques descriptives, l'Annexe II contient les tableaux des résultats moyens obtenus dans chacune des conditions expérimentales, pour chacune des variables dépendantes (Tableaux I à XVI).

Mesures de la performance

Les mesures de performance présentées dans cette section sont d'une part des mesures classiques, soit des taux d'erreurs et de réponses correctes, des temps de réaction (TR) aux erreurs et aux réponses correctes, ainsi que le nombre de réponses absentes. Les relations dynamiques existant entre la vitesse et la précision sont aussi amenées dans l'analyse de leur transaction (TVP). D'autre part, des indices de la dynamique non linéaire de la performance, soit les exposants de Lyapounov (EL), le nombre moyen de dimension de plongement (DP) et le

nombre moyen d'unités cachées (UC), sont également présentées.

Réponses absentes

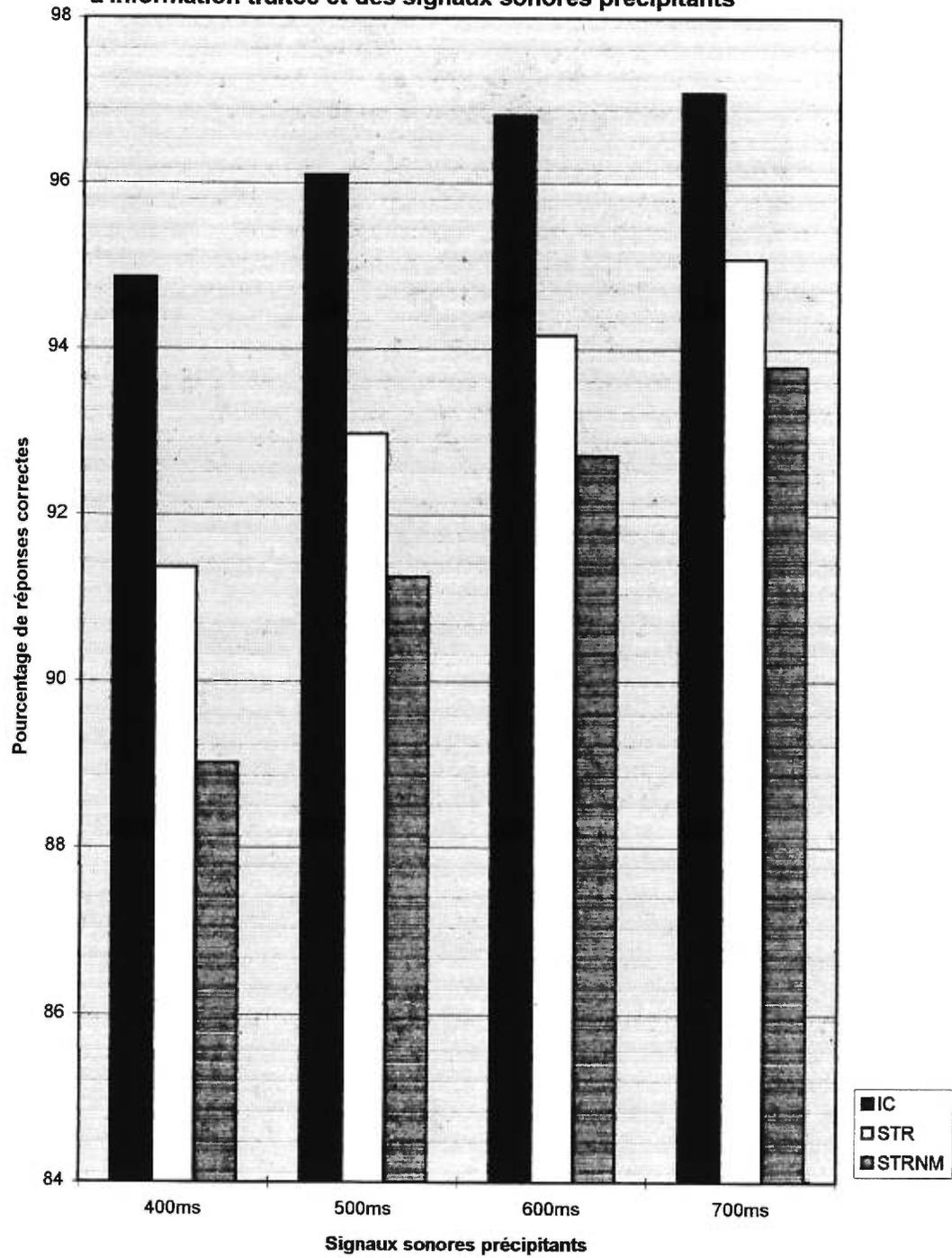
Les réponses absentes correspondent aux situations où les sujets ont omis de répondre à l'intérieur du temps maximum leur étant imparti à chacun des essais, soit deux secondes. A cet égard aucune différence significative ne fut observée entre les trois types de tâches expérimentales, non plus qu'entre les différentes vitesses de réponse imposées aux sujets. L'analyse multivariée de la variance, par ailleurs, permet de déceler un effet d'interaction significatif entre les facteurs Stroop et Signal ($F(6,17)=2,77, p < .05$), effet d'interaction que les contrastes orthogonaux ne permettent pas de détailler. Les résultats de cette analyse se retrouvent au tableau XVII de l'Annexe III.

Il est important de noter que ces omissions ne sont pas incluses dans les analyses classiques subséquentes de la performance, autant pour les temps de réaction que pour les taux de réponse. Les TR propres à ces omissions (2 secondes) demeurent cependant dans les vecteurs utilisés par le programme d'analyse de la dynamique non linéaire de la performance.

Taux de réponses correctes

L'analyse multivariée de la variance permet, au chapitre des réponses correctes (voir figure 1), de relever des différences significatives suivant le facteur Stroop ($F(2,21)=20,98, p < .001$). Les contrastes orthogonaux spécifient ces différences entre d'une part la condition IC et d'autre part les conditions STR et STRNM prises en bloc ($F(1,22)=43,63, p < .001$). Ces deux dernières conditions diffèrent également entre elles ($F(1,22)=7,58, p = .012$). Ces résultats confirment l'hypothèse 2 (voir tableau XVIII, Annexe III). L'exacerbation du conflit, espérée avec la condition STRNM, semble avoir influé sur le taux de bonnes réponses.

Fig. 1: Pourcentage de réponses correctes en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



Par ailleurs, l'analyse multivariée du facteur Signal, rapportée au tableau XVIII de l'Annexe III, décèle également des différences probantes ($F(3,20)=17,46$, $p<.001$). Les contrastes orthogonaux rapportent d'autre part que tant les passages de signal sonore précipitant de 400ms à 500ms ($F(1,22)=28,41$, $p<.001$) que ceux de 500ms à 600ms ($F(1,22)=20,32$, $p<.001$) ou de 600ms à 700ms ($F(1,22)=21,78$, $p<.001$) engendrent des augmentations significatives du taux de réponses correctes. Ces derniers résultats permettent de vérifier l'hypothèse 1.

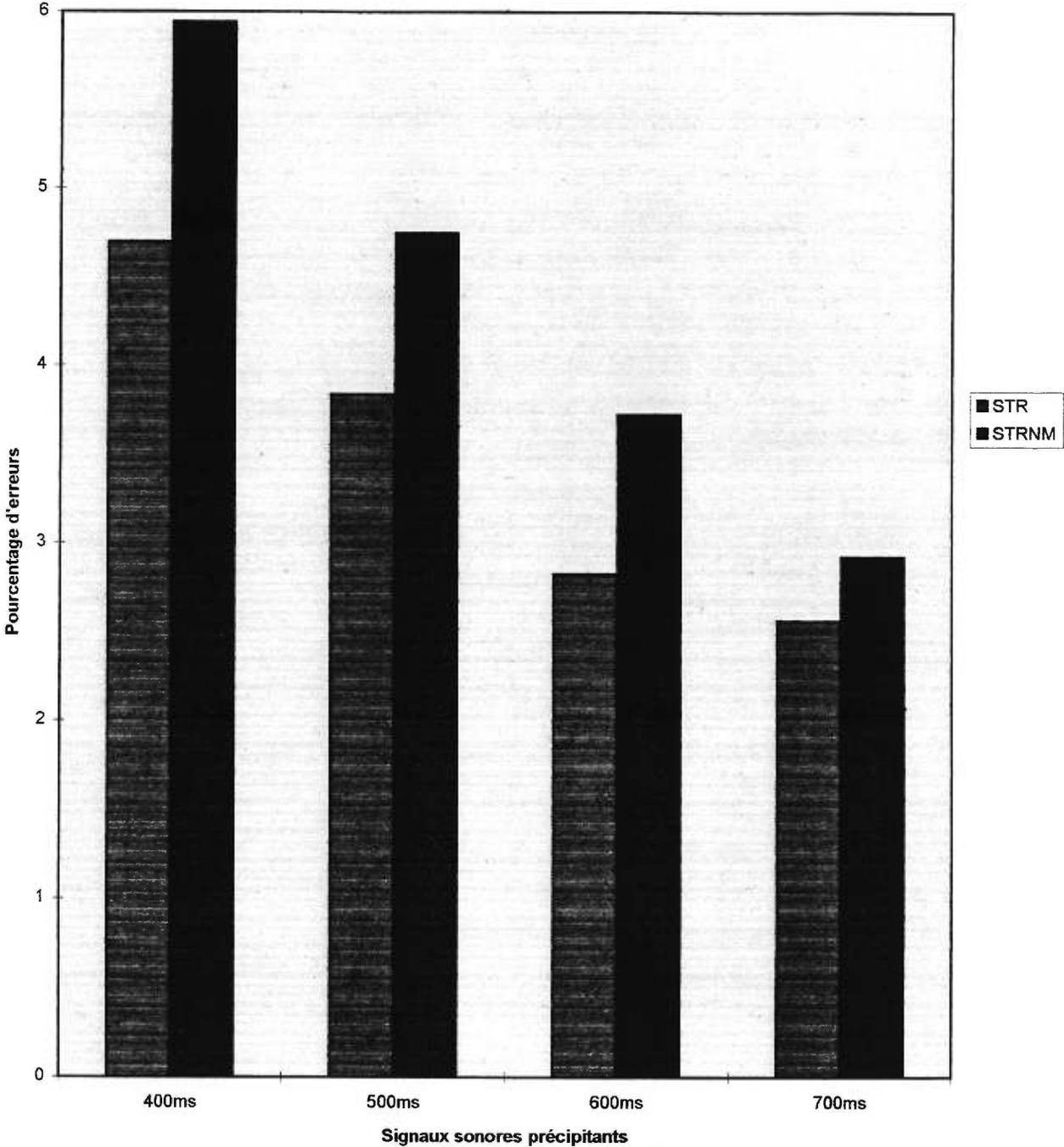
L'effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal n'est pas significatif ($F(6,17)=1,93$, $p=.134$; tableau XVIII, Annexe III) en ce qui concerne le nombre d'occasions où les sujets ont su bien identifier la couleur dans laquelle les stimuli apparaissaient. La pression temporelle ne semble pas créer d'effets différentiels suivant le niveau de conflit.

Taux d'erreurs de type Stroop

Les erreurs de type Stroop, celles commises lorsque les sujets répondent en fonction de la dimension lexicale du stimulus, ne concernent évidemment que les conditions STR et STRNM. L'analyse des erreurs commises lors de l'exécution de la condition IC s'avère être la même que celle effectuée pour les réponses correctes puisqu'ils n'existent ici que deux catégories de réponses possibles, soit l'identification correcte ou incorrecte de la couleur du stimulus.

L'analyse de variance multivariée rapportée au tableau XIX de l'Annexe III démontre un effet à la limite de la signification suivant le type d'information traitée dans les conditions STR et STRNM ($F(1,22)=3,46$, $p=.076$). Ce dernier résultat ne permet cependant pas de vérifier l'hypothèse 2 prédisant une production d'erreurs Stroop plus importante suivant l'amorçage sémantique des non-mots (voir figure 2).

Fig.2: Pourcentage d'erreurs Stroop en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



Le facteur Signal, regroupant les effets des différents signaux sonores précipitants, semble cependant influencer significativement sur le taux d'erreurs Stroop moyen ($F(3,20)=8,15$, $p=.001$). Ce dernier résultat est éclairé par des contrastes orthogonaux (tableau XIX, Annexe III) qui permettent d'affirmer que toutes les transitions de signal sonore précipitant génèrent des différences significatives au plan des erreurs de type Stroop. Ce dernier résultat confirme l'hypothèse 1, laquelle stipule une plus grande production d'erreurs en fonction d'une pression temporelle croissante.

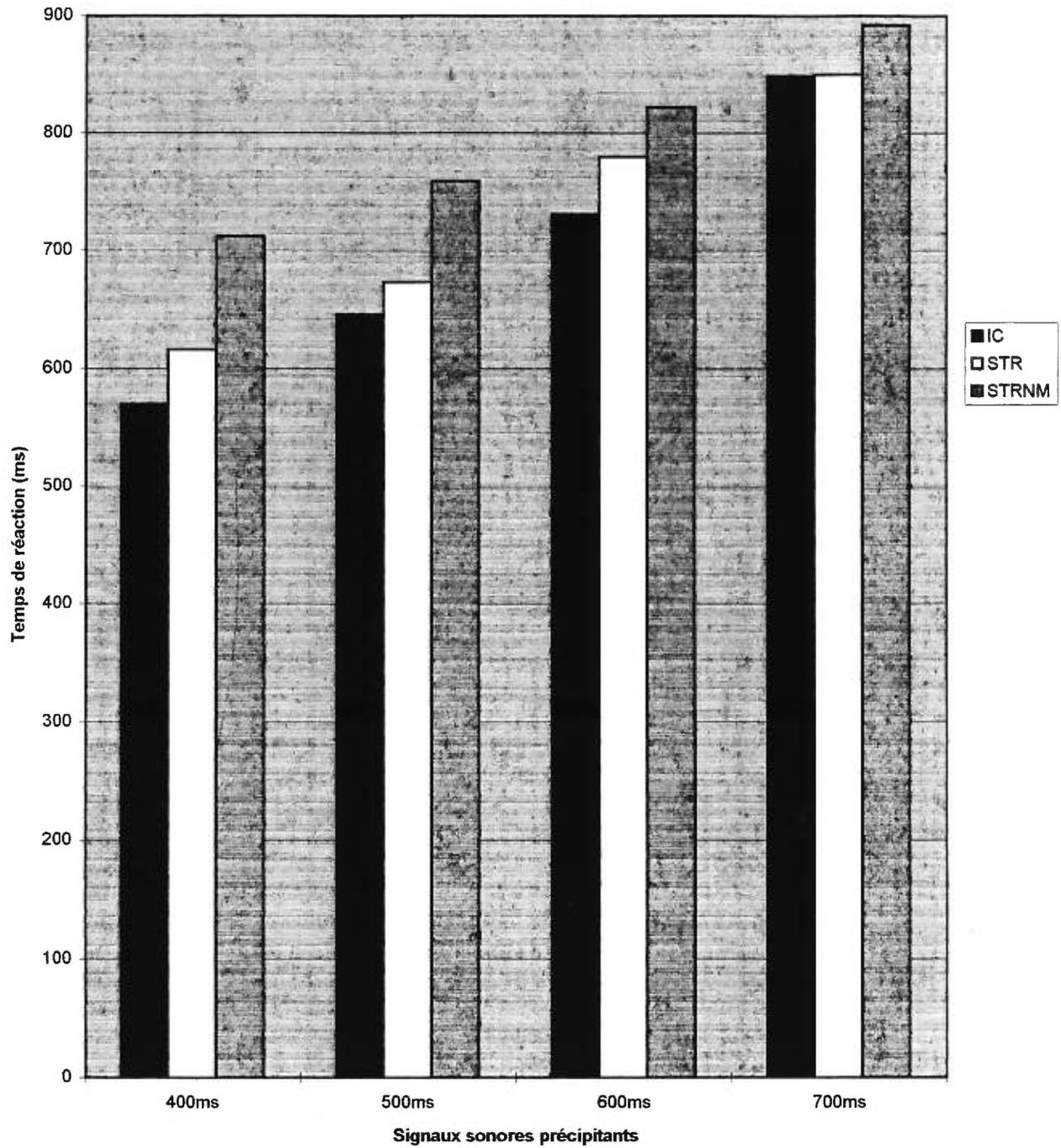
L'effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal, par ailleurs, tel que rapporté au tableau XIX de l'Annexe III, ne s'avère pas significatif.

Temps de réaction aux réponses correctes et transaction entre la vitesse et la précision

Le TR aux réponses correctes concerne le temps mis pour répondre correctement à la dimension picturale des stimuli, suivant les contraintes temporelles imposées (voir figure 3). L'analyse multivariée de la variance (tableau XX, Annexe III) révèle un effet significatif du facteur Stroop ($F(2,21)=31,77$, $p<.001$). Les contrastes orthogonaux de l'analyse univariée révèlent que cette différence s'avère vraie entre la condition IC et les conditions STR et STRNM prises globalement ($F(2,21)=51,40$, $p<.001$). Ces deux dernières conditions diffèrent aussi entre elles en ce qui concerne les TR aux réponses correctes ($F(2,21)=20,18$, $p<.001$). Ces derniers résultats vérifient effectivement l'hypothèse 2 postulant des TR plus élevés en fonction du niveau de conflit induit.

Également, l'hypothèse 1 est vérifiée par l'effet significatif du facteur Signal retrouvé à l'analyse de variance multivariée du tableau XX de l'Annexe III ($F(3,20)=89,26$, $p<.001$). En effet, selon les analyses univariées et les contrastes orthogonaux, les transitions entre les quatre signaux sonores précipitants génèrent toutes des différences significatives ($F(1,22)=142,03$,

Fig.3: Temps de réaction aux réponses correctes en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



$p < .001$; $F(1,23)=57,99$, $p < .001$; $F(1,23)=18,92$, $p < .001$) démontrant une augmentation graduelle des temps de réaction aux bonnes réponses en fonction du moment de présentation des signaux sonores précipitants.

L'effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal, postulé à l'hypothèse 3, est également retrouvé à l'analyse multivariée de la variance reproduite au tableau XX de l'Annexe III ($F(6,17)=7,60$, $p < .001$). Il appert ici que l'amorçage sémantique produit par les non-mots est potentialisé par une pression temporelle croissante, laquelle est exercée par les signaux sonores précipitants. Plus spécifiquement, les différences entre les conditions IC, STR et STRNM s'amenuisent à mesure que le signal devient plus lent. C'est à 400ms que les différences sont les plus grandes, alors qu'à 700ms les trois conditions du facteur Stroop ne diffèrent plus (voir figure 4).

La forme des courbes traduisant la transaction entre la vitesse et la précision (TVP) dans les trois conditions reliées au facteur Stroop ne correspond pas à la fonction sigmoïde attendue à l'hypothèse 3. En ce sens, l'examen des dynamiques propres à chacun des types de traitements d'information, suivant l'analyse de la TVP avec la mesure spécifique du point d'inflexion, est hypothéqué. La forme de la courbe correspondant à la condition STRNM laisse cependant croire que la pente de sa fonction est plus prononcée qu'aux deux autres conditions. De fait, des fonctions mathématiques distinctes semblent à la base des processus attentionnels sous-tendus par les trois conditions expérimentales. L'implication théorique de ces résultats sera approfondie au chapitre suivant.

Temps de réaction aux erreurs de type Stroop

Tout comme pour l'analyse des erreurs de type Stroop, l'analyse des TR associés à ces erreurs ne concerne que les conditions STR et STRNM. Pour ce qui est de l'analyse des TR

associés aux erreurs commises à la condition IC, trop peu d'erreurs ont été commises par trop peu de sujets pour satisfaire aux critères statistiques d'analyse.

Les TR aux erreurs de type Stroop (voir figure 5), suivant l'analyse de la variance rapportée au tableau XXI de l'Annexe III indique un effet significatif du facteur Stroop ($F(1,22)=10,03, p=.005$); le temps mis à commettre les erreurs est plus élevé lorsque le conflit est exacerbé par l'amorçage sémantique des non-mots. Les résultats précédents permettent de confirmer l'hypothèse 2.

Le facteur Signal engendre également des différences significatives au plan des temps de réaction aux erreurs ($F(3,16)=14,67, p<.001$); tableau XXI, Annexe III). L'analyse univariée et les contrastes orthogonaux révèlent que l'augmentation de la pression temporelle, à chacun des signaux sonores précipitants, implique une augmentation significative du temps de réaction aux erreurs Stroop.

L'effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal, selon l'analyse de variance multivariée rapportée au tableau XXI de l'Annexe III, n'est pas significatif.

Fig. 4: Transaction entre la vitesse et la précision en fonction du type d'information traitée

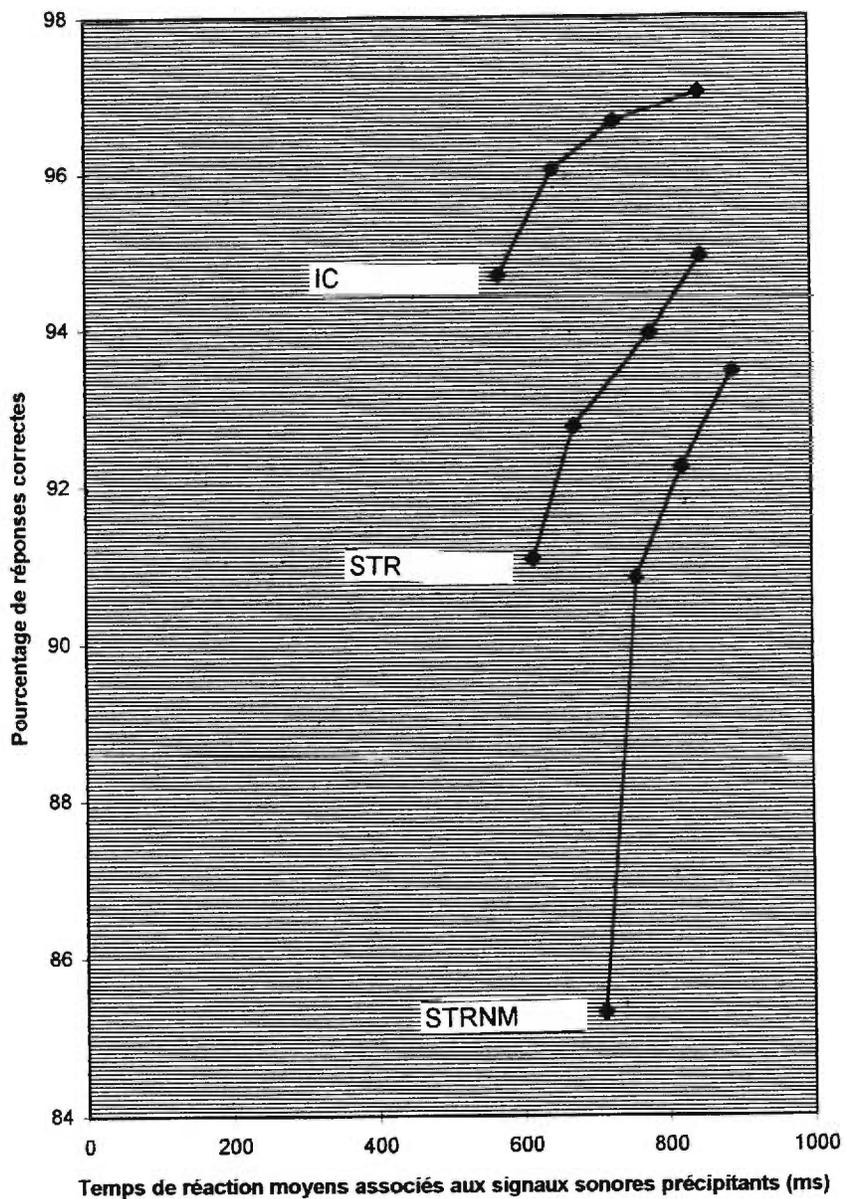
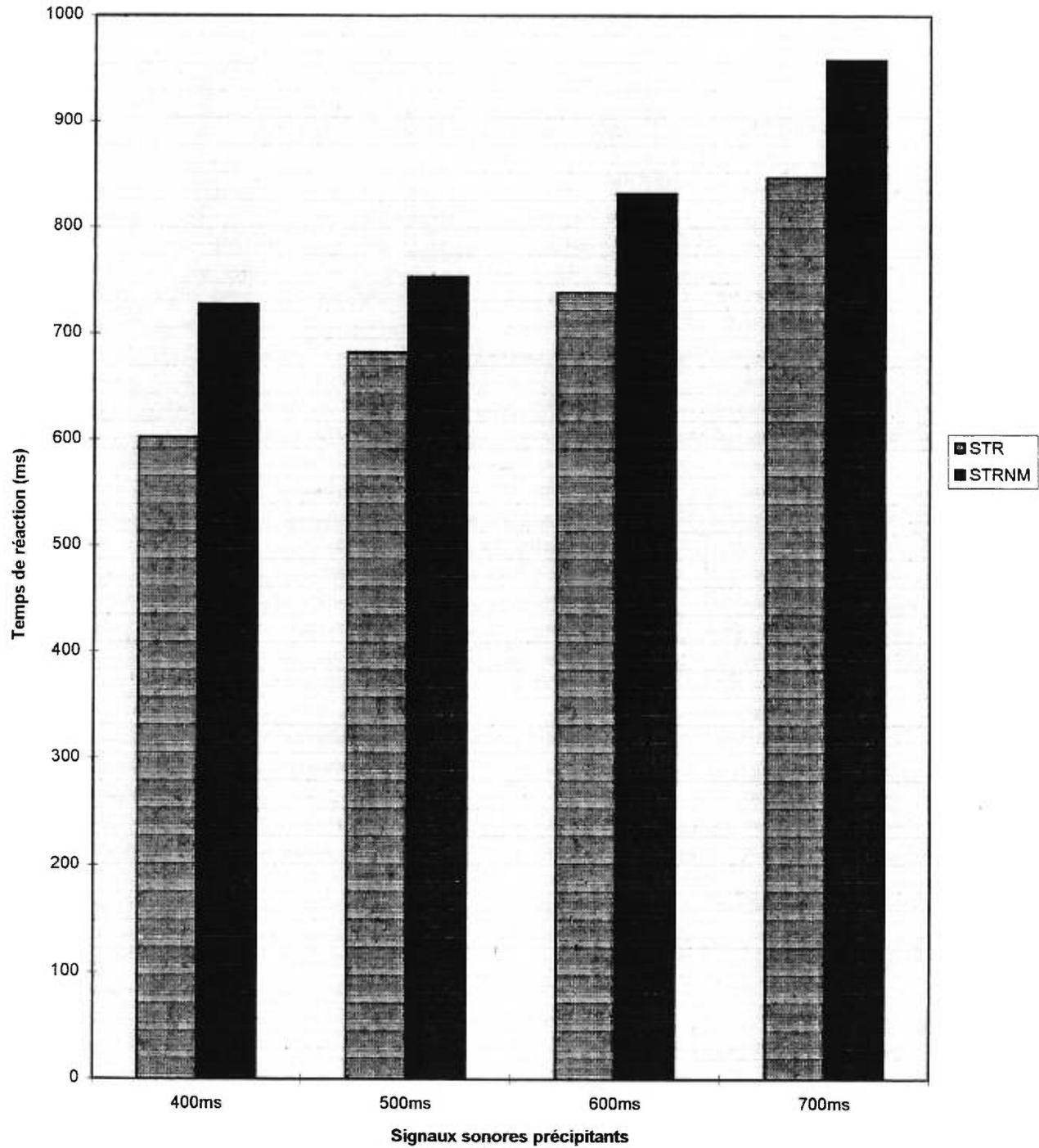


Fig. 5: Temps de réaction aux erreurs Stroop en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



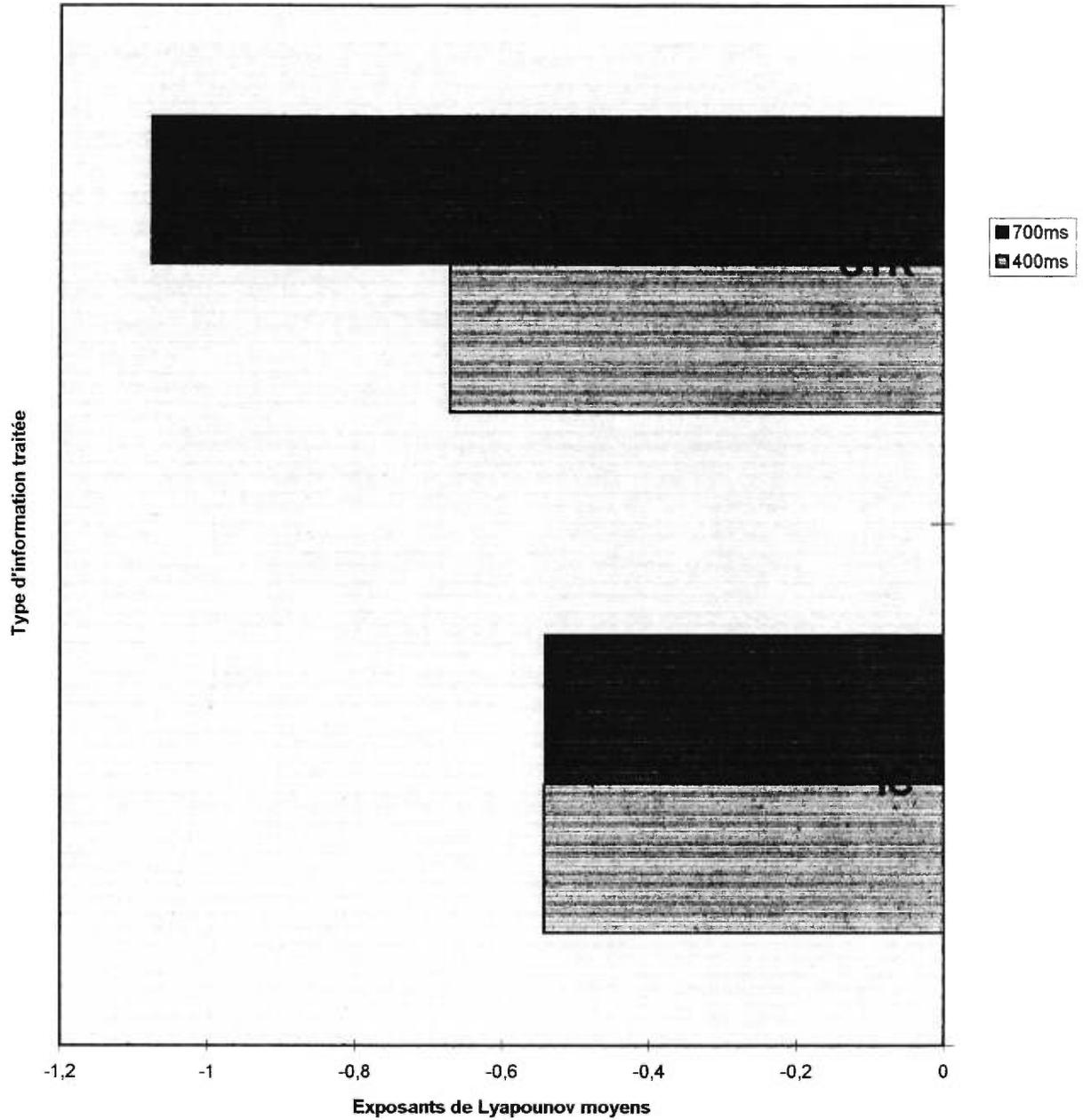
Mesures de la dynamique non linéaire de la performance

Les mesures dynamiques de la performance sont issues de simulations numériques effectuées avec un programme informatique à base de neurones formels (Ellner *et al.*, 1992). Seuls les TR, donnés en entrée au programme sous formes de vecteurs, ont été utilisés ici. Les mesures en question sont les exposants de Lyapounov (EL), le nombre de dimension de plongement (DP) et le nombre d'unités cachées (UC). Pour chacun des vecteurs de TR recueilli chez chaque sujet, dans chacune des conditions expérimentales retenues, une simulation a été effectuée et a fourni les mesures dynamiques en question qui ont par la suite été moyennées. Comme il l'a été expliqué au chapitre précédent, pour des raisons techniques le plan d'analyse statistique de ces mesures a été modifié. Le facteur Stroop réunit maintenant simplement les conditions IC et STR, et le facteur Signal ne concerne plus que les signaux sonores précipitants à 400ms et 700ms.

Exposants de Lyapounov.

Les EL moyens caractérisant la dynamique des temps de réaction sont représentés à la figure 6 en fonction à la fois des facteurs Stroop et Signal. L'analyse univariée de la variance, rapportée au tableau XXII de l'Annexe III, permet de constater l'effet significatif du facteur Stroop en ce qui concerne les EL ($F(1,20)=4,49, p=.047$). En ce sens, les EL moyens caractérisant la dynamique des temps de réaction à la condition STR sont significativement plus négatifs que ceux de la condition IC. Ce dernier résultat confirme l'hypothèse 2 voulant que la dynamique d'un système caractérisé par un plus haut niveau d'inhibition soit plus stable.

Fig. 6: Exposants de Lyapounov des temps de réaction en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



Le facteur Signal ne génère pas de différence significative au plan des EL (tableau XXII, Annexe III; ($F(1,20)=1,07$, $p=.313$). Cela signifie, contrairement à ce qui est prédit à l'hypothèse 1, que la dynamique des TR ne diffère pas significativement suivant que le signal sonore précipitant soit présenté à 400ms ou à 700ms.

Aucun effet d'interaction significatif entre les facteurs Stroop et Signal n'a été trouvé pour les EL (tableau XXII, Annexe III).

Dimensions de plongement.

Les analyses univariées de la variance rapportée au tableau XXIII de l'Annexe III ne démontrent aucune différence significative entre les différentes conditions expérimentales concernées, ce qui va à l'encontre des hypothèses 1 et 2.

Aucun effet d'interaction significatif entre les facteurs Stroop et Signal n'a été trouvé pour les DP (tableau XXIII, Annexe III).

Unités cachées.

Aucune différence significative ne fut retrouvée entre les différentes conditions expérimentales pour ce qui est du nombre moyen d'UC en fonction des facteurs Stroop et Signal (tableau XXIV, Annexe III). Ces résultats vont à l'encontre des hypothèses 1 et 2.

Aucun effet d'interaction significatif entre les facteurs Stroop et Signal n'a été trouvé pour les UC (tableau XXIV, Annexe III).

Mesures physiologiques

Les mesures physiologiques présentées ici sont toutes dérivées de l'activité du muscle cardiaque lors de l'exécution des différentes versions de la tâche expérimentale. La fréquence cardiaque (FC) ainsi que la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC), des mesures traditionnellement utilisées en psychophysiology, sont d'abord présentées, suivies de mesures dynamiques issues de simulations numériques utilisant des réseaux à base de neurones formels. Ces mesures dynamiques sont les EL, les DP et les UC caractérisant la dynamique non linéaire du muscle cardiaque au cours de l'exécution de tâches cognitives nécessitant un effort attentionnel.

Fréquence cardiaque

Les mesures de la FC en fonction des facteurs Stroop et Signal sont rapportées à la figure 7. L'analyse multivariée de la variance du tableau XXV de l'Annexe III ne décèle aucun effet significatif du facteur Stroop ($F(2,19)=1,16, p=.334$). Ce résultat va à l'encontre de la prédiction faite à l'hypothèse 2 sur les valeurs attendues de FC en fonction du type d'information traitée.

Le facteur Signal, tel que rapporté à l'analyse multivariée de la variance du tableau XXV de l'Annexe III, engendre quant à lui un effet significatif sur la variable FC ($F(3,18)=5,70, p=.006$). L'analyse univariée et les contrastes orthogonaux révèlent que ce résultat vaut pour tous les niveaux du facteur signal. Ce dernier résultat confirme l'hypothèse 1 concernant l'effet de la pression temporelle sur l'activité du muscle cardiaque telle que traduite par la FC. Une pression temporelle croissante engendre une FC elle aussi croissante dans le contexte des tâches attentionnelles utilisées.

L'effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal, tel que démontré par l'analyse multivariée de la variance rapportée au tableau XXV de l'Annexe III, ne s'avère pas significatif.

Variabilité de la fréquence cardiaque

Les résultats obtenus quant à la VFC, en fonction des facteurs Stroop et Signal, sont démontrés à la figure 8. L'analyse multivariée de la variance rapportée au tableau XXVI de l'Annexe III ne permet pas de vérifier l'hypothèse 1 en montrant un effet significatif du facteur Stroop ($F(2,19)=1,04, p=.374$).

Le facteur Signal engendre des effets significatifs au plan de la VFC, et ce suivant l'analyse multivariée de la variance rapportée au tableau XXVI de l'Annexe III ($F(3,18)=4,06, p=.023$). Ce résultat ne corrobore que partiellement l'hypothèse 1 dans la mesure où le facteur Signal, suivant les contrastes orthogonaux, implique une augmentation significative de la VFC seulement lorsque l'on compare l'effet du signal sonore précipitant de 500ms à l'effet combiné des signaux de 600ms et 700ms (tableau XXVI, Annexe III; $F(1,20)=8,09, p=.010$). Il semble ici que l'effort physiologique fourni par le muscle cardiaque ne soit diminué que lorsque le temps critique dépasse 600ms.

Aucun effet d'interaction entre les facteurs Stroop et Signal n'est observé quant la VFC à l'analyse multivariée du tableau XXVI de l'Annexe III ($F(6,15)=0,63, p=.707$).

Fig. 7: Fréquence cardiaque moyenne en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants

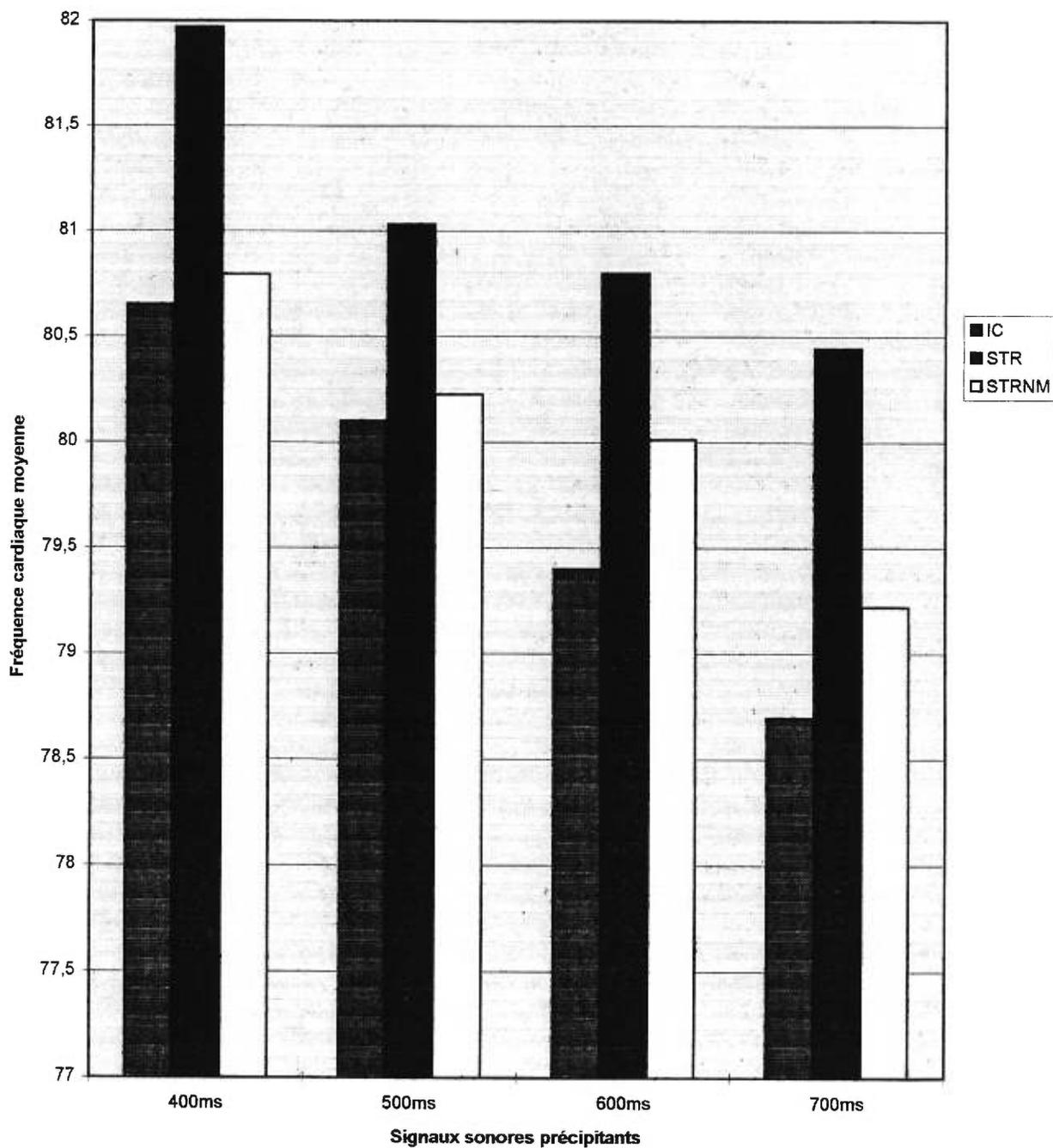
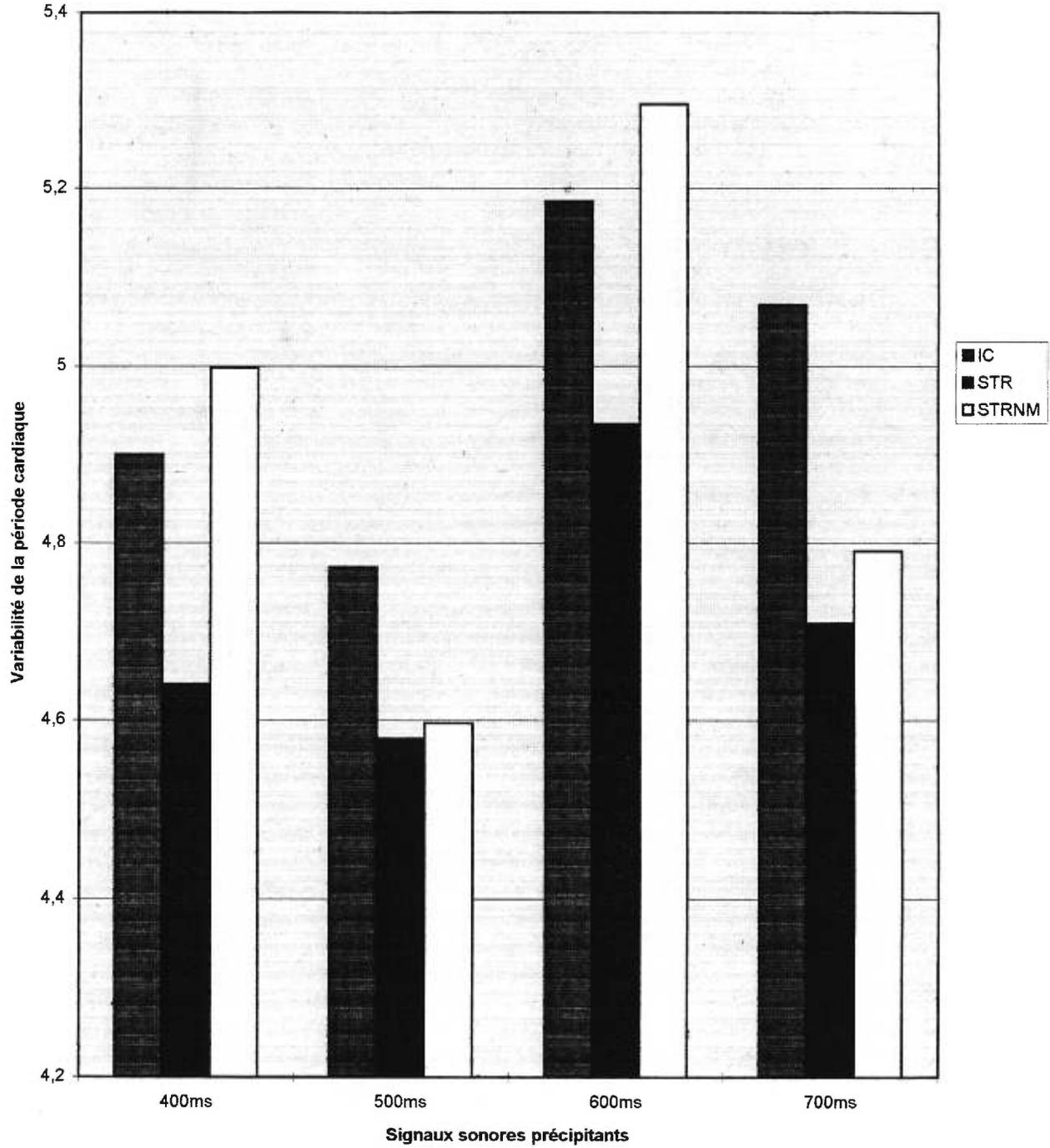


Fig. 8: Variabilité de la période cardiaque en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



Mesures de la dynamique physiologique non linéaire

Le plan d'analyse statistique retenu pour les mesures physiologiques dynamiques est le même que celui utilisé à la section des mesures dynamiques de la performance. Les facteurs Stroop et Signal recouvrent donc respectivement les conditions IC et STR et les conditions de signal sonore précipitant à 400ms et 700ms.

Exposants de Lyapounov.

L'analyse univariée de la variance (tableau XXVII de l'Annexe III) ne démontre aucun effet significatif des facteurs Stroop et Signal, non plus que d'effet d'interaction pour ce qui est des EL.

Ces résultats vont à l'encontre de la formulation des hypothèses 1 et 2.

Dimensions de plongement.

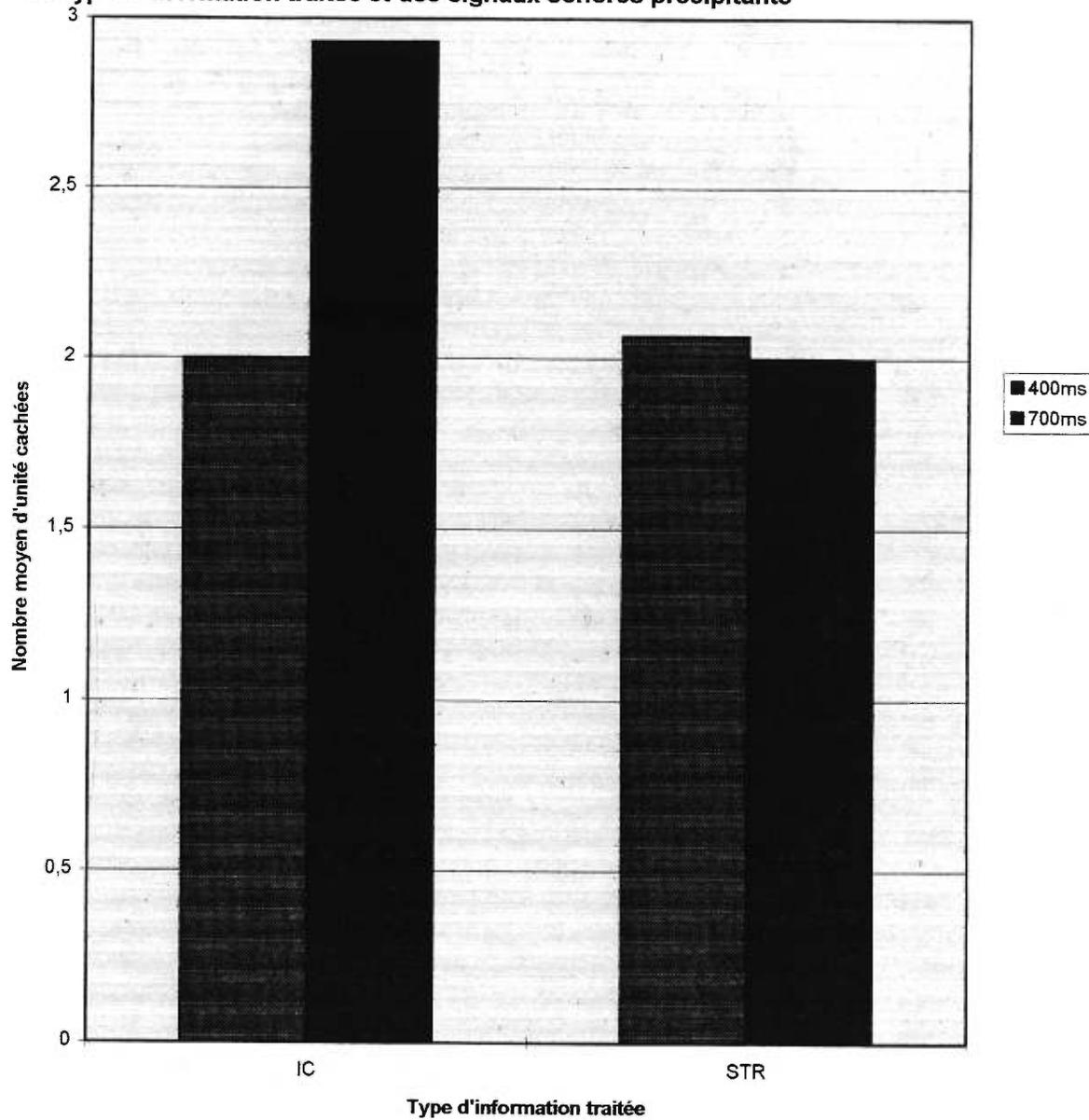
Les analyses univariées de la variance (tableau XXVIII de l'Annexe III) ne démontrent aucun effet significatif des facteurs Stroop et Signal. De plus, aucun effet d'interaction n'a été enregistré. Ces résultats vont à l'encontre des hypothèses 1 et 2.

Unités cachées.

Les résultats concernant le nombre moyen d'UC retrouvées en fonction des facteurs Stroop et Signal sont observables à la figure 9. L'analyse univariée retrouvée au tableau XXIX de l'Annexe III permet d'observer un effet significatif du facteur Stroop corroborant l'hypothèse 2 ($F(1,14)=5,69, p=.032$). Ce résultat révèle en effet un nombre significativement plus élevé d'UC dans la condition IC que dans la condition STR.

Les analyses univariées de la variance rapportées au tableau XXIX de l'Annexe III permettent d'affirmer que le facteur Signal ne génère pas d'effet significatif au plan des UC et qu'il n'existe pas d'effet d'interaction significatif entre les facteurs Stroop et Signal. En ce sens, l'hypothèse 1 ne se trouve pas confirmée.

Fig. 9: Nombre moyen d'unités cachées dans le réseau de la dynamique cardiaque en fonction du type d'information traitée et des signaux sonores précipitants



Mesures d'état affectif

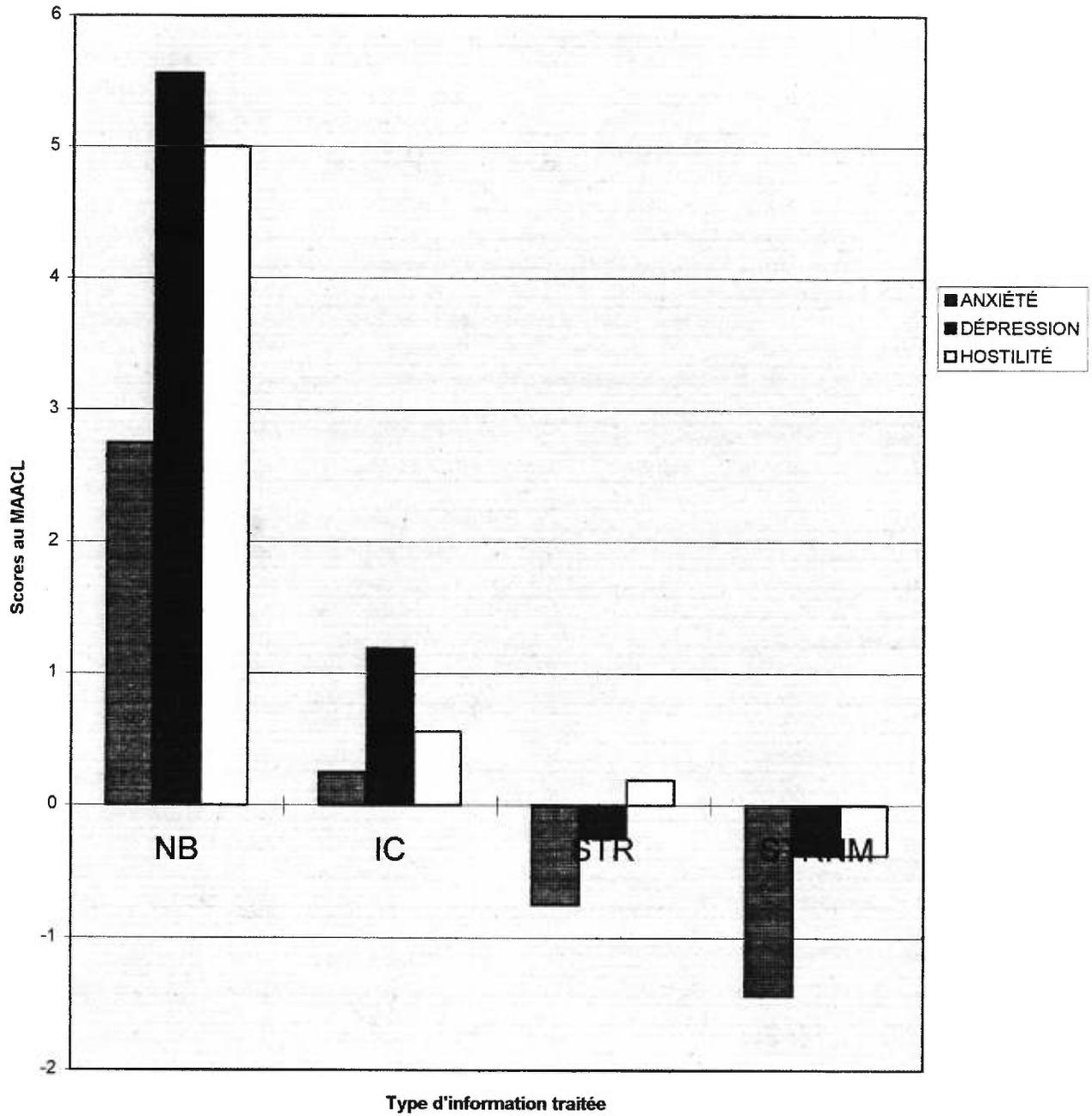
Le MAACL (Zuckerman, 1960) et l'ASTA (Bergeron et al., 1976) ont été utilisés afin de caractériser l'état affectif des sujets lors de l'exécution des tâches expérimentales. Ces deux tests ont été administrés à quatre reprises à chacun des sujets; avant le début du traitement expérimental comme tel, afin d'obtenir un niveau de base affectif (NB à la figure 10), et après chacune des séries d'essais, où l'un ou l'autre des trois types de stimuli ont été utilisés (IC, STR et STRNM), afin d'en vérifier l'impact affectif. L'ASTA comporte de plus une version permettant de mesurer le trait d'anxiété (TA), version administrée aux sujets avant le début de l'expérimentation.

MAACL

Le MAACL comporte trois échelles, une mesurant l'anxiété, une autre la dépression et une dernière l'hostilité. Les résultats des scores obtenus sur ces trois échelles en fonction du type d'information traitée sont rapportés à la figure 10. Veuillez noter que des valeurs négatives à ces scores signifient un état affectif dysphorique plus prononcé.

Les analyses multivariées de la variance rapportées aux tableaux XXX, XXXI et XXXII de l'Annexe III permettent d'affirmer l'existence d'un effet significatif du type d'information traitée (facteur Stroop) sur les scores du MAACL (anxiété: Wilks=0,38, $F(3,21)=11,42$, $p<0.001$; dépression: Wilks=0,44, $F(3,21)=9,07$, $p<0,001$; hostilité: Wilks=0,52, $F(3,21)=6,59$, $p=0,003$).

Fig. 10: Anxiété, dépression et hostilité (Scores au MAACL) en fonction de l'information traitée



MAACL-Anxiété.

Les analyses univariées rapportées au tableau XXX de l'Annexe III laissent apparaître une différence significative entre les scores d'anxiété au niveau de base et ceux enregistrés après les trois séries prises globalement ($F(1,23)=21,63, p<.001$). Les scores recueillis à la condition IC se distinguent significativement de ceux observés aux conditions STR et STRNM prises globalement ($F(1,23)=4,98, p=.048$). Ces deux dernières conditions génèrent également des scores d'anxiété significativement différents ($F(1,23)=6,30, p=.020$). Ces résultats confirment l'hypothèse 2 voulant qu'un effort attentionnel plus important s'accompagne d'état dysphorique concomitant.

MAACL-Dépression.

Les scores de dépression recueillis aux conditions IC, STR et STRNM diffèrent significativement de ceux observés au niveau de base (tableau XXXI, Annexe III; $F(1,23)=25,72, p<.001$). De même, la différence des scores de dépression entre d'une part la condition IC et d'autre part les conditions STR et STRNM est significative ($F(1,23)=4,98, p=.036$). Ce dernier résultat est en accord avec l'hypothèse 2. Les conditions STR et STRNM ne démontrent cependant pas entre elles des différences significatives aux scores de dépression ($F(1,23)=0,25, p=.625$). Ces derniers résultats ne confirment que partiellement ce qui était attendu à l'hypothèse 2.

MAACL-Hostilité.

Le niveau de base d'hostilité observé chez les sujets est significativement inférieur à celui recueilli après l'exécution des trois séries d'essais (tableau XXXII, Annexe III; $F(1,23)=20,09, p<.001$). Les différences de scores d'hostilité entre la condition IC et les conditions STR et

STRNM, ainsi qu'entre ces deux dernières conditions entre elles, sont cependant non significatives ($F(1,23)=2,14$, $p=.156$; $F(1,23)=1,96$, $p=.175$). L'hypothèse 2, en ce qui concerne les scores d'hostilité du moins, n'est pas confirmée.

ASTA

L'analyse de variance multivariée du tableau XXXIII de l'Annexe III indique un effet significatif du type d'information traitée sur l'anxiété situationnelle ($F(3,18)=4,55$, $p=.015$). Les scores d'anxiété situationnelle sont par ailleurs significativement plus élevés lors de l'exécution des différentes versions de la tâche expérimentale qu'au niveau de base ($F(1,20)=9,27$, $p=.006$). Aucune autre différence significative n'est observée avec les scores d'anxiété situationnelle de l'ASTA. Ces derniers résultats ne permettent pas de vérifier l'hypothèse 2.

Analyses complémentaires

Les analyses complémentaires considérées ici sont constituées de corrélations de Pearson entre les différentes variables dépendantes mesurées au cours des expérimentations. Ces corrélations concernent toujours les mesures prises à l'intérieur des tâches (IC, STR, STRNM). Ces corrélations permettent de mieux éclairer les résultats obtenus; leur implication sera discutée au chapitre concernant l'interprétation des résultats.

Identification de la couleur

La VFC dans la condition IC, lorsque le signal sonore précipitant est à 400ms, corrèle positivement avec le nombre de DP caractérisant la dynamique des TR ($r=0.5271$, $p<.01$). Cette dernière mesure corrèle également de façon négative avec les TR retrouvés lors de la

commission d'erreurs ($r=0.6060$, $p<.01$). Finalement, pour cette condition, la VFC retrouvée au niveau de base chez les sujets corrèle négativement avec les scores de dépression du MAACL enregistrés suite à l'exécution de la tâche d'IC ($r=0.5752$, $p<.01$).

Lorsque le signal sonore précipitant est à 700ms, les EL caractéristiques de la FC corrèlent négativement avec l'anxiété du MAACL enregistrée au niveau de base ($r=0.6494$, $p<.01$). De la même façon, la FC au niveau de base corrèle avec le nombre d'UC retrouvées dans le processus dynamique de la FC au moment de l'exécution de la tâche ($r=0.5456$, $p<.01$). Par ailleurs, la FC de sujets, dans cette même condition, est négativement corrélée avec le nombre d'UC de son propre processus ($r=0.7014$, $p<.001$) et la VFC est liée négativement aux EL caractéristiques des TR.

Résolution du conflit Stroop

Lorsque le signal sonore précipitant est à 400ms, les scores d'anxiété et de dépression du MAACL retrouvés au niveau de base corrèlent négativement avec le nombre d'UC de la FC ($r=0.6112$, $p<.01$ et $r=0.6173$, $p<.01$). Le nombre d'UC caractérisant la dynamique connexionniste des TR est corrélé négativement à la fois aux TR associés aux réponses correctes ($r=0.6466$, $p<.001$) et au nombre d'erreurs de type Stroop ($r=0.5413$, $p<.01$).

Résolution du conflit Stroop avec les non-mots

La VFC, lorsque le signal sonore précipitant est à 400ms, corrèle négativement avec le nombre d'erreurs Stroop commises en situation de conflit attentionnel exacerbé ($r=.5235$, $p<.01$). Par ailleurs, la FC, lorsque le signal sonore précipitant est à 700ms, corrèle positivement avec le TR moyen retrouvé aux erreurs Stroop ($r=.6462$, $p<.001$); ce dernier TR corrèle également de

façon positive avec la FC retrouvée chez les sujets au repos, lors de la mesure du niveau de base ($r=.6192$, $p<.01$).

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Le présent chapitre est divisé en deux parties, une première s'attardant à l'examen des résultats issus de l'analyse de la transaction entre la vitesse et la précision (TVP) et une seconde passant en revue la signification des résultats trouvés grâce aux simulations numériques. La première partie vise l'explication des résultats obtenus avec l'utilisation des non-mots et des signaux sonores précipitants pour faire varier l'ampleur du conflit attentionnel vécu aux plans comportemental et physiologique. La seconde partie examine la pertinence des mesures reflétant la dynamique non linéaire des TR et de la FC. L'impact des traitements expérimentaux sur l'état affectif ainsi que le rôle modulateur de ce dernier au plan attentionnel sont amenés également dans ces deux parties.

Analyse de la transaction entre la vitesse et la précision

L'objectif sous-jacent à l'analyse de TVP était de décrire la dynamique de traitement de l'information en termes de stratégies où les paramètres de vitesse et de précision de la réponse s'articulent suivant le niveau de conflit perceptivo-cognitif. Pour ce faire, la procédure expérimentale s'appuyait sur l'utilisation de signaux sonores précipitant amenant le sujet à répondre en fonction de limites temporelles fixées. Pour le même objectif, trois niveaux de conflit étaient présentés aux sujets, la condition non-conflictuelle (identification de la couleur; IC), la condition conflictuelle classique (Stroop; STR) et la condition où le conflit était amplifié (Stroop non-mot; STRNM). A partir des courbes obtenues en fonction des signaux sonores précipitants, le point d'inflexion propre à chaque type de traitement de l'information devait être mesuré.

Suivant les résultats obtenus, il apparaît impossible de calculer la mesure en question. En effet, les signaux sonores précipitants n'ont pas permis d'opérer le découpage escompté, découpage qui eut permis de comparer des courbes distinctes et de forme sigmoïde. En ajoutant d'autres signaux sonores précipitants il eut été possible d'obtenir la forme caractéristique recherchée afin de mener à bien l'analyse prévue. Il semble que la difficulté en fut une d'échelle; un grain d'analyse plus fin et une étendue de mesure plus longue eurent probablement été suffisants pour obtenir le résultat voulu. En fait, un plus grand nombre de signaux sonores précipitants aurait amené les courbes à se prolonger à la fois vers l'ordonnée et vers l'abscisse, laissant ainsi apparaître les nuances recherchées (voir la figure 4).

Bien que les points d'inflexion ne puissent être calculés, une interprétation en terme de TVP peut tout de même être donnée en examinant les résultats au plan de la performance. En effet, les résultats obtenus à ce chapitre nous renseignent sur les façons distinctes dont les sujets ont réagi aux traitements de l'information exigés et ce suivant les impératifs temporels amenés par le biais des signaux sonores précipitants. La variation des paramètres de vitesse et de précision, bien que ne répondant pas exactement des hypothèses, laissent entrevoir des différences au plan de la gestion de l'attention, et ce suivant des stratégies d'optimisation de la performance, à l'intérieur de contraintes spécifiques.

Le facteur Signal, en ce sens, a généré les différences significatives escomptées au chapitre des TR et des taux de réponses, corrects et erronés. Les signaux sonores précipitants ont également permis de distinguer l'activité cardiovasculaire des sujets selon la pression temporelle exercée, mais seulement suivant la mesure de FC. La VFC fut moins discriminante à ce chapitre.

Le facteur Stroop a permis d'observer un résultat classique (MacLeod, 1991; Stroop, 1935), c'est à dire un nombre plus important de réponses correctes dans la condition IC que dans

les conditions conflictuelles (STR et STRNM); il en va de même pour la condition STR comparativement à la condition STRNM. Par ailleurs, le nombre d'erreurs de type Stroop, bien que n'ayant pas différé significativement entre les conditions STR et STRNM, tend à être supérieur lorsque le conflit attentionnel est amorcé à l'aide des non-mots. La dimension lexicale du stimulus conflictuel apparaît amorcée par le focus attentionnel du sujet sur la morphologie des non-mots (Stone et Van Orden, 1993). Cette activation d'une dimension déjà considérée automatisée permet d'affirmer l'existence de processus cognitifs continus et non pas dichotomiques (Kahneman et Chajkzyk, 1983; Ryan, 1983).

Les résultats concernant les TR aux réponses correctes sont plus clairs encore à cet égard. En effet, ces résultats sont similaires à ceux retrouvés pour le taux de réponses correctes avec, de plus, un effet d'interaction significatif avec le facteur Signal; c'est donc dire que les sujets ont réagi de façon distincte à l'amorçage sémantique du conflit attentionnel suivant la pression temporelle exercée. L'effet d'amorçage sémantique s'estompe avec le signal sonore précipitant introduit à 700ms. A ce niveau, l'amorçage différentiel du conflit ne prévaut plus et seuls les niveaux des facteurs expérimentaux Stroop et Signal se distinguent entre eux. Il appert que les stratégies de gestion du régime attentionnel, en regard du temps de traitement demandé, diffèrent suivant la profondeur du conflit suscité, jusqu'à ce qu'un temps limite suffisamment long soit accordé.

Il est possible d'associer ici ces stratégies distinctes à l'état affectif vécu par les sujets suivant le niveau de conflit vécu. L'état dysphorique des sujets croît avec l'exacerbation du conflit Stroop. La dépression et l'anxiété sont suscitées par la profondeur du conflit attentionnel. Ces états affectifs sont le reflet d'états organismiques pouvant être considérés comme conditions aux variations de régime attentionnel (Hockey, 1984; Hockey et Hamilton, 1983; Hancock, 1987a, 1987b). Cette dernière affirmation doit être nuancée du fait que les états affectifs ne sont pas ici des variables indépendantes mais bien des variables dépendantes.

Les mesures cardiovasculaires (FC et VFC), également reflets de l'état organismique, n'ont pas quant à elles différé selon les conditions du facteur Stroop. Le contrebalancement en carré latin des ordres de passation peut être mis en cause dans cette absence d'effet significatif; en effet, la préparation à répondre aux stimuli ainsi que les répercussions physiologiques de cette dernière semblent varier suivant le contenu des stimuli utilisés (conflictuel ou non) en premier lieu dans un plan contrebalancé (Renaud et Blondin, 1997).

Les analyses corrélationnelles permettent cependant de considérer le rôle de l'activité cardiovasculaire en tant que manifestation de l'état organismique. A la condition STRNM, la VFC corrèle positivement avec le nombre d'erreurs de type Stroop à 400ms, et la FC, de la même façon, avec le temps mis pour commettre les erreurs du même type, mais à 700ms. La mobilisation métabolique de l'organisme lors de l'effort attentionnel est associée à la prévention de la production d'erreurs caractéristiques du conflit attentionnel lorsque celui-ci est amplifié. Le temps mis à tenter de résoudre le conflit exacerbé, lorsqu'il y a échec à cet égard, semble faire croître la tension psychophysiologique. L'état affectif dysphorique enregistré à la condition STRNM, et la hausse d'activation physiologique l'accompagnant dans certaines circonstances, laissent entrevoir un modèle psychophysiologique de l'effort d'attention impliquant différents segments du fonctionnement organismique.

Les liens possibles entre les états affectifs et l'activité cardiovasculaire dans la détermination de la dynamique attentionnelle sont explorés plus en détail dans le cadre de la section suivante. De plus, les différences au plan des dynamiques caractérisant les processus cognitivo-attentionnels sont plus finement examinées à la lumière des simulations numériques connexionnistes.

Résultats issus des simulations numériques

La présente section aborde successivement les trois mesures dynamiques (DP, UC et EL) telles qu'elles s'appliquent au processus physiologique de la FC et au processus cognitivo-comportemental des TR. La signification des résultats est examinée à la lumière de l'effet des traitements expérimentaux, soit l'effet des contraintes temporelles (facteur Signal) et l'effet du type de traitement de l'information (facteur Stroop).

Dimension de plongement

Les DP sont directement reliées au type d'attracteur définissant une dynamique donnée. La complexité d'un système répond en fait de l'espace explorable par un processus donné. Là réside peut-être la raison pour laquelle la mesure de DP n'est pas ressortie de façon significative à travers le schème expérimental ici proposé. En effet, le dispositif expérimental utilisé imposait une structure temporelle doublement limitée, par le signal sonore précipitant à 400ms ou 700ms et par la limite de réponse imposée à 2 secondes. Ces contraintes temporelles forçaient en quelque sorte une forme limite à la dynamique des TR, et par extension à la dynamique de la FC. Un mode de réponse où le temps alloué n'aurait pas été limité aurait possiblement permis d'observer des fluctuations temporelles plus sensibles au plan des TR, suivant le type d'information traitée. La dimensionnalité des systèmes aurait dans ce cadre pu s'exprimer de façon moins homogène. Autrement dit, des attracteurs plus distinctifs auraient pu émerger dans un système de réponse moins contraint.

Par ailleurs, les corrélations significatives observées au chapitre précédent laissent entrevoir tout de même le sens de la dimensionnalité des systèmes dynamiques en termes

psychophysiologiques. La relation directement proportionnelle existant entre la VFC et le nombre de DP des TR, dans la condition IC à 400ms, semble indiquer qu'un effort physiologique important est associé à la complexité du processus comportemental de sélection de l'information. Il semble donc ici, en l'absence de conflit attentionnel et avec une pression temporelle importante, que la mobilisation physiologique demandée par l'effort d'attention occasionne une diminution de la complexité comportementale.

Toujours à la condition IC à 400ms, le nombre de DP caractéristique de la dynamique des TR corrèle négativement avec le temps mis lors de la production d'erreurs de catégorisation. C'est donc dire qu'une fois engagé dans un traitement erroné, la flexibilité ou la marge de manoeuvre comportementale diminue continûment jusqu'à la production de l'erreur. Le nombre de dimensions caractéristiques de l'espace du processus de TR diminue lors de la production d'erreurs, en fonction du temps investi, comme si la dynamique s'engageait dans un entonnoir menant vers l'attracteur associé à l'erreur.

Unités cachées

Les UC sises au sein d'un réseau de neurones formels forment une structure dont la complexité est tributaire du processus dynamique qu'elles supportent (Cohen *et al.*, 1992; Rumelhart, 1989). Quand les structures d'input et d'output du réseau sont très différentes, ou encore quand le signal à traiter est variable et difficile à intégrer, le nombre d'UC est censé augmenter.

Tel que rapporté au chapitre précédent, le nombre d'UC propre à la dynamique connexionniste des TR n'a pas varié significativement suivant les conditions temporelles et de traitement de l'information. Il est encore ici fort possible que la complexité du signal à analyser

par le réseau de neurones formels ait été réduite par la structure temporelle propre au paradigme expérimental employé. Cette dernière semble en effet avoir agi de façon à réduire le champ d'expression des processus de traitement de l'information tels qu'ils sont dépeints par les TR et leur dynamique.

Des corrélations significatives permettent cependant de retrouver des éléments théoriques amenés au premier chapitre. En effet, le nombre d'UC nécessaires aux réseaux de neurones formels ayant effectué les régressions non linéaires sur les vecteurs de TR, dans la condition STR à 400ms, corrèle négativement à la fois avec le TR aux réponses correctes et le nombre d'erreurs de type Stroop. Cela signifie qu'un nombre accru d'UC, dans le contexte d'un traitement de l'information portant sur de l'information conflictuelle, s'accompagne d'un TR plus rapide et d'un nombre d'erreurs de catégorisation plus petit. Le nombre d'UC, et par extension leurs connexions, semblent donc liés à un traitement de l'information plus efficace lorsqu'il nécessite la ségrégation de caractéristiques perceptuelles en conflit. Sous toute réserve, ce résultat semble ouvrir la porte à une analyse intéressante du problème du liage en fonction du nombre d'UC et de leur intrication; la ségrégation efficace des aspects du stimulus guidant la réponse se fait suivant un nombre plus élevé d'unités de traitement, lesquelles opèrent par voie d'inhibition latérale. Cette compétition donne lieu à une dynamique plus stable menant plus directement à l'attracteur associé à la réponse attendue.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'effort métabolique nécessité par la tâche d'extraction de l'information, le nombre d'UC s'est avéré un indicateur efficace d'adaptabilité biologique. Cette dernière mesure fut plus sensible que la FC et la VFC pour déceler l'effort attentionnel déployé au plan cardiovasculaire afin de résoudre le conflit de type Stroop (voir tableaux XXV, XXVI et XXIX, Annexe III).

Le signal cardiaque, constitué de la suite des complexes QRS, émane principalement de

l'activité du système de His-Purkinjé, lequel est stimulé par une dépolarisation provenant du noeud sino-atrial (Bassingtwaighte et al., 1994; Vander et al., 1989). La contraction ventriculaire résultant de cette propagation d'influx nerveux donne ainsi lieu au pattern cardiaque, lequel est considéré comme un phénomène oscillatoire. Ce phénomène oscillatoire est par ailleurs irrégulier et complexe lorsque le muscle cardiaque est sain (Kaplan et al., 1991). Une réduction de la complexité de la FC est signe que l'activité adaptée du muscle cardiaque est hypothéquée.

Les UC augmentent donc en nombre lorsqu'un signal donné, ici le signal cardiaque, est plus difficilement intégrable. Le signal cardiaque retrouvé chez les sujets lors de l'exécution de la condition IC possède visiblement cette caractéristique. En opposition, le signal cardiaque retrouvé lors de l'exécution de la condition STR se traduit au plan connexionniste par un nombre moins important d'UC, par une moins grande plasticité. Cette diminution de plasticité est attribuable à l'effort attentionnel investi dans la résolution du conflit perceptivo-cognitif typique de la tâche de Stroop.

Les analyses corrélationnelles révèlent également que la FC observée au niveau de base, ainsi que la FC lors de l'exécution de la condition IC à 700ms, corrélaient fortement et de façon négative avec le nombre d'UC propres au processus de la FC. L'état physiologique initial semble à cet égard préparer la complexité, ou encore conditionner l'adaptabilité de la FC lors de la concentration de l'attention au cours de la tâche. De fait, la FC en tant qu'indice d'effort métabolique nécessité par une tâche d'attention, paraît être explicable par le nombre d'UC qu'elle recèle en tant que processus dynamique expliqué de façon connexionniste. Dans cette perspective une hausse de la FC causée par une attention sélective plus importante s'accompagne d'un nombre faible d'UC.

Il semble en outre, à la lumière de certaines autres corrélations significatives retenues au dernier chapitre, que le nombre d'UC propre à la FC soit associé également à l'état affectif

recueilli au niveau de base. Les mesures d'anxiété et de dépression recueillies à l'aide du MAACL sont négativement corrélées au nombre d'UC nécessaires au calcul connexionniste du processus dynamique de la FC dans la condition STR à 400ms. L'organisation temporelle de cette corrélation permet de postuler un lien causal intéressant. Il semble, selon ces données, que l'état affectif agirait comme un modulateur de l'adaptabilité biologique de l'organisme face à un stress cognitif. Un état affectif dysphorique serait ainsi réducteur de la complexité cardiaque, et donc de la capacité à demeurer flexible métaboliquement face à un stress ou à une situation conflictuelle.

Exposants de Lyapounov

Les EL constituent une opérationnalisation du concept théorique de chaos déterministe (Stewart, 1994). Les systèmes dynamiques non linéaires résolument chaotiques se distinguent des systèmes stables par des EL positifs, lesquels expriment l'effet amplificateur d'un bruit incident sur ces systèmes (Dalmedico et al., 1992). En fait, les EL mesurent le taux de divergence exponentielle entre deux processus dynamiques issus de conditions initiales similaires; une variation infinitésimale quant aux conditions initiales engendrera une divergence radicale dans l'espace des phases d'un système non linéaire instable (Abraham, 1995; Abraham et Gilgen, 1995). Cette divergence est à mettre au compte de rétroactions endogènes positives engendrant des changements structuraux majeurs dans le système.

Les EL propres aux TR de la condition IC sont significativement plus élevés que ceux traduisant la dynamique des TR à la condition STR. Sans être résolument positifs, et donc purement chaotiques, les EL des TR de la condition IC traduisent une dynamique plus instable que celle retrouvée à la condition STR. Il est fort probable, encore ici, que les limites temporelles imposées aux sujets aient restreint les attracteurs des systèmes de TR à ceux du type

quasi-périodique, c'est-à-dire occupant des espaces toroïdaux. Un paradigme expérimental où le mode de réponse eut été auto-rythmé aurait pu donner lieu à l'émergence d'un système d'attracteurs différents, et possiblement plus instable.

La plus grande stabilité dynamique du processus de TR dans la condition STR est attribuable à la compétition s'opérant au sein du réseau de neurones par le biais de l'inhibition latérale (Commons et al., 1991; Grossberg, 1982a, 1982b, 1982c, 1987; Kohonen, 1984; Prueitt et al., 1995). Ce type de dynamique semble nécessaire à l'extraction des caractéristiques perceptuelles liées, typiques des stimuli conflictuels Stroop. De plus, la coordination motrice nécessitée par la résolution du conflit perceptivo-cognitif est plus nettement dominée par un système de rétroaction négatif visant à corriger de façon plus stricte l'action motrice qui, dans sa balistique, détermine la nature de la réponse. Il semble donc qu'une coordination motrice effectuée dans le contexte de la résolution d'un conflit nécessite une dynamique plus contrainte afin de parvenir au comportement adapté.

Les analyses corrélationnelles laissent entrevoir une explication psychophysologique de la dynamique des TR, dans la condition IC à 700ms. La VFC est ici fortement liée de façon négative aux EL des TR. Il semble dans ce contexte particulier qu'une augmentation du régime métabolique s'accompagne d'une augmentation de l'instabilité dynamique au plan comportemental. Ce dernier résultat semble suggérer que dans cette condition particulière, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de conflit attentionnel et lorsque le temps de traitement est long, une plus grande mobilisation physiologique soit source de flexibilité comportementale.

Toujours dans la même condition, l'anxiété rapportée par le MAACL au niveau de base est négativement corrélée aux EL caractérisant la FC. L'instabilité dynamique du processus cardiaque en cours de tâche paraît ici diminuée par un niveau d'anxiété élevé ressenti avant l'exécution. Le caractère labile de l'activité cardiovasculaire adaptée semble réduit par un état

affectif dysphorique possiblement causé par une anticipation négative.

CONCLUSION

Pour conclure cette thèse, les implications théoriques des résultats issus des deux paradigmes expérimentaux utilisés seront exposées. Le premier paradigme, celui reposant sur l'analyse des rapports existant entre la vitesse d'exécution et la précision de la réponse nous renseigne plus spécifiquement sur les variations de régime de l'amorçage sémantique et sur le rôle attentionnel de ce dernier. Le second paradigme, celui de l'analyse connexionniste de la dynamique non linéaire, nous permet d'entrer plus intimement dans la compréhension de la dynamique attentionnelle permettant la résolution de conflit perceptivo-cognitifs. Le rôle crucial des facteurs organismiques est également soulevé dans ce dernier chapitre de la présente thèse.

L'amorçage sémantique peut se comprendre comme la préparation et la facilitation d'assemblées neuronales dont la dynamique collective correspond aux jeux d'attracteurs spécifiques (Hebb, 1949; Milner, 1996). Cette dynamique opère sur un mode continu faisant écho à la diffusion réticulaire de l'activité électrochimique du cerveau. La catégorisation, comprise dans ce contexte, est un processus souple et non linéaire servant d'abord et avant tout le comportement adapté (Skarda et Freeman, 1987). La reconnaissance de formes spécifiques sert à guider la réponse motrice qui, à travers son déploiement, satisfait une série d'impératifs organismiques (Hockey, 1984; Hockey et Hamilton, 1983; Hancock, 1987a, 1987b; Levine et Leven, 1992). L'amorçage sémantique opère donc comme un mécanisme préattentionnel servant à baliser l'espace des possibilités propres au focus attentionnel. Il permet en outre de limiter l'explosion combinatoire des comportements productibles en agissant comme contraintes à ce niveau (Allport, 1989).

Les processus cognitifs descendants (*top-down*) ajustent l'attention en préparant certains circuits de traitement qui répondent en conséquence à l'information environnementale

via les processus perceptuels ascendants (*bottom-up* ; Banquet et al., 1992). L'amorçage de la dimension lexicale du stimulus Stroop avec l'aide des non-mots s'explique de cette façon. L'interférence accrue observée dans la condition STRNM relève du focus attentionnel porté sur l'aspect morphologique du stimulus. Le traitement attentionnel de ce dernier aspect, bien que considéré par certains comme étant automatisé (Logan, 1978; Shiffrin et Schneider, 1977; Schneider et Shiffrin, 1977), est potentialisable par un amorçage faisant en sorte que l'attracteur associé au traitement de la dimension lexicale gagne en pouvoir d'attraction sur la réponse. Tant la vitesse du traitement que la qualité de la performance peuvent être infléchies par ce changement à la dynamique attentionnelle de la tâche de Stroop.

Cette modification de la profondeur du conflit attentionnel, par le biais descendant de l'amorçage sémantique, est également sujette à variations suivant les contraintes temporelles de l'expérimentation. La technique de TVP, bien que n'ayant pas apporté tous les résultats escomptés, a tout de même permis d'observer certains éléments de la dynamique temporelle de la cognition. L'imposition de limites temporelles a, par exemple, permis de constater que le régime d'activité cognitive différait selon la profondeur du conflit perceptivo-cognitif amené. L'impossibilité de résister au conflit perceptivo-cognitif augmente effectivement en fonction de la diminution du temps accordé et de la profondeur du conflit suscité.

Un examen plus fin de la dynamique cognitivo-attentionnelle, d'un point de vue connexionniste, a été effectué à l'aide des simulations numériques. Les résultats ainsi trouvés permettent de mieux comprendre les variations de régime cognitif selon la plus ou moins grande stabilité dynamique des processus à l'oeuvre. L'analyse de la dynamique temporelle des TR associés à la résolution du conflit Stroop représente une façon nouvelle de considérer la signification du temps mis à traiter l'information à contenu interférentiel.

La ségrégation de la dimension dominante du stimulus conflictuel demande un effort attentionnel particulier se traduisant, en terme de dynamique des TR, par une stabilité plus grande, laquelle est indicée par les EL. La compétition entre les représentations picturale et lexicale, toutes deux associées en termes dynamiques à des attracteurs spécifiques, suppose une prolifération rapide et importante d'inhibitions latérales (Banquet et al., 1992; Commons et al., 1991; Grossberg, 1982a, 1982b, 1982c, 1987; Kohonen, 1984; McFadden, 1995; Prueitt et al., 1995; Rumelhart et Zisper, 1986). La convergence vers l'attracteur lexical dominant est infléchie par l'activité cognitivo-attentionnelle descendante vers l'attracteur pictural associé à la réponse attendue. Ce traitement attentionnel particulier, associé à la zone préfrontale (Roland, 1982, 1985), semble impliquer au plan comportemental une complexité plus grande lorsque le conflit est important. En termes connexionnistes, un nombre plus important d'UC suppose un traitement efficace plus rapide et menant à moins d'erreurs. Dans ce contexte, l'augmentation d'UC permet une ségrégation plus efficace de l'espace représentationnel afin d'en extraire les éléments pertinents sans céder à l'attraction vers la dimension non voulue du stimulus (Cohen et al., 1992; Rumelhart, 1989).

D'un autre côté, la plus grande instabilité dynamique des TR, lorsqu'il y a absence de conflit, est signe d'une marge de manoeuvre supplémentaire au plan comportemental et attentionnel. En fait, les EL semblent représenter une mesure intéressante et originale de la fluctuation des capacités du traitement attentionnel. Cette mesure est parcimonieuse et permet de saisir une plus grande part de la plasticité des processus en question. Des recherches futures, à cet égard, devraient permettre de considérer l'impact du temps sur ces mesures dynamiques; il sera important de concevoir une organisation temporelle laissant une étendue d'expression plus large aux processus cognitifs à l'oeuvre.

Par ailleurs, les facteurs d'ordre affectif et conatif paraissent liés de façon intime aux variations dynamiques des processus cognitifs ici étudiés. En effet, les états affectifs

dysphoriques, et plus particulièrement l'anxiété, semblent être réducteurs de la complexité et de la flexibilité comportementales ainsi que physiologiques. Autant lorsqu'ils précèdent que lorsqu'ils accompagnent l'activité considérée, ces états dysphoriques, reflets de l'état organismique subjectif, agissent tels des modulateurs du régime cognitif. Les projections ascendantes des fibres nerveuses originant des zones limbiques et sous-corticales ont un *fan-out* dense au niveau frontal et préfrontal et peuvent agir comme modulateur de l'activité nerveuse à ce niveau (Derryberry et Tucker, 1990; Levine *et al.*, 1992; Rumelhart, 1989). Des recherches ultérieures devront mettre de l'avant une démonstration causale de cette relation unissant les états affectifs dysphoriques à la dynamique cognitive de la résolution de conflits. Des implications cliniques pertinentes pourront également être déduites de ces recherches.

Pour conclure cette thèse, il nous apparaît important de reconnaître la pertinence du paradigme connexionniste en psychologie et plus particulièrement dans la compréhension de la dynamique attentionnelle. Le traitement parallèle et distribué de l'information représente un niveau particulier des processus psychiques, un niveau subsymbolique duquel émergent des représentations dont la réalité est connue par le biais des réponses motrices et physiologiques. Ce niveau est régi principalement par des régimes d'activité non linéaires. On y retrouve la plasticité et la flexibilité du fonctionnement neuronal sur laquelle prend appui le comportement adapté, dont la production de symboles fait partie. L'analyse cognitive plus traditionnelle n'est pas exclue de ce paradigme mais s'en trouve plutôt le complément logique. En fait, les paradigmes du connexionnisme et de la dynamique non linéaire permettent le décroisement de plusieurs traditions, tant en psychologie qu'en neurosciences. Les réseaux neuronaux donnent lieu à une conception représentationnelle d'où le devenir n'est pas exclu et dont les liens avec le comportement manifeste sont plus intriqués.

BIBLIOGRAPHIE

Abraham, F.D. (1995). A postscript on language modeling, and metaphor. In F.D. Abraham, et A.R. Gilgen (Eds.), Chaos theory in psychology. (pp. 311-336) Westport, CT: Greenwood Press.

Abraham, F.D., et Gilgen, A.R. (1995). Chaos theory in psychology. Westport, CT: Greenwood Press.

Allport, D.A. (1989). Visual attention. In M.I. Posner (Ed.), Foundations of cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press.

Anderson, M.C., et Spellman, B.A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition: Memory retrieval as a model case. Psychological review, 102, 68-100.

Andrews, S. (1982). Phonological recording: Is the regularity effect consistent? Memory et Cognition, 10, 565-575.

Banquet, J.P., Smith, M., Guenther, W. (1992). Top-down processes, attention, and motivation in cognitive tasks. In S.D. Levine, et S.J. Leven (Eds.), Motivation, emotion and goal direction in neural networks. (pp.169-208) Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Barron, A.R. (1991). Approximation and estimation bounds for artificial neural networks. In Proceedings of the fourth Annual workshop on computational learning theory, University of California, Santa Cruz, August 5-7 1991. (pp. 243-249) San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publication.

Barton, S. (1994). Chaos, self-organization, and psychology. American Psychologist, 49, 5-14.

Bechtel, W., et Abrahamsen, A. (1993). Le connexionnisme et l'esprit: Introduction au traitement parallèle par réseaux. Paris: Éditions la découverte, série sciences cognitives.

Beer, R.D. (1995). A dynamical systems perspective on agent-environment interaction. Artificial Intelligence, 72, 173-215.

Bégin, J., et Proulx, R. (1996). Categorization in unsupervised neural networks: The Eidos model. IEEE Transactions on Neural Networks, 7, 147-154.

Bergé, P., et Dubois, M. (1992). Chaos déterministe expérimental et attracteurs étranges. In A.D. Dalmedico, J.-L. Chabert, et K. Chemla (Eds.), Chaos et déterminisme. (pp. 115-169) Paris: Editions du Seuil.

Bergeron, J., Landry, M., et Bélanger, D. (1976). The development and validation of a French form of the state-trait anxiety inventory. In C.C. Spielberg et R. Diaz-Guerrero (Eds.), Cross cultural anxiety. (pp.41-50) New York: Wiley.

Beuter, A., Labrie, C., et Bélair, J. (1993). Feedback and delays in neurological diseases: A modeling study using dynamical systems. Bulletin of Mathematical Biology, *55*, 525-541.

Blitz, P.S., Hoogstraden, J., et Mulder, G. (1970). Psychologische Forschung, *33*, 277-288.

Broadbent, D.E. (1971). Decision and stress. Londres: Academic Press.

Broadbent, D.E. (1982). Task combination and selective intake of information. Acta Psychologica, *50*, 253-290.

Brown, C. (1995). Chaos and catastrophe theories. Series: quantitative applications in the social sciences. Londre: Sage.

Casgali, M., et Eubank, S. (1992). Nonlinear modeling and forecasting. Proceedings of the Santa Fe Institute, Vol. 12. Studies in the sciences of complexity. New York: Addison-Wesley.

Changeux, J.-P. (1992). Les neurones de la raison. La Recherche, *244*, 705-714.

Cohen, J.D., Dunbar, K. et McClelland, J.L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. Psychological Review, *97*, 332-361.

Cohen, J.D., et Servan-Schreiber, D. (1992). Context, cortex and dopamine: A connectionist approach to behavior and biology in schizophrenia. Psychological Review, *97*, 45-77.

Coles, M.G.H., Marten, K.S., et Fournier, L. (1995). Where did you go wrong? Errors, partial errors, and the nature of human information processing. Acta Psychologica, *90*, 129-144.

Commons, M.L., Grossberg, S., et Staddon, J.E.R. (1991). Neural networks models of conditioning and action. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Dalmedico, A.D., Chabert, J.-L., et Chemla, K. (1992). Chaos et déterminisme. Paris: Editions du Seuil.

Dalrymple-Alford, E.C., et Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop C-W test. Perceptual and Motor Skills, *23*, 1211-1214.

Damasio, A.R. (1989). Time-locked multi-regional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. Cognition, *33*, 25-62.

Derryberry, D. (1988). Emotional influences on evaluative judgments: Roles of arousal, attention and spreading activation. Motivation and Emotion, *12*, 23-54.

Derryberry, D., et Tucker, D.M. (1990). The adaptive base of the neural hierarchy: Elementary motivational controls on network function. In R. Dienstbier (Ed.), Nebraska Symposium on Motivation: Vol. 38. Perspectives on motivation (pp. 289-341) Lincoln, NE: University of Nebraska Press.

De Sousa, R. (1987). The rationality of emotion. Cambridge, MA: MIT Press.

Drepper, F.R., Engbert, R., et Stollenwerk, N. (1994). Nonlinear time series analysis of empirical population dynamics. Ecological Modelling, 75/76, 171-181.

Duffy, E. (1962). Activation. In N.S. Greenfield et R.J. Sternbach: Handbook of psychophysiology. New York: Holt.

Dunbar, K., et MacLeod, C.M. (1984). A horse race of a different color: Stroop interference patterns with transformed words. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10, 622-639.

Dyer, F.N. (1973). The Stroop phenomenon and its use in the study of perceptual, cognitive and response process. Memory and Cognition, 1, 106-120.

Eccles, J. (1992). Évolution du cerveau et création de la conscience: À la recherche de la vraie nature de l'homme. Paris: Fayard.

Eccles, J. (1993). Evolution of complexity of the brain with the emergence of consciousness. In K Pribram (Ed.), Rethinking neural networks: Quantum fields and biological data. Hillsdale, NJ: LEA.

Eckmann, J.P. (1992). Mesures dans un système dynamique chaotique. In A.D. Dalmedico, J.-L. Chabert, et K. Chemla (Eds.), Chaos et déterminisme. (pp. 91-114) Paris: Editions du Seuil.

Eckmann, J.P., et Ruelle, D. (1992). Fundamental limitations for estimating dimensions and Lyapunov exponents in dynamical systems. Physica D, 56, 185-187.

Edelman, G. M. (1987). Neural Darwinism: the theory of neuronal group selection. New York: Basic Books.

Edelman, G. M. (1992). Biologie de la conscience. Paris: O. Jacob.

Ellner, S., Gallant, A.R., McCaffrey, D., et Nychka, D. (1991). Convergence rates and data requirements for Jacobian-based estimates of Lyapunov exponents from data. Physics Letters A, 153, 357-363.

Ellner, S., Nychka, D.W. et Gallant, A.R. (1992). LENNS, a program to estimate the dominant Lyapunov exponent of noisy nonlinear systems from time series data. Institute of

Statistics Mimeo Series #2235 (BMA Series #39), Statistics Department, NC: North Carolina State University.

England, R. (1995). Sensory-motor systems in virtual manipulation. In K. Carr, et R. England (Eds.), Simulated and virtual realities: Elements of perception. (pp.131-177) Londres: Taylor et Francis.

Fitts, P.M. (1966). Cognitive aspects of information processing: 3. Set of speed versus accuracy. Journal of Experimental Psychology, 71, 849-857.

Gallant, A.R., et White, H.L. (1991). On learning the derivatives of an unknown mapping with multilayer feedforward networks. Neural Networks, 5, 129-138.

Glass, L., et Mackey, M.C. (1988). From clocks to chaos. The rhythms of life. Princeton: Princeton University Press.

Goerner, S. (1995). Chaos, evolution, and deep ecology. In R. Robertson, et A. Combs (Eds.), Chaos theory in psychology and the life sciences. (pp. 17-38) Mahwah, NJ: Erlbaum.

Grossberg, S. (1982a). Associative and competitive principles of learning and development: The temporal unfolding and stability of STM and LTM patterns. In S. Amari, et M.A. Arbib (Eds.), Lecture notes in biomathematics: Competition and cooperation in neural nets. (pp. 295-341) New York: Springer-Verlag.

Grossberg, S. (1982b). A psychophysiological theory of reinforcement drive, motivation, and attention. Journal of Theoretical Neurobiology, 1, 286-369.

Grossberg, S. (1982c). Studies of mind and brain: Neural principles of learning, perception, development, cognition, and motor control. Boston: Reidel Press.

Grossberg, S. (Ed.) (1987). The adaptive brain, Volumes I and II. Amsterdam: Elsevier/North-Holland.

Guillen, M. (1992). Des ponts vers l'infini: Des mathématiques à figure humaine. Paris: Albin Michel.

Hancock, P.A. (1987). Adaptive control in human-machine systems. In P.A. Hancock. Human factors psychology. (pp.305-345) Hollande: North Holland.

Hancock, P.A. (1987). Arousal theory, stress and performance: problems of incorporating energetics aspects of behavior into human-machine systems function. In L.S. Mark, J.S. Warm, et R.L. Huston (Eds.), Ergonomics and human factors: recent research. (pp. 170-179) NewYork: Springer.

Hawking, S. (1991). Une brève histoire du temps. Paris: Flammarion, coll. «Champs».

Haynes, S.N. (1992) Models of causality in psychopathology: Toward dynamic, synthetic and nonlinear models of behavior disorders. New York: Macmillan Publishing Company, General Psychology Series.

Hebb, D.O. (1949). The organization of behavior. New York: Wiley.

Hinton, G.E., et Shallice, T. (1991). Lesioning an attractor network: Investigations of acquired dyslexia. Psychological Review, 98, 74-95.

Hochman, S.H. (1967). The effects of stress on Stroop color-word performance. Psychonomic Science, 9, 475-476.

Hockey, G.R.J., Hamilton, P. (1983). The cognitive patterning of stress. In G.R.J. Hockey (Ed.), Stress and fatigue in human performance. Toronto: Wiley.

Hockey, G.R.J. (1984) Varieties of attentional state: the effects of environments. In R. Parasuraman, et D.R. Davies (Eds.), Varieties of attention. (pp.449-479) New York: Academic Press.

Hoffman, R.E. (1987). Computer simulations of neural information processing and the schizophrenia-mania dichotomy. Archives of General Psychiatry, 44, 178-188.

Hogg, T., et Huberman, B.A. (1991). Controlling chaos in distributed systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 21, 1325-1332.

Hopfield, J.J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National academy of science, 79, 2554-2558.

Hopfield, J.J., et Tank, D.W. (1986). Computing with neural circuits: A model. Science, 233, 625-633.

Hummel, J.E., et Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. Psychological Review, 99, 480-517.

Jackson, J.H. (1844). Evolution and dissolution of the nervous system. S.W., 2, 45-75.

Jensen, A.R., et Rohwer, W.D. (1966). The Stroop color-word test: A review. Acta Psychologica, 25, 36-93.

Jordan, M.I. (1986). An introduction to linear algebra in parallel distributed processing. In J.L. McClelland, D.E. Rumelhart, and the PDP Research group (Eds.), Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. (pp. 365-422) Cambridge, MA: MIT Press.

Jordan, M.I., et Rosenbaum, D.A. (1989). Action. In M.I Posner (Ed.), Foundations of cognitive science. (pp.727-767) Cambridge, MA: MIT Press.

Kahneman, D. (1973). Attention and effort. NJ: Prentice-Hall.

Kahneman, D., et Chajczyk, D. (1983). Tests of the automaticity of reading: Dilution of effects by color-irrelevant stimuli. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, *9*, 497-509.

Kalsbeek, J.W.H. (1967). Mental Belasting. Assen: Van Gorcum.

Kaplan, D.T., Furman, M.I., Pincus, S.M., Ryan, S.M., Lipsitz, L.A., et Goldberger, A.L. (1991). Aging and the complexity of cardiovascular dynamics. Biophys. J., *59*, 945-949.

Kelso, J.A.S., Holt, K.G., Rubin, P., et Kugler, P.N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from properties of nonlinear, limit-cycle oscillatory processes: Theory and data. Journal of Motor Behavior, *13*, 226-261.

Kelso, J.A.S., et Schöner, G. (1988). Self-organization of coordinative movement patterns. Human Movement Science, *7*, 27-46.

Kohonen, T. (1984). Self-organization and associative memory. New York: Springer-Verlag.

Kounios, J., Osman, A.M, et Meyer, D.E. (1987). Structure and process in semantic memory: New evidence based on speed-accuracy decomposition. Journal of Experimental Psychology: General, *116*, 3-25.

Lalande, A. (1988). Vocabulaire technique et critique de la philosophie. Paris: Presses Universitaires de France.

Lazarus, R.S., et Folkman, S. (1984). Stress, appraisal, and coping. New York: Springer.

Levine, S.D., et Leven, S.J. (1992). Motivation, emotion and goal direction in neural networks. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Levine, S.D., Leven, S.J., et Prueitt, P.S. (1992). Integration, disintegration, and the frontal lobes. In S.D. Levine, et S.J. Leven (Eds.), Motivation, emotion and goal direction in neural networks. (pp. 301-336) Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Levine, S.D., et Leven, S.J. (1995). Of mice and networks: Connectionist dynamics of intention versus action. In F.D. Abraham, et A.R. Gilgen (Eds.), Chaos theory in psychology. (pp. 206-219) Westport, CT: Greenwood Press.

Logan, G.D. (1978). Attention in character-classification tasks: Evidence for the automaticity of component stages. Journal of Experimental Psychology: General *107*. 32-63.

Luczak, H. (1979). Fractioned heart rate variability. Part 2: Experiment on superimposition of components of stress. Ergonomics, *22*, 1315-1323.

MacLean, P.D. (1970). The triune brain, emotion, and scientific bias. In F.O. Schmitt. The neurosciences, second study program. (pp. 336-349) New York: The Rockefeller University Press.

MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. Psychological Bulletin, 109, 163-203.

Mainzer, K. (1994). Thinking in complexity: The complex dynamics of matter, mind and mankind. New York: Springer.

Mandelbrot, B.B. (1977). The fractal geometry of nature. San Francisco, CA: Freeman.

Marr, M.J. (1992). Behavior dynamics: One perspective. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 57, 243-248.

Marr, M.J. (1992b). Behavior dynamics: One perspective. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 57, 249-266.

May, R.M. (1991). Le chaos en biologie. La Recherche, 232, 588-598.

McCaffrey, D., Ellner, S., Nychka, D.W., et Gallant, A.R. (1992). Estimating the Lyapunov exponent of a chaotic system with nonlinear regression. Journal of the American Statistical Association, 87, 682-695.

McFadden, F.E. (1995). Convergence of competitive activation models based on virtual lateral inhibition. Neural Networks, 8, 865-875.

McQuade, D.V. (1981). Variable reliance on phonologic information in visual word recognition. Language and Speech, 24, 99-109.

Meyer, D.E., Irwin, D.E., Osman, A.M., et Kounios, J. (1988). The dynamics of cognition and action: Mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. Psychological Review, 95, 183-237.

Milner, P.M. (1996). Neural representations: Some old problems revisited. Journal of Cognitive Neuroscience, 8, 69-77.

Morton, J. (1969). Categories of interference: Verbal mediation and conflict in card sorting. British Journal of Psychology, 60, 329-346.

Mulder, G., et Mulder-Hajonides van der Meulen, W.R.E. (1972). Mental load and the measurement of heart rate variability. Ergonomics, 16, 69-83.

Mulder, G., et Mulder, L.J.M. (1981). Information processing and cardiovascular control. Psychophysiology, 18, 392-402.

Navon, D. (1984). Resources, a theoretical soup stone? Psychological Review, 91, 216-234.

Pachella, R.G. (1974) The interpretation of reaction time in information processing research. In B. Kantowitz (Ed.), Human information processing: Tutorials in performance and cognition. (pp. 41-82) New York: Halstead Press.

Pool, R. (1989). Is is healthy to be chaotic?. Science, 243, 604-611.

Posner, M.I. (1978). Chronometric explorations of mind. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M.I. (1989). Foundations of cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press.

Prigogine, I. (1996). La fin des certitudes. Paris: Éditions O. Jacob.

Prigogine, I. (1994). Temps à devenir: à propos de l'histoire du temps. Québec: Fides et Musée de la civilisation du Québec.

Prueitt, P.S., Levine, D.S., Leven, S.J., Tryon, W.W., et Abraham, F. D. (1995). Introduction to artificial neural networks. In F.D. Abraham, et A.R. Gilgen (Eds.), Chaos theory in psychology. (pp. 195-263) Westport, CT: Greenwood Press.

Redington, D.J., et Reidbord, S.P. (1992). Chaotic dynamics in autonomic nervous system activity of a patient during a psychotherapy session. Biological Psychiatry, 31, 993-1007.

Reidbord, S.P., et Redington, D.J. (1992). Psychophysiological processes during insight-oriented therapy: Further investigation into nonlinear psychodynamics. Journal of nervous and mental disease, 180, 649-657.

Renaud, P., et Blondin, J.-P. (1997). The stress of Stroop performance: Physiological and emotional responses to color-word interference, task pacing, and pacing speed. International Journal of Psychology.

Robertson, R., et Combs, A. (1995). Chaos theory in psychology and the life sciences. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Roland, P.E. (1982). Cortical regulation of selective attention in man. Journal of Neurophysiology, 48, 1059-1078.

Roland, P.E. (1985). Cortical organization of voluntary behavior in man. Human Neurobiology, 53, 155-167.

Ruelle, D. (1991). Hasard et chaos. Paris: Éditions O. Jacob.

Rumelhart, D.E. (1989). The architecture of mind: A connectionist approach. In M.I Posner (Ed.), Foundations of cognitive science. Cambridge, MA: MIT Press.

Rumelhart, D.E., et McClelland, J.L. (1986). On learning the past tenses of English verbs. In J.L. McClelland, D.E. Rumelhart, and the PDP Research group (Eds.), Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. (Vol. 2.) Cambridge, MA: MIT Press.

Rumelhart, D.E., et Zisper, D. (1985). Feature discovery by competitive learning. Cognitive Science, *9*, 75-112.

Ryan, C. (1983). Reassessing the automaticity-control distinction: Item recognition as a paradigm case. Psychological Review, *90*, 171-178.

Sabelli, H.C., Carlson-Sabelli, L., Patel, M., Levy, A., et Diez-Martin, J. (1995). Anger, fear, depression, and crime: Physiological and psychological studies using the process method. In R. Robertson, et A. Combs (Eds.), Chaos theory in psychology and the life sciences. (pp.65-88) Mahwah, NJ: Erlbaum.

Sabelli, H.C., Carlson-Sabelli, L., Patel, M.K., Zbilut, J.P., Messer, J.V., et Walthall, K. (1995). Psychocardiological portraits: A clinical application of process theory. In F.D. Abraham, et A.R. Gilgen (Eds.), Chaos theory in psychology. (pp.107-125) Westport, CT: Greenwood Press.

Sanders, A.F. (1983). Towards a model of stress and human performance. Acta Psychologica, *53*, 61-97.

Schneider, W., et Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search and attention. Psychological Review, *84*, 1-66.

Schooler, C., Neumann, Caplan, L.J., et Roberts, B.R. (1997). A time course analysis of Stroop interference and facilitation: Comparing normal individuals and individuals with schizophrenia. Journal of Experimental Psychology: General, *26*, 19-36.

Seeley, R. (1990). Calculus. New York: Harcourt Brace Jovanovich and Academic Press.

Seron, X., et Jeannerod, M. (1994). Neuropsychologie humaine. Liège, Belgique: Mardaga.

Siéoff, E. (1994). Les mécanismes attentionnels. In X. Seron, et M. Jeannerod. Neuropsychologie humaine. (pp. 127-152) Liège, Belgique: Mardaga.

Shiffrin, R.M., et Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. Psychological Review, *84*, 127-190.

Shimizu, H. (1975). Reliable and precise identification of R-waves in the EKG with a simple peak detector. Psychophysiology, *15*, 499-501.

Sichel, J.L., et Chandler, K.A. (1969). The color interference test: The effects of varied color-word combinations upon verbal response latency. Journal of Psychology, 72, 219-231.

Skarda, C.A., et Freeman, W.J. (1987). How brains make chaos in order to make sense of the world. Behavioral and Brain Science, 10, 161-195.

Smith, R. (1992). Inhibition: History and meaning in the sciences of mind and brain. London: Free Association Books.

Stewart, I. (1994). Dieu joue-t-il aux dés? Les mathématiques du chaos. (2nd ed.) Paris: Flammarion.

Stone, G.O., et Van Orden, G.C. (1993). Strategic control of processing in word recognition. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19, 744-774.

Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. Journal of Experimental Psychology, 18, 643-662.

Taylor, J.G. (1994). Goals, drives, and consciousness. Neural Networks, 6/7, 1181-1190.

Thorpe, S. (1994). Les mécanismes de prise d'information. In X. Seron, et M. Jeannerod (Eds.), Neuropsychologie humaine. (pp. 152-204) Liège, Belgique: Mardaga.

Treisman, A.M. (1969). Strategies and models of selective attention. Psychological Review, 76, 282-299.

Vander, J.A., Sherman, J.H., et Luciano, D.S. (1985). Human psychology: The mechanisms of body functions. New York: McGraw Hill.

Vandervert, L.R. (1988). Systems thinking and a proposal for a neurological positivism. Systems Research, 5, 313-321.

Vandervert, L.R. (1990). Systems thinking and neurological positivism: Further elucidations and implications. Systems Research, 7, 1-17.

Varela, F., Thompson, E., et Rosch, E. (1993). L'inscription corporelle de l'esprit: Sciences cognitives et expérience humaine. Paris: Éditions du Seuil.

Waldrop, M. M. (1992). Complexity : The emerging science at the edge of order and chaos. New York: Simon et Schuster,

Wickelgren, W.A. (1977). Learning and memory. Englewoods Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Wickelgren, W.A. (1977). Speed-accuracy trade off and information processing dynamics. Acta Psychologica, 41, 67-85.

Wickens, C.D. (1980). The structure of attentional resources. In R.S. Nickerson (Ed.), Attention and performance VIII.

Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman and D.R. Davies (Eds.), Varieties of attention. New York: Academic Press.

Wierwille, W.W. (1979). Physiological measures of aircrew mental workload. Human Factors, 21, 575-593.

Wright, J.J., et Liley, D.T.J. (1996). Dynamics of the brain at global and microscopic scales: Neural networks. Behavioral and Brain Sciences, 19, 285-320.

Zornetzer, S.F., Davis, J.L., et Lau, C. (1990). An introduction to neural and electronic networks. New York: Harcourt Brace Jovanovich, and Academic Press.

Zuckerman, M. (1960). The development of an affect adjective checklist for the measurement of anxiety. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 24, 457-462.

ANNEXE I
Questionnaires

Questionnaire d'évaluation personnelle

ASTA

Adaptation française du questionnaire STAI (Spielberger, Gorsuch et Lushene, 1970)

Jacques Bergeron et Michel Landry

N°: _____ DATE: _____

NSIGNE: Voici un certain nombre d'énoncés que les gens ont l'habitude d'utiliser pour se décrire. Lisez chaque énoncé, puis encerclez le chiffre approprié à droite de l'exposé pour indiquer comment vous vous sentez présentement, c'est-à-dire à ce moment précis. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Ne vous attardez pas trop sur chaque énoncé mais donnez la réponse qui vous semble décrire le mieux les sentiments que vous éprouvez en ce moment.

	PAS DU TOUT	UN PEU	MODEREMENT	BEAUCOUP
Je me sens calme	1	2	3	4
Je me sens en sécurité	1	2	3	4
Je suis tendu	1	2	3	4
Je suis triste	1	2	3	4
Je me sens tranquille	1	2	3	4
Je me sens bouleversé	1	2	3	4
Je suis préoccupé actuellement par des contrariétés possibles ..	1	2	3	4
Je me sens reposé	1	2	3	4
Je me sens anxieux	1	2	3	4
Je me sens à l'aise	1	2	3	4
Je me sens sûr de moi	1	2	3	4
Je me sens nerveux	1	2	3	4
Je suis affolé	1	2	3	4
Je me sens sur le point d'éclater	1	2	3	4
Je suis relaxé	1	2	3	4
Je me sens heureux	1	2	3	4
Je suis préoccupé	1	2	3	4
Je me sens surexité et fébrile	1	2	3	4
Je me sens joyeux	1	2	3	4
Je me sens bien	1	2	3	4

Questionnaire d'évaluation personnelle

ASTA

IGNE: Voici un certain nombre d'énoncés que les gens ont l'habitude d'utiliser pour se décrire. Lisez chaque énoncé, puis encerclez le chiffre approprié à droite de l'exposé pour indiquer comment vous vous sentez en général. Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Ne vous attardez pas trop sur chaque énoncé mais donnez la réponse qui vous semble décrire le mieux les sentiments que vous éprouvez de façon générale.

	PRESQUE JAMAIS	QUELQUEFOIS	SOUVENT	PRESQUE TOUJOURS
Je me sens bien	1	2	3	4
Je me fatigue rapidement	1	2	3	4
Je me sens au bord des larmes	1	2	3	4
Je souhaiterais être aussi heureux que les autres semblent l'être	1	2	3	4
Je perds de belles occasions parce que je n'arrive pas à me décider assez rapidement.....	1	2	3	4
Je me sens reposé	1	2	3	4
Je suis calme, tranquille et en paix	1	2	3	4
Je sens que les difficultés s'accumulent au point que je ne peux pas en venir à bout	1	2	3	4
Je m'en fais trop pour des choses qui n'en valent pas vraiment la peine	1	2	3	4
Je suis heureux	1	2	3	4
Je suis porté à prendre mal les choses	1	2	3	4
Je manque de confiance en moi	1	2	3	4
Je me sens en sécurité	1	2	3	4
J'essaie d'éviter de faire face à une crise ou une difficulté ...	1	2	3	4
Je me sens mélancolique	1	2	3	4
Je suis content	1	2	3	4
Des idées sans importance me passent par la tête et me tracassent	1	2	3	4
Je prends les désapointements tellement à coeur que je n'arrive pas à me les sortir de la tête	1	2	3	4
Je suis une personne stable	1	2	3	4
Je deviens tendu et bouleversé quand je songe à mes préoccupations actuelles	1	2	3	4

Questionnaire d'évaluation personnelle

MAACL

Date: _____

d'employer pour se d'écrire. Lisez chaque mot et cochez (✓) les adjectifs appropriés pour décrire comment vous vous sentez en général. Ne vous attardez pas trop sur chaque mot. Indiquez les mots qui semblent décrire le mieux les sentiments que vous éprouvez de façon générale.

Apeuré(e)	Calme	Seul(e)	Actif(ve)	En colère	Charmant(e)
Désespéré(e)	Réjoui(e)	Mal	Vivant(e)	Amer/amère	Amable
Effrayé(e)	Heureux(se)	Mélancolique	Propre	Cruel(le)	Coopératif(ve)
Éraintif(ve)	Satisfait(e)	Anéanti(e)	Enthousiaste	Déplaisant(e)	Amical(e)
Nerveux(se)	Joyeux(se)	Découragé(e)	Bien	Insatisfait(e)	Généreux(se)
Affolé(e)	Aimant(e)	Abandonné(e)	En forme	Dégoûté(e)	Gentil(le)
Chanceux(e)	Agréable	Sombre(e)	Libre	Enragé(e)	Polite
Tendu(e)	En sécurité	Sans espoir	De bonne humeur	Furieux(se)	Compatissant(e)
Terrifié(e)	Solide	Isolé(e)	Content(e)	Irrité(e)	Docile
Bouleversé(e)	Bienveillant(e)	Perdu(e)	Bon/bonne	Déchaîné(e)	Sensible
Inquiet(e)		Bas/basse	En santé	Méchant(e)	Compréhensif(ve)
		Misérable	Inspiré(e)	Offensé(e)	Déterminé(e)
		Rejeté(e)	Intéressé(e)	Indigné(e)	Loyal(e)
		Triste	Chanceux(se)	Emporté(e)	Chaleureux(se)
		Souffrant(e)	Tranquille	Farouche	
		Débordé(e)	Réjoui(e)	Contrarié(e)	
		Très mal	En sûreté		
		Tourmenté(e)	Fort(e)		
		Malchanceux(se)	Epanoui(e)		
		Affaibli(e)	Jeune		

ANNEXE II**Tableaux des moyennes**

Tableau I. Pourcentages de réponses absentes

	IC	STR	STRNM
400ms	0,198	0,622	0,735
500ms	0,321	0,489	0,824
600ms	0,835	1,064	0,608
700ms	0,93	0,726	1,165

Tableau II. Pourcentages de réponses correctes

	IC	STR	STRNM
400ms	94,856	91,373	89,019
500ms	96,101	92,98	91,257
600ms	96,833	94,168	92,716
700ms	97,1	95,093	93,791

Tableau III. Pourcentages d'erreurs

	IC	STR	STRNM
400ms	5,113	4,87	5,694
500ms	3,644	3,999	4,982
600ms	2,507	2,954	3,868
700ms	2,042	2,602	3,124

Tableau IV. Pourcentages d'erreurs Stroop

	STR	STRNM
400ms	4,696	5,941
500ms	3,84	4,747
600ms	2,826	3,726
700ms	2,561	2,923

Tableau V. Temps de réaction moyens aux réponses correctes (ms)

	IC	STR	STRNM
400ms	570,292	616,042	711,833
500ms	645,75	673,125	759,125
600ms	731,167	779,542	822
700ms	848,708	849,958	892,167

Tableau VI. Temps de réaction aux erreurs de type Stroop (ms)

	STR	STRNM
400ms	634,84	735,95
500ms	705,42	743,47
600ms	812,21	929,95
700ms	873,53	915,47

Tableau VII. Exposants de Lyapounov moyens des temps de réaction

	IC	STR
400ms	-0,542	-0,67
700ms	-0,54	-1,075

Tableau VIII. Nombres moyens de dimensions de plongement aux temps de réaction

	IC	STR
400ms	4,19	3,762
700ms	3,571	3,476

Tableau IX. Nombres moyens d'unités cachées aux temps de réaction

	IC	STR
400ms	2,143	2
700ms	2,238	2,286

Tableau X. Fréquence cardiaque moyenne (battements par minute)

	IC	STR	STRNM
400ms	80,653	81,969	80,794
500ms	80,1	81,033	80,226
600ms	79,401	80,803	80,013
700ms	78,695	80,445	79,22

Tableau XI. Variabilité de la fréquence cardiaque (écart type de la fréquence cardiaque)

	IC	STR	STRNM
400ms	4,9	4,641	4,998
500ms	4,773	4,58	4,597
600ms	5,186	4,935	5,296
700ms	5,069	4,71	4,791

Tableau XII. Exposants de Lyapounov moyens à la fréquence cardiaque

	IC	STR
400ms	-0,132	-0,123
700ms	-0,086	-0,123

Tableau XIII. Nombres moyens de dimensions de plongement à la fréquence cardiaque

	IC	STR
400ms	4,6	5,2
700ms	4,933	5,067

Tableau XIV. Nombres moyens d'unités cachées à la fréquence cardiaque

	IC	STR
400ms	2	2,067
700ms	2,933	2

Tableau XV. Scores moyens au MAACL

	NB	IC	STR	STRNM
ANXIETE	2,75	0,25	-0,75	-1,44
DEPRESS	5,56	1,19	-0,25	-0,38
HOSTILITE	5	0,56	0,19	-0,38

Tableau XVI. Scores moyens à l'ASTA

TA	NBAS	IC	STR	STRNM
37,56	32,25	36,81	40,38	39,93

ANNEXE III**Tableaux statistiques**

Tableau XVII**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les réponses absentes, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	d.l.	Wilks	F
STR	2	0.88	1.44
SIG	3	0.75	2.17
STR X SIG	6	0.51	2.77*

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	0.32
STR1	
SIG1	1.39
STR2	
SIG 2	0.39
STR1	
SIG2	0.41
STR2	
SIG3	0.98
STR1	
SIG3	0.78
STR 2	

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XVIII**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les réponses correctes, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	d.l.	Wilks	F
STR	2	0.33	20.98**
SIG	3	0.28	17.46**
STR X SIG	6	0.59	1.93

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	21.78**
SIG2	20.32**
SIG3	28.41**
STR1	43.63**
STR2	7.58*

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XIX**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les erreurs de type Stroop, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	d.l.	Wilks	F
STR	1		3.46
SIG	3	0.45	8.15**
STR X SIG	3	0.91	0.64

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	5.44*
SIG2	16.34**
SIG3	18.47*

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XX**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les temps de réaction aux réponses correctes, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	d.l.	Wilks	F
STR	2	0.25	31.77**
SIG	3	0.07	89.26**
STR X SIG	6	0.27	7.60**

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
STR1	51.40**
STR2	20.18**
SIG1	19.64**
SIG2	68.62**
SIG3	215.43**

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XX (suite)**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les temps de réaction aux réponses correctes, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	3.76
STR1	
SIG1	0.78
STR2	
SIG2	10.44**
STR1	
SIG2	5.40*
STR2	
SIG3	5.22*
STR1	
SIG3	8.71**
STR2	

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXI**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les temps de réaction aux erreurs de type Stroop, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	df	Wilks	F
STR	1		10.03**
SIG	3	0.27	14.67**
STR X SIG	3	0.75	1.80

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	2.64
SIG2	16.50**
SIG3	16.86*

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXII**Analyse de la variance des exposants de Lyapounov des temps de réaction, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	4.49*
SIG	2.08
STR X SIG	1.62

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. *p < .05. **p < .01.

Tableau XXIII**Analyse de la variance des dimensions de plongement des temps de réaction, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	0.67
SIG	0.13
STR X SIG	0.31

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. *p < .05. **p < .01.

Tableau XXIV**Analyse de la variance des unités cachées des temps de réaction, en fonction des facteurs****Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	0.06
SIG	2.08
STR x SIG	0.30

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. *p < .05. **p < .01.

Tableau XXV**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	df	Wilks	F
STR	2	0.89	1.16
SIG	3	0.51	5.70**
STR X SIG	6	0.81	0.58

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	9.96**
SIG2	6.34*
SIG3	10.50*

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXVI**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert de la variabilité de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Analyses multivariées

Source	d.f.	Wilks	F
STR	2	0.90	1.44
SIG	3	0.60	4.06*
STR X SIG	6	0.80	0.63

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 22)

Source	F
SIG1	2.68
SIG2	8.09*
SIG3	0.03

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots. SIG1= condition signal à 700ms comparée aux conditions 600ms, 500ms et 400ms, SIG2= condition signal à 600ms comparée aux conditions 500ms et 400ms, SIG3= condition signal à 500ms comparée à la condition 400ms. *p < .05. **p < .01.

Tableau XXVII**Analyse de la variance des exposants de Lyapounov de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	0.12
SIG	1.07
STR X	0.60
SIG	

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. *p < .05. **p < .01.

Tableau XXVIII**Analyse de la variance des dimensions de plongement de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	1.09
SIG	2.02
STR X SIG	0.88

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXIX**Analyse de la variance des unités cachées de la fréquence cardiaque, en fonction des facteurs Stroop et Signal**

Tests univariés (d.l.: 1, 20)

Source	F
STR	5.69*
SIG	0.84
STR X SIG	2.76

Note: STR=Stroop et SIG=Signal. * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXX**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'anxiété du MAACL, en fonction du facteur Stroop**

Analyse multivariée

Source	df	Wilks	F
STR	3	0,38	11.42**

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)

Source	F
NB	21.63**
STR1	4.36*
STR2	6.30*

Note: STR=Stroop. NB=comparaison entre niveau de base et les conditions identification de couleur, Stroop et Stroop non-mots prises globalement. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXXI**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores de dépression du MAACL, en fonction du facteur Stroop**

Analyse multivariée

Source	d.l.	Wilks	F
STR	3	0.44	9.07**

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)

Source	F
NB	25.72**
STR1	4.99 *
STR2	0.25

Note: STR=Stroop. NB=comparaison entre niveau de base et les conditions identification de couleur, Stroop et Stroop non-mots prises globalement. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots * $p < .05$. ** $p < .01$.

Tableau XXXII**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'hostilité du MAACL, en fonction du facteur Stroop**

Analyse multivariée

Source	d.l.	Wilks	F
STR	3	0.52	6.59**

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)

Source	F
NB	20.09**
STR1	2.15
STR2	1.96

Note: STR=Stroop. NB=comparaison entre niveau de base et les conditions identification de couleur, Stroop et Stroop non-mots prises globalement. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots *p < .05. **p < .01.

Tableau XXXIII**Analyse multivariée de la variance et contrastes orthogonaux univariés de type Helmert pour les scores d'anxiété de l'ASTA, en fonction du facteur Stroop**

Analyse multivariée

Source	d.l.	Wilks	F
STR	3	0.57	4.55*

Contrastes orthogonaux univariés (d.l.: 1, 23)

Source	F
NB	9.28**
STR1	2.60
STR2	1.39

Note: STR=Stroop. NB=comparaison entre niveau de base et les conditions identification de couleur, Stroop et Stroop non-mots prises globalement. STR1= condition identification de couleur comparée aux conditions Stroop et Stroop non-mots, STR2= condition Stroop comparée à la condition Stroop non-mots * $p < .05$. ** $p < .01$.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Jean-Pierre Blondin, pour le support continu qu'il m'a apporté tout au long de cet exercice académique.