

Les troubles morphologiques flexionnels dans la maladie de Parkinson : origine procédurale et/ou exécutive?

*Joël Macoir, Faculté de Médecine / Université Laval, Québec
Marion Fossard, Université de Neuchâtel, Suisse
Noémie Auclair Ouellet, Institut en santé mentale de Québec*

Résumé : *La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative caractérisée par des troubles moteurs mais également par des troubles cognitifs affectant la mémoire de travail, la mémoire déclarative et les capacités attentionnelles. Sur le plan du langage, on relève aussi dans cette maladie la présence de troubles de la morphologie flexionnelle. Dans cet article, nous présentons et discutons des appuis respectifs aux propositions procédurales et exécutives relatives à l'origine fonctionnelle des troubles morphologiques flexionnels dans la maladie de Parkinson. Nous rapporterons également les résultats d'une étude que nous avons menée récemment auprès de 15 sujets souffrant de la MP et qui suggère une contribution, non spécifique au langage, des ganglions de la base aux processus exécutifs impliqués en morphologie flexionnelle.*

Abstract: *Parkinson's disease is a neurodegenerative neurological condition characterized by motor deficits but also by cognitive deficits affecting working memory, declarative memory and attentional capacities. With respect to language, the disease is also marked by the impairment of inflectional morphological processes. In this article, we present and discuss the respective supports to the procedural and executive functional origin of inflectional morphology impairment in Parkinson's disease. We also report the results from a recent study, conducted with 15 individuals with PD, suggesting a contribution, non-exclusive to language, of basal ganglia to executive processes involved in inflectional morphology.*

Mots clés : morphologie; flexion verbale; mémoire procédurale; fonctions exécutives
Keywords: morphology; verbal inflection; procedural memory; executive functions

1. Introduction

La maladie de Parkinson (MP) est une maladie dégénérative très fréquente qui touche près de 2 % des personnes âgées de plus de 65 ans. Les manifestations symptomatiques de cette maladie qui affecte les ganglions de la base et le lobe frontal (Dujardin & Defebvre 2007) sont provoquées par la dégénérescence des cellules dopaminergiques de la substance noire. La carence en dopamine qui en résulte nuit aux projections entre la substance noire et les ganglions de la base (striatum, noyau caudé et putamen) et par conséquent, aux projections entre ceux-ci et le lobe frontal. Les répercussions sont observables au plan moteur, mais aussi sur le plan cognitif. Les principaux symptômes moteurs de la MP sont le tremblement de repos, la rigidité et l'hypokinésie (caractérisée par un ralentissement et une réduction des mouvements volontaires ainsi que l'instabilité posturale) (Dujardin & Defebvre 2007). Au plan cognitif, on note principalement une diminution des ressources cognitives générales, entraînant un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information, un déficit de

traitement des informations visuo-spatiales et un déficit de la mémoire épisodique. Le langage est relativement peu affecté dans la MP mais on observe des difficultés de compréhension des phrases (par exemple Grossman 1999), du traitement lexico-sémantique des verbes d'action (par exemple Boulenger & al. 2008) et des habiletés pragmatiques (par exemple Monetta & al. 2009). La MP affecte également les processus contrôlés et volontaires impliqués dans les capacités attentionnelles, la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Dujardin & Defebvre 2007), principalement au niveau de l'inhibition et de la flexibilité mentale. Enfin, la MP est également considérée comme un trouble de « dé-automatisation » qui se manifeste par des difficultés d'apprentissage de nouvelles habiletés cognitives (Swainson & al. 2000) et des difficultés d'application de règles cognitives sous-tendues par les processus automatisés de mémoire procédurale. Sur le plan du langage, quelques études récentes (Ullman & al. 1997 ; Ullman 2004) ont d'ailleurs interprété les difficultés de conjugaison des verbes réguliers des patients MP par la présence d'un déficit procédural d'application automatique de règles morphologiques flexionnelles.

2. Origine fonctionnelle des troubles morphologiques dans la MP

En 1997, Ullman et ses collègues explorent la capacité de personnes souffrant de la MP à compléter des phrases à l'aide d'un verbe conjugué. Ils établissent une corrélation entre l'hypokinésie droite des participants et le déficit spécifique de flexion des verbes réguliers. Selon ces auteurs, ces résultats appuient l'hypothèse d'une implication des ganglions de la base dans les processus morphosyntaxiques et plus spécifiquement dans l'application automatique des règles grammaticales. Cette hypothèse explicative est cependant controversée, notamment dans des études qui proposent que les troubles morphologiques flexionnels observés dans la MP résultent plutôt d'une atteinte des fonctions exécutives. Dans cette section, nous présenterons d'abord le Modèle Déclaratif/Procédural et les études qui soutiennent l'hypothèse procédurale des troubles morphologiques dans la MP. Nous présenterons ensuite les études qui appuient plutôt l'origine exécutive de ces troubles.

2.1. L'hypothèse déclarative/procédurale

Depuis la fin des années 1960 et la multiplication des recherches en sciences cognitives, la mémoire est considérée comme un concept modulaire et multidimensionnel. Elle peut ainsi être subdivisée en différentes composantes selon la durée du maintien de l'information (mémoire à court et à long terme), et selon le mode d'acquisition et la nature des informations encodées (mémoires sémantique, lexicale et épisodique) (Baddeley 2004). Selon des modèles récents, la mémoire entretient des liens étroits avec le langage. Ces modèles stipulent que le langage consiste en la mémorisation d'éléments de sens (le lexique) qui peuvent être combinés selon un ensemble de règles (la grammaire) (Pinker & Jackendoff 2005). Selon cette perspective, mise en avant notamment par Ullman (*op. cit.*), la mémoire déclarative sous-tend la mémorisation de l'association arbitraire existant entre une étiquette verbale (sonore ou orthographique) et la signification du mot, tandis que la mémoire procédurale sous-tend les règles d'accord des noms, des adjectifs et des verbes, ainsi que la combinaison des éléments de la phrase. Ce modèle, appelé Modèle Déclaratif/Procédural (MDP), intègre également des notions neuroanatomiques associant chacun des deux modules de mémoire et leur fonction langagière associée à des substrats cérébraux distincts. Ainsi, selon le MDP, la mémoire déclarative serait sous-tendue par les régions temporo-pariétales tandis que la mémoire procédurale serait sous-tendue par les lobes frontaux et les ganglions de la base.

Les appuis au MDP viennent d'études expérimentales et d'imagerie cérébrale menées auprès de personnes souffrant de maladies neurodégénératives (Ullman *op. cit.* ; Walenski &

al. 2007), de troubles développementaux du langage (Ullman & Pierpont 2005) et d'aphasie (Ullman & al. 2005). Parmi les maladies dégénératives, la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson ont fait l'objet de plus d'attention que les autres. La maladie d'Alzheimer (MA) affecte principalement les régions temporo-pariétales, laissant les structures sous-corticales et le lobe frontal largement intacts, du moins dans les premiers stades de la maladie (Brookshire 2007).

La plupart de ces études ont surtout porté sur les processus flexionnels en morphologie verbale. L'étude de ce domaine donne en effet l'opportunité d'examiner la dissociation qui existe entre les processus réguliers et les processus irréguliers, respectivement sous-tendus, selon les propositions du MDP, par la mémoire procédurale et par la mémoire déclarative. En anglais, la conjugaison des verbes réguliers au passé consiste en l'ajout du suffixe *-ed* au verbe (*walk* → *walked*). La conjugaison des verbes irréguliers se fait plutôt par la récupération de la forme fléchie (*go* → *went*) en mémoire déclarative. Selon le MDP, l'application de la règle (ajout d'un suffixe) est un processus par défaut qui s'applique automatiquement lorsque la mémoire déclarative ne peut produire un output acceptable, soit en récupérant une forme mémorisée, soit en générant une forme nouvelle par généralisation. Dans les études portant sur la morphologie verbale chez les personnes atteintes de la MP, des déficits dans la conjugaison de verbes réguliers mais pas des verbes irréguliers sont rapportés chez les patients présentant une hypokinésie sévère, alors que le profil inverse est observé chez les personnes souffrant de la MA (Ullman *op. cit.*).

Dans une étude récente, Walenski et ses collaborateurs (2009) ont montré que la performance de 12 sujets italiens souffrant de la MA est significativement moins bonne que celle des participants du groupe contrôle pour la conjugaison (participe passé et présent) des verbes irréguliers seulement. Selon eux, ces résultats confirment que l'atteinte temporale associée à la MA compromet les aspects déclaratifs de la flexion verbale mais laisse indemne les processus procéduraux. En français, Teichmann et ses collaborateurs (2005) ont mené une étude portant sur la morphologie verbale auprès de personnes atteintes de la maladie de Huntington (MH), une autre maladie affectant les ganglions de la base. Les 30 personnes souffrant de la MH évaluées ne présentent pas de difficultés pour la conjugaison des verbes, qu'ils soient irréguliers, réguliers (verbes en ER) ou sous-réguliers (verbes en IR et OIR), un résultat qui va à l'encontre des prédictions du MDP. Comparativement aux participants du groupe contrôle, ces patients produisent cependant beaucoup plus d'erreurs de sur-généralisation (i.e. application de la règle de flexion des verbes en ER) quand ils sont invités à appliquer la règle de flexion moins fréquente en français pour conjuguer des non-verbes sous-réguliers (*'saurentir' – Demain il ... sauntera* au lieu de *saurentira*). Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que l'implication des ganglions de la base plus importante dans les processus grammaticaux que dans les processus lexicaux dépend directement de la complexité des règles impliquées. Des résultats relativement similaires sont obtenus dans une étude menée en neuroimagerie à l'aide de la TEP auprès de patients atteints de MH (Teichmann & al. 2008). Ils démontrent une implication des ganglions de la base dans les opérations de morphologie flexionnelle pour les verbes réguliers. Cependant, les auteurs démontrent aussi que ces mêmes structures cérébrales jouent un rôle dans le traitement lexical, rejoignant ainsi d'autres propositions (Copland 2003) selon lesquelles le striatum et les ganglions de la base sont impliqués dans l'accès lexical et l'inhibition de réponses concurrentes.

Dans une étude menée auprès de 14 participants souffrant de la MA, de 6 participants souffrant de la MP et de 24 sujets contrôles, Almor et ses collaborateurs (2002) rapportent cependant des résultats difficilement explicables par les propositions du MDP. En effet, la performance des participants MP est meilleure pour la flexion verbale des verbes réguliers que pour les verbes irréguliers tandis que les participants avec la MA ne démontrent aucune différence entre ces deux types de verbes.

En allemand, Penke et ses collègues (2005) étudient les capacités de flexion verbale (du présent au participe passé) de verbes réguliers et irréguliers chez 10 participants MP. La performance des patients est équivalente à celle des sujets du groupe contrôle et les auteurs objectivent une meilleure performance des participants MP pour la flexion des verbes réguliers que pour la flexion des verbes irréguliers, un résultat tout à fait discordant par rapport aux propositions du MDP. Selon eux, les ganglions de la base ne sont pas impliqués dans les opérations de morphologie flexionnelle, une conclusion similaire à celle proposée par Penke et Westermann (2006) dans une étude menée auprès de patients aphasiques de Broca, locuteurs de l'allemand (13) et du néerlandais (12). Selon l'approche connexionniste adoptée par ces auteurs, la conjugaison des verbes n'est pas le résultat d'un processus dualistique faisant intervenir deux composantes (le lexique et la grammaire mentale) tout à fait distinctes, mais plutôt d'un processus largement distribué dans le cerveau.

En conclusion, l'hypothèse d'une origine procédurale aux troubles morphologiques flexionnels dans la MP est loin d'être démontrée. Dans plusieurs études, dont certaines menées dans des langues morphologiquement plus riches que l'anglais, les auteurs ne sont pas parvenus à reproduire les résultats rapportés en anglais par Ullman et ses collaborateurs. Une explication basée sur l'atteinte concomitante des fonctions exécutives a également été proposée pour rendre compte des troubles de la morphologie flexionnelle dans la MP.

2.2. L'hypothèse exécutive

Selon le modèle proposé par Norman et Shallice (1986), deux mécanismes de base sous-tendent les réponses comportementales à des stimuli internes ou externes. Le premier de ces mécanismes, le « gestionnaire des conflits », est responsable du traitement cognitif automatique et est impliqué dans les situations routinières dans lesquelles les actions sont automatiquement activées par les stimuli de l'environnement ou qui émanent de la pensée. Ces processus automatiques, sous-tendus par les ganglions de la base, s'appuient sur l'encodage préalable en mémoire de connexions entre un contexte et une réponse comportementale. Le second mécanisme, le « système de supervision attentionnelle » (SAS), est plutôt impliqué dans le traitement cognitif contrôlé. Il est sous-tendu par le cortex préfrontal, lui-même connecté aux ganglions de la base, et intervient lorsque le traitement automatique est insuffisant pour réguler le comportement et résoudre le problème. Le SAS regroupe différentes capacités exécutives telles que la flexibilité mentale, l'inhibition et la planification, soit des processus chargés de contrôler l'exécution d'activités cognitives complexes. Les troubles de la flexibilité motrice et mentale ont d'ailleurs été attribués au dysfonctionnement des ganglions de la base (Marsden & Obeso 1994). Sur le plan cognitif, ce manque de flexibilité, rapporté dans plusieurs études menées auprès de personnes souffrant de la MP (Monchi & al. 2004), entraîne des difficultés à inhiber une réponse automatique inappropriée et, de façon concomitante, à planifier une réponse adaptée au contexte..

Selon certains auteurs, c'est l'atteinte de ces fonctions exécutives qui serait à l'origine des troubles morphologiques flexionnels observés dans la MP. Dans une tentative de reproduire les résultats obtenus par Ullman & al. (op. cit.), Longworth & al. (2005) étudient l'application de règles morphologiques flexionnelles chez 7 personnes atteintes d'un dommage cérébral sous-cortical, 15 personnes atteintes de la MP, 10 personnes atteintes de la MH et 8 personnes neurologiquement saines (groupe contrôle). Les auteurs ne trouvent aucune évidence d'une association constante entre les dysfonctions striatales et une altération sélective du traitement morphologique des verbes réguliers. Ils observent cependant une tendance marquée des participants MP à reproduire le stimulus fourni plutôt qu'à le fléchir. Selon Longworth & al. (op. cit.), cette tendance à la persévération suggère que les ganglions de la base ne sont pas essentiels pour traiter la séquence des morphèmes du passé régulier mais qu'ils jouent plutôt

un rôle d'inhibition, non spécifique au langage, dans les étapes contrôlées de sélection des représentations qui surviennent dans les étapes tardives de compréhension et de production du langage.

Une origine fonctionnelle exécutive est également proposée par Terzi & *al.* (2005) dans une étude menée en grec auprès de 27 patients atteints de la MP. Leur performance dans la tâche de conjugaison de verbes au passé est plus faible que celle des 27 sujets du groupe contrôle. Cependant, les auteurs n'observent pas de différence chez eux entre la flexion des verbes réguliers et irréguliers. En grec, aucune forme fléchie n'est supposée listée telle quelle en mémoire déclarative et la flexion verbale des verbes réguliers et irréguliers serait toujours le résultat de l'application d'une règle grammaticale. L'absence de différence dans la performance des sujets MP pour ces deux types de verbes ne permet pas d'apporter d'appui au MDP et les auteurs suggèrent que leurs difficultés résultent d'une diminution générale des ressources cognitives ou d'un problème au niveau des fonctions exécutives.

Enfin, Colman et ses collègues (2009) étudient l'application de règles morphologiques chez 28 personnes néerlandophones atteintes de la MP et 28 sujets contrôles appariés pour l'âge, le sexe et la scolarité. Dans cette étude, les participants doivent conjuguer au présent et au passé 10 verbes réguliers et 10 verbes irréguliers appariés pour la fréquence du lemme et pour la transitivité. Les items requérant la flexion au présent et au passé sont présentés aléatoirement à l'intérieur de la même liste, ce qui nécessite des participants de bonnes habiletés d'inhibition et de flexibilité. Les participants MP obtiennent de moins bons scores que les sujets normaux dans les tâches de production de verbes. Leur performance, corrélée aux scores relevés dans les tâches explorant la flexibilité mentale et la mémoire de travail, est notamment moins bonne pour la flexion des verbes au présent que pour la flexion au passé et les auteurs relèvent principalement un comportement de persévérance de la flexion du passé quand un verbe au présent est attendu. Ils n'observent cependant pas de différence entre les verbes réguliers et irréguliers. Selon Colman et ses collègues, ces résultats suggèrent que les troubles dans la production des verbes observés chez les personnes souffrant de la MP résultent d'une défaillance des processus automatisés qui les forcent à s'appuyer davantage sur les processus exécutifs contrôlés. Malheureusement, ces processus sont sous-tendus par les connexions étroites entre les ganglions de la base et le cortex frontal qui sont également affectées dans la MP.

En conclusion, l'atteinte des neurones dopaminergiques présents dans les ganglions de la base entraîne chez les personnes affectées par la MP des troubles cognitifs qui se manifestent plus particulièrement au niveau des fonctions exécutives. Selon plusieurs études récentes menées dans cette population, les troubles morphologiques flexionnels que ces personnes présentent résultent non pas d'un trouble linguistique d'origine procédurale mais plutôt d'une défaillance des processus exécutifs contrôlés affectant notamment la flexibilité mentale et l'inhibition. Dans la section suivante, nous présentons brièvement les résultats d'une étude portant sur la morphologie flexionnelle que nous avons récemment menée auprès de personnes souffrant de la MP.

3. Étude expérimentale

Dans le but de clarifier les apports de la mémoire procédurale, de la mémoire déclarative et des fonctions exécutives dans le domaine du langage, nous avons récemment mené une étude auprès de 15 personnes franco-québécoises atteintes de la MP. La performance de ces personnes a été comparée à celle de 15 personnes neurologiquement saines dans des tâches de flexion verbale appliquée à des verbes et à des non-verbes. A notre connaissance, il s'agit de la première étude du genre portant sur l'application de règles morphologiques flexionnelles auprès de personnes francophones atteintes de la MP.

3.1. Méthode

3.1.1. Participants

Quinze personnes atteintes de la MP ont été recrutées par leur neurologue traitant sur la base de critères d'inclusion (UPDRS, Goetz & *al.* 2007 ; échelle de sévérité de Hoehn et Yahr, 2001) et d'exclusion (par exemple MoCA test, Nasreddine & *al.* 2005) spécifiques à la MP sans démence. Quinze personnes neurologiquement saines (i.e. critères d'exclusion identiques à ceux du groupe expérimental) ont été recrutées auprès des proches des personnes atteintes de la MP, par le bouche à oreille et par le biais d'une banque de participants volontaires pour former le groupe de comparaison. Les participants des deux groupes ont été appariés pour l'âge, le sexe et la scolarité. On trouvera une description de l'échantillon expérimental au tableau 1.

Tableau 1. *Caractéristiques (moyenne et écart-type; nombre) sociodémographiques et cliniques des participants.*

<i>Caractéristique</i>	<i>Parkinson (n = 15)</i>	<i>Contrôle (n = 15)</i>	<i>Valeur de p</i>
Âge	68.33 (7.14)	63.07 (9.86)	.13
Sexe (H : F)	9 : 6	11 : 4	
Latéralité (D : G)	12 : 3	15	
Scolarité (ans)	12.07 (3.67)	14.2 (4.28)	.18
MoCA	24.73 (2.37)	27.31 (1.49)	.004*
Durée de la maladie	8.93 (4.39)	N/A	N/A
UPDRS-III	23.77 (8.73)	N/A	N/A
Sévérité (H & Y)	2.46 (.24)	N/A	N/A

* $p < .01$

MoCa = Montreal Cognitive Assessment

UPDRS-III = Unified Parkinson's Disease Rating Scale, section 3

H & Y = Échelle de sévérité de Hoehn et Yahr

3.1.2. Évaluation neuropsychologique

Les participants MP et contrôles ont été évalués à l'aide d'une batterie de tests neuropsychologiques destinée à évaluer leurs habiletés cognitives dans les domaines de la mémoire épisodique, de la mémoire sémantique, du langage, des gnosies visuelles et des praxies visuo-constructives.

Tableau 2. *Résultats des participants MP aux tests neuropsychologiques.*

<i>Test neuropsychologique</i>	<i>Parkinson</i>	<i>Normes</i>
Mémoire épisodique verbale: test de Grober & Buschke (rappel immédiat – 16 items)	12.21 (3.7)	15.7 (.7)*
Mémoire sémantique: Pyramids and Palm Trees test (52)	49.13 (2.9)	49.44 (1.9)
Langage: test de dénomination orale d'images DO80 (80)	73.67 (5.15)	76.16 (3.33)
Gnosies visuelles: Birmingham Object recognition battery		
- jugement de longueur de lignes (30)	26.53 (1.72)	26.9 (1.6)
- décision objet/non objet: hard subtest (32)	24.53 (2.7)	27 (2.2)
Praxies visuo-constructives: copie de la figure de Rey (36)	23.6 (8.98)	29-31.5*

* performance significativement inférieure à la moyenne normale

Les participants MP ne présentent pas de troubles des gnosies visuelles (Riddoch & Humphreys 1993), de la mémoire sémantique (Callahan & *al.* 2010) et du langage (Deloche & Hannequin 1997) au niveau de l'accès lexical (voir tableau 2). Comparativement aux

données normatives et de manière similaire à ce qui est habituellement rapporté pour cette population, leur performance est cependant significativement plus faible pour la mémoire épisodique verbale (Calisis & al. 1994) et les praxies visuo-constructives (Rey 1960).

3.1.3. Évaluation de la mémoire de travail et des fonctions exécutives

Les participants des deux groupes ont aussi été évalués à l'aide d'une batterie de tests évaluant la mémoire de travail et les fonctions exécutives. Comme on peut le constater dans les données présentées au tableau 3, la performance des participants MP est significativement plus faible que celle des sujets du groupe contrôle pour la mémoire de travail (Brown 1958) et les fonctions exécutives (Burgess & Shallice 1997 ; Joannette & al. 2004). De manière à apprécier de façon globale les fonctions exécutives, un score composite a également été calculé sur la base des scores z moyens à ces tests.

Tableau 3. Performance des participants des deux groupes dans les tests explorant la mémoire de travail et les fonctions exécutives.

Tests neuropsychologiques	Parkinson	Contrôles
Mémoire de travail		
- Empan de chiffres en ordre	6.47 (.9)	6.73 (1.16)
- Empan de chiffres à l'envers	4.47 (.9)	5.13 (.99) [†]
- Test de Brown-Peterson		
Score total sans interférence	10.67 (1.5)	11.8 (.56)*
Score total avec interférence	6.73 (2.28)	8.4 (2.2)*
Fonctions exécutives		
- Fluences verbales		
Fluence libre	50.4 (13.1)	69.6 (16.7)**
Fluence formelle	18.47 (6.62)	28.47 (8.35)**
Fluence sémantique	18.53 (4.97)	26.73 (5.85)***
- Test d'inhibition verbale de Hayling		
Condition automatique (temps)	61.93 (14.45)	50.13 (7.47)*
Condition inhibition (temps)	159.8 (39.07)	129.33 (18.21)**
- Test de planification de Brixton		
Nombre d'erreurs	27.13 (7.59)	14.47 (5.42)***
- Score composite	-1.57 (.75)	-.0002 (.59)***

[†] = tendance à la significativité; * p < .05; ** p < .01; *** p < .001

3.1.4. Matériel et procédure

Les participants à l'étude ont été soumis à des tâches de conjugaison de verbes et de non-verbes, directement inspirées d'une de nos études récentes (Macoir & al. 2010). Les non-verbes sont utilisés dans le but de minimiser le recours à l'information lexicale-sémantique et ainsi de mieux apprécier l'application des règles de morphologie flexionnelle verbale.

La tâche comprend les quatre conditions suivantes :

1. présentation d'un verbe au présent et conjugaison au futur,
2. présentation d'un verbe au futur et conjugaison au présent,
3. présentation d'un non-verbe au présent et conjugaison au futur,
4. présentation d'un non-verbe au futur et conjugaison au présent.

Les 120 stimuli (36 verbes et 24 non-verbes x 2 conjugaisons) sont présentés par écrit en ordre pseudo-aléatoire à l'aide du logiciel PowerPoint et sont insérés dans une phrase porteuse lue à voix haute par l'examinateur (par exemple, *Aujourd'hui ils finissent, demain ils ...*).

Pour les verbes, la tâche consiste à conjuguer à la 3^e personne du pluriel du présent de l'indicatif et du futur, 12 verbes réguliers en ER, 12 verbes sous-réguliers en IR, OIR et RE et 12 verbes irréguliers, appariés en longueur et en fréquence lexicale selon l'échelle de fréquence de Baudot (1992). En français, la plupart des verbes (~90 %) sont réguliers et sont conjugués par l'application de règles flexionnelles. Par exemple, la flexion du verbe *pousser* à la 3^e personne du pluriel du futur (*pousseront*) est effectuée par la récupération de sa racine (*pouss-*) dans le lexique et par l'application des 2 règles flexionnelles suivantes : ajout de l'affixe du futur (+*er*) et de l'affixe de la personne (+*ont*). La conjugaison des verbes qui se terminent par IR ou RE est également effectuée par l'application de règles flexionnelles mais ils sont dits sous-réguliers car ils sont beaucoup moins nombreux en français (~3 % de chaque type) et sont peu productifs dans la langue. Par opposition aux verbes réguliers dont la consonne finale est permanente (par exemple *pousser* : le /s/ final de la racine /pus/ est toujours présent), la forme de base des verbes sous-réguliers comprend une consonne finale alternée ou flottante (par exemple *abattre* : le /t/ final de la racine /aba/ est dit flottant puisque sa prononciation dépend du contexte flexionnel : non association à la 3^e personne du singulier du présent de l'indicatif /ilaba/ vs prononciation à la 3^e personne du pluriel du présent de l'indicatif /ilzabat/) sont obtenues par l'activation de la racine verbale dans le lexique et par l'application de règles phono-morphologiques (Macoir & Béland 1998). Ces verbes sous-réguliers comprennent donc un contexte flexionnel plus exigeant qui pourrait occasionner des difficultés plus importantes chez les sujets présentant une atteinte des fonctions exécutives. Enfin, si l'on s'appuie sur les propositions du MDP, les formes conjuguées des verbes irréguliers (par exemple *refaire*) ne peuvent être obtenues par l'application de règles et sont donc récupérées telles quelles (par exemple *refont*) en mémoire déclarative.

Les mêmes tâches de conjugaison ont été effectuées sur 24 non-verbes de même longueur et construits selon la même finale que les verbes réguliers et sous-réguliers. Par exemple, le verbe régulier *placer* (/plase/) a servi de base à la construction du non-verbe *gricer* (/grise/) qui se conjugue *ils gricent* au présent et *ils griceront* au futur. Pour les verbes sous-réguliers comme *finir* (/fɛniʁ/), des non-verbes comme *bounir* (/buniʁ/) ont été construits. Parmi ces 24 non-verbes, 18 ne présentent pas d'ambiguïté particulière et leur flexion peut être effectuée par analogie avec une forme verbale correspondante. Par exemple, la phrase porteuse *Aujourd'hui ils ganendent, demain ils ...* peut être complétée par le non-verbe *ganendront* par analogie avec un verbe en DRE comme *pondre* ou par le non-verbe *ganenderont* par analogie avec un verbe en DER comme *garder*. Les deux finales ont une fréquence équivalente en français et les deux réponses sont donc possibles et attendues. Les 6 autres non-verbes présentent des caractéristiques qui les rendent particulièrement sensibles à une atteinte des fonctions exécutives. Ainsi, dans la condition de flexion du présent au futur, les 6 non-verbes du type *tornissent* peuvent être traités par les sujets comme des verbes en IR similaires à *finir* et donc être conjugués au futur *torniront*. Cependant, ils peuvent également être traités comme les verbes en ISSER tels *visser* et donc être conjugués *tornisseront*. Cette réponse est donc acceptable mais peu attendue puisqu'elle correspond à un paradigme très peu productif pour ce contexte (124 occurrences de finale verbale **iront* d'un verbe en IR et 4 de finale verbale **isseront* d'un verbe en ISSER dans la banque de données lexicales Lexique (New, Pallier & al. 2004)). Un sujet pourrait donc produire de manière plus fréquente une réponse correspondant au paradigme le moins productif (*tornissent* → *tornisseront*) en raison de difficultés à inhiber la forme de surface présentée. La flexion de ces mêmes 6 non-verbes du futur vers le présent est plus complexe que celle du présent au futur dans laquelle la forme donnée à l'entrée correspond souvent à la forme de base. Dans la flexion du futur vers le présent, le sujet doit en effet d'abord identifier la forme de base dans la forme de surface puis appliquer la règle du présent, ce qui pourrait entraîner des difficultés supplémentaires. Par exemple, la complétion d'une phrase porteuse comme *Demain ils bousiront, aujourd'hui ils ...* peut être effectuée en identifiant la forme de base *bousi^s* par analogie avec un verbe en IR

comme *finir* et donner le non-verbe fléchi *bouissent* ou bien en identifiant la forme de base *bou^s* par analogie avec un verbe en IR comme *partir* et donner le non-verbe fléchi *bousent*. Cette ambiguïté dans le traitement des non-verbes en IR pourrait ainsi entraîner des difficultés chez des sujets présentant un trouble de l'inhibition et de la flexibilité mentale.

3.2. Résultats

3.2.1. Tâches de flexion de verbes

Tel que présenté dans le tableau 4, la performance des participants MP est fortement comparable à celle des participants du groupe contrôle pour la conjugaison des verbes au présent et au futur. On observe cependant une différence marginalement significative entre les deux groupes de participants pour la flexion du présent au futur des verbes sous-réguliers. Des analyses de corrélation (test de Pearson) entre les résultats aux tâches de flexion et le score composite des fonctions exécutives ont également été effectuées. Ces analyses montrent une corrélation significative entre ce score composite et le score pour les verbes sous-réguliers (i.e. plus le score composite des fonctions exécutives est élevé, plus celui obtenu pour la conjugaison des verbes sous-réguliers l'est aussi), ainsi qu'entre le score composite et le score total pour la flexion du futur au présent. Une tendance à la significativité est également relevée pour la corrélation entre le score composite des fonctions exécutives et le score flexionnel des verbes irréguliers du futur au présent. De manière globale, ces analyses de corrélation nous indiquent donc que plus la performance est faible (*vs* élevée) dans les tâches mesurant les fonctions exécutives et plus elle est faible (*vs* élevée) dans les mesures de flexion verbale des verbes.

Tableau 4. Résultats (moyenne et écart-type; corrélation avec le score composite des fonctions exécutives) des participants MP et contrôles dans les tâches de flexion de verbes.

Conjugaison des verbes	Parkinson	Contrôles	Test-t (p)	Corr. (p)
Présent → futur total (36)	28.47 (6.25)	31.2 (5.03)	-1.32 (.2)	.36 (.053) [†]
- Réguliers (12)	12 (0)	12 (0)	N/A	N/A
- Sous-réguliers (12)	8.13 (3.78)	10.47 (2.26)	-2.05 (.052) [†]	.039 (.03)*
- Irréguliers (12)	8.4 (2.87)	8.73 (3.15)	-3 (.76)	.25 (.18)
Futur → présent total (36)	31.8 (5.23)	33.87 (2.72)	-1.36 (.18)	.37 (.04)*
- Réguliers (12)	11.87 (.35)	12 (0)	-1.47 (.16)	.32 (.08)
- Sous-réguliers (12)	10.2 (3.1)	11.2 (1.47)	-1.13 (.27)	.33 (.07)
- Irréguliers (12)	9.73 (2.15)	10.67 (1.63)	-1.34 (.19)	.35 (.055) [†]

[†] = tendance à la significativité ; * p < .05

Si l'on compare la performance pour les différents types de verbes à l'intérieur des groupes, on constate que le score obtenu par les personnes atteintes de la MP pour la conjugaison au futur des verbes réguliers est significativement plus élevé que le score pour les verbes sous-réguliers ($t(14) = -3.965$; $p = .001$) et irréguliers ($t(14) = -4.852$; $p < 0.001$). Des différences similaires sont également obtenues dans la tâche de conjugaison du futur au présent (réguliers *vs* sous-réguliers : $t(14) = -2.175$; $p = .047$ – réguliers *vs* irréguliers = $t(14) = -4$; $p = .001$). Ce profil de performance est pratiquement identique à celui observé dans le groupe contrôle, mis à part le fait que ces derniers obtiennent un score significativement plus élevé pour les verbes sous-réguliers que pour les verbes irréguliers dans la conjugaison au futur ($t(14) = -3.07$; $p < .01$).

3.2.2. Tâches de flexion de non-verbes

La performance des participants dans les tâches de flexion de non-verbes est présentée au tableau 5. On ne relève aucune différence significative entre les groupes pour la flexion du présent au futur. Comparativement aux sujets du groupe contrôle, les participants MP ont cependant tendance à produire moins de réponses attendues (i.e. réponses correspondant au paradigme le plus productif). On note également une corrélation significative entre le score composite des fonctions exécutives et le taux de réponses attendues indiquant, là encore, que plus ce score composite est bas, plus le taux de réponses attendues est faible.

Tableau 5. Résultats (moyenne et écart-type; corrélation avec le score composite des fonctions exécutives) des participants MP et contrôles dans les tâches de flexion de non-verbes.

Conjugaison des non-verbes	Parkinson	Contrôles	Test-t (p)	Corr. (p)
Présent → futur total (24)	22.8 (1.57)	22.47 (1.19)	.66 (.52)	-.17 (.37)
- Non ambigu (18)	17.27 (1.16)	16.8 (1.26)	1.05 (.3)	-.22 (.25)
- Ambigu total (6)	5.53 (.64)	5.67 (.62)	-.58 (.57)	.05 (.78)
▪ réponses attendues (6)	.93 (1.5)	2.33 (2.55)	-1.82 (.08) [†]	.52 (.003)**
Futur → présent total (24)	13.6 (2.28)	16.67 (4.68)	-2.17 (.04)*	.23 (.22)
- Non ambigu (18)	12.53 (2.95)	14.27 (3.75)	-1.41 (.17)	.15 (.44)
- Ambigu total (6)	1.07 (1.39)	2.4 (1.84)	-2.24 (.033)*	.25 (.18)

[†] = tendance à la significativité; * p < .05; ** p < .01

Dans la tâche de flexion du futur au présent, la performance des sujets MP est en revanche significativement plus faible que celle des sujets du groupe contrôle et cette différence est également significative pour les 6 non-verbes ambigus. Cependant, aucune corrélation n'est significative avec le score composite des fonctions exécutives.

3.3. Conclusion et discussion

De manière similaire à ce qui avait été rapporté dans plusieurs études, les participants MP de notre étude se comportent globalement comme les sujets neurologiquement sains dans les tâches de flexion verbale. Nos résultats montrent d'ailleurs que, comme les sujets contrôles, leur performance est significativement meilleure pour les verbes réguliers que pour les verbes irréguliers. La différence entre les deux groupes est cependant proche du seuil de significativité pour la flexion du présent au futur des verbes sous-réguliers, dont la flexion est moins transparente et donc potentiellement plus exigeante sur le plan exécutif. Une corrélation significative est d'ailleurs observée entre le score composite des fonctions exécutives et le score pour ces verbes sous-réguliers, venant appuyer notre interprétation. Une telle corrélation est également établie avec le score total pour la flexion des verbes du futur au présent.

L'utilisation de tâches de flexion de non-verbes est intéressante car elle minimise le recours à l'information lexicale-sémantique et permet ainsi d'apprécier l'application des règles de morphologie flexionnelle verbale. Dans ces tâches, la performance des participants MP est significativement plus faible que celle des sujets contrôles pour la conjugaison, cognitivement plus exigeante, du futur vers le présent (score total et score pour les 6 verbes dont la flexion est ambiguë). Dans la conjugaison inverse, du présent au futur, les participants MP se distinguent des sujets contrôles par la production de réponses acceptables mais moins conformes au paradigme flexionnel le plus productif. Ils basent donc leur réponse sur la forme de surface présentée plutôt que sur la forme de base la plus productive en français (*tornissent* → *tornisseront* plutôt que *torniront*). Ce comportement, qui peut être attribué à un déficit

d'inhibition, est d'ailleurs corroboré par une corrélation significative avec le score composite des fonctions exécutives.

Ces résultats, comme ceux de plusieurs études menées en langue anglaise (Longworth & *al. op. cit.*) et dans d'autres langues (Colman & *al. 2009* ; Terzi & *al. 2005*), ne sont que partiellement explicables par le MDP (Ullman & *al. op. cit.*). Les participants MP de notre étude présentent des caractéristiques cliniques similaires à celles des participants de l'étude d'Ullman (*op. cit.*) mais, contrairement à ces derniers, ils ne présentent pas de difficultés plus marquées pour les verbes réguliers que pour les verbes irréguliers, et c'est même le tableau inverse qui est observé. En ce qui concerne la performance pour les non-verbes, les participants MP se comportent comme ceux du groupe contrôle mais produisent moins de réponses attendues, un comportement significativement corrélé à leur performance dans les tâches mesurant les fonctions exécutives.

Ces résultats semblent cependant plus facilement conciliables avec l'hypothèse exécutive proposée dans diverses études récentes menées auprès de la même population clinique.

4. Discussion générale

Le rôle des ganglions de la base dans le traitement du langage a été démontré dans plusieurs études. Par exemple, les patients souffrant d'une aphasie post-AVC affectant spécifiquement ces structures sous-corticales présentent souvent des troubles du langage variés, tels que des difficultés à initier la parole, un syndrome d'accent étranger, de l'agrammatisme (Nadeau & Crosson 1997). Selon certaines études, les personnes souffrant de MP, une maladie qui affecte spécifiquement les ganglions de la base, présentent aussi des troubles du langage similaires à ceux de l'aphasie de Broca, incluant des difficultés à fléchir les verbes réguliers (Ullman *op. cit.*). Plusieurs études de neuroimagerie cérébrale démontrent aussi une implication des ganglions de la base, et particulièrement du striatum, dans une grande variété d'habiletés linguistiques, incluant la génération de mots, le jugement de grammaticalité de phrases et la détection d'ambiguïtés syntaxiques (Friederici & *al. 2003*).

Comme nous l'avons démontré dans cet article, l'existence d'un déficit d'application de règles linguistiques chez les personnes atteintes de la MP demeure controversée. Considérant que le langage et la mémoire sont intimement liés, le MDP soutient qu'une atteinte aux structures cérébrales sous-tendant la mémoire procédurale se traduit par un déficit d'application de règles linguistiques (Ullman & *al. op. cit.*). Le rôle spécifique des ganglions de la base dans le langage reste cependant peu clair. Selon la conception dominante dans la littérature, ces structures cérébrales ne sont pas directement impliquées dans le langage mais jouent plutôt un rôle de contrôle cognitif, non spécifique au langage, permettant à la fois la sélection de comportements ou de représentations mentales adaptées à la situation et l'inhibition des réponses inadaptées (Crosson & Haaland 2003). Ce contrôle cognitif sous-tendu par les fonctions exécutives selon le modèle de Norman et Shallice (1986), comprend la capacité de planifier, d'initier et de contrôler des comportements dirigés vers un but. Elles sous-tendent aussi les capacités d'inhibition et de flexibilité permettant d'ajuster ces comportements lorsque de nouvelles informations sont présentées. Ainsi, les structures liées à la mémoire procédurale, soit les lobes frontaux et les ganglions de la base, seraient également impliquées dans d'autres processus mentaux, notamment dans les fonctions exécutives (Leh & *al. 2010*).

L'atteinte des fonctions exécutives dans la MP est bien documentée (McKinlay & *al. 2010*) et il est donc possible que les processus linguistiques complexes responsables de l'application de règles flexionnelles verbales recrutent aussi fortement ces capacités cognitives. Cette implication est d'ailleurs encore plus plausible quand le traitement cognitif flexionnel s'applique à de nouvelles formes linguistiques comme c'est le cas pour la conjugaison de non-

verbes. Cette hypothèse exécutive à l'origine des troubles de la morphologie flexionnelle présentés par certains patients MP a été soulevée à plusieurs reprises dans la littérature (Colman & *al.op. cit.* ; Longworth & *al. op. cit.* ; Terzi & *al. op. cit.*). Les résultats de l'étude expérimentale présentée dans cet article suggèrent également une contribution plus exécutive que procédurale aux troubles morphologiques relevés chez les 15 participants MP étudiés.

5. Conclusion générale

Le développement récent de différents modèles théoriques comme le MDP a permis de conceptualiser le langage au sein de la cognition et non comme entité distincte et isolée des fonctions mentales supérieures. Selon Ullman (*op. cit.*), les ganglions de la base sous-tendent le traitement cognitif de séquences non-linguistiques (par exemple l'apprentissage procédural) et linguistiques (la grammaire mentale). Dans la MP, l'impact de l'atteinte de ces structures sous-corticales sur les capacités de morphologie flexionnelle verbale reste largement controversé. Plusieurs études expérimentales menées auprès de cette population clinique suggèrent plutôt un rôle de contrôle exécutif, non spécifique au langage, des ganglions de la base. De futures études sont cependant encore nécessaires pour appuyer cette hypothèse, notamment en tentant de déterminer les rôles exécutifs spécifiques des ganglions de la base et leurs implications sur le plan du langage.

Joël Macoir

Faculté de médecine de l'Université Laval, Département de réadaptation

1050, avenue de la Médecine, Québec (Québec) G1V 0A6

Téléphone : 418-656-2131

Télécopieur : 418-656-5476

<Joel.macoir@rea.ulaval.ca>

Marion Fossard

Université de Neuchâtel, FLSH

Institut des Sciences du Langage et de la Communication

Ruelle Vaucher 22, 2000 Neuchâtel

Téléphone: +41 (0)32 718 18 95

<marion.fossard@unine.ch>

Noémie Auclair-Ouellet

Centre de recherche de l'Institut en santé mentale de Québec

2601, Rue de la Canardière, Québec (Québec) G1J 2G3

Téléphone : 418-663-5741

<noemie.auclair-ouellet.1@ulaval.ca>

Références

- Almor, A., Kempler, D., Andersen, E.S. & *al.* (2002). The production of regularly and irregularly inflected nouns and verbs in alzheimer and parkinson patients. *Brain and Language*, 83 (1), 149-151.
- Baddeley, A.D. (2004). The psychology of memory. In A.D. Baddeley, M.D. Kopelman, & B.A. Wilson (eds), *The essential handbook of memory disorders for clinicians*, New York, Wiley, 1-14.
- Baudot, J. (1992). *Fréquences d'utilisation des mots en français écrit contemporain*. Montréal, Les Presses de l'Université de Montréal.
- Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S. & *al.* (2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, 46 (2), 743-756.

- Brookshire, R.H. (2007). Dementia. In R.H. Brookshire (ed.), *An introduction to neurogenic communication disorders* (7th ed.), St-Louis, Mosby/Elsevier, 531-599.
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10, 12-21.
- Burgess, P.W. & Shallice, T. (1997). *The Hayling and Brixton Tests*. Bury St Edmunds, Thames Valley Test Company.
- Calisis, F., Wyns, C., Van der Linden, M. & Coyette, F. (1994). Procédure de rappel libre/indicé de Grober et Buschke : manuel d'utilisation et normes préliminaires. Liège, Université de Liège, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation.
- Callahan, B.L., Macoir, J., Hudon, C. & al. (2010). Normative Data for the Pyramids and Palm Trees Test in the Quebec-French Population. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 25 (3), 212-217. doi:10.1093/arclin/acq013.
- Colman, K.S.F., Koerts, J., van Beilen, M. & al. (2009). The impact of executive functions on verb production in patients with Parkinson's disease. *Cortex*, 45 (8), 930-942. Retrieved from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B8JH1-4VR24F3-1/2/e114415efb5105ef2a7a803918dd0347>>.
- Copland, D. (2003). The basal ganglia and semantic engagement: potential insights from semantic priming in individuals with subcortical vascular lesions, Parkinson's disease, and cortical lesions. *Journal of the International Neuropsychological Society (JINS)*, 9 (7), 1041-1052. doi:10.1017/S1355617703970081.
- Crosson, B. & Haaland, K.Y. (2003). Subcortical functions in cognition: Toward a consensus. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9 (7), 1027-1030. Retrieved from <http://journals.cambridge.org/abstract_S1355617703970068>.
- Deloche, G. & Hannequin, D. (1997). *Test de dénomination orale d'images-DO 80*. Paris, Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Dujardin, K. & Defebvre, L. (eds) (2007). *Neuropsychologie de la maladie de Parkinson et des syndromes apparentés*. (2^{de} éd.). Issy-les-Moulineaux, Elsevier-Masson.
- Friederici, A.D., Rüschemeyer, S.A., Hahne, A. & Fiebach, C.J. (2003). The Role of Left Inferior Frontal and Superior Temporal Cortex in Sentence Comprehension: Localizing Syntactic and Semantic Processes. *Cerebral Cortex*, 13 (2), 170-177. doi:10.1093/cercor/13.2.170.
- Goetz, C.G., Fahn, S., Martinez-Martin, P. & al. (2007). Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Process, format, and clinimetric testing plan. *Movement disorders*, 22 (1), 41-7. doi:10.1002/mds.21198.
- Grossman, M. (1999). Sentence processing in Parkinson's disease. *Brain and cognition*, 40 (2), 387-413. doi:10.1006/brcg.1999.1087.
- Hoehn, M.M. & Yahr, M.D. (2001). Parkinsonism: onset, progression, and mortality. 1967. *Neurology*, 57 (10, Suppl 3), 11-26.
- Joanette, Y., Ska, B. & Côté, H. (2004). *MEC: Protocole Montréal d'Évaluation de la Communication*. Isbergues, Ortho Editions.
- Leh, S.E., Petrides, M. & Strafella, A.P. (2010). The neural circuitry of executive functions in healthy subjects and Parkinson's disease. *Neuropsychopharmacology*, 35 (1), 70-85. doi:10.1038/npp.2009.88.
- Longworth, C.E., Keenan, S.E., Barker, R.A. & al. (2005). The basal ganglia and rule-governed language use: evidence from vascular and degenerative conditions. *Brain*, 128 (3), 584-596.
- Macoir, J. & Bédard, R. (1998). Acquired dyslexia affecting the processing of final consonant in French: A morphophonological account. *Journal of Neurolinguistics*, 11 (4), 355-376.
- Macoir, J., Fossard, M., Nespoulous, J.L. & al. (2010). The application of rules in morphology, syntax and number processing: A case of selective deficit of procedural or executive mechanisms? *Neurocase*, 16 (4), 358-376.
- Marsden, C.D. & Obeso, J.A. (1994). The functions of the basal ganglia and the paradox of stereotaxic surgery in Parkinson's disease. *Brain*, 117 (4), 877-97. Retrieved from <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7922472>>.

- McKinlay, A., Grace, R.C., Dalrymple-Alford, J.C. & Roger, D. (2010). Characteristics of executive function impairment in Parkinson's disease patients without dementia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16 (2), 268-77. doi:10.1017/S1355617709991299.
- Monchi, O., Petrides, M., Doyon, J. & al. (2004). Neural bases of set-shifting deficits in Parkinson's disease. *The Journal of neuroscience*, 24 (3), 702-10. doi:10.1523/JNEUROSCI.4860-03.2004.
- Monetta, L., Grindrod, C.M. & Pell, M.D. (2009). Irony comprehension and theory of mind deficits in patients with Parkinson's disease. *Cortex*, 45 (8), 972-81. doi:10.1016/j.cortex.2009.02.021.
- Nadeau, S.E. & Crosson, B. (1997). Subcortical aphasia. *Brain and Language*, 58, 355-402.
- Nasreddine, Z.S., Phillips, N.A., Bedirian, V. & al. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53 (4), 695-699. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15817019>.
- New, B., Pallier, C., Brysbaert, M. & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: a new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36 (3), 516-524.
- Norman, D.A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (eds), *Consciousness and selfregulation*, New York: Plenum Press, 1-18)
- Penke, M., Janssen, U., Indefrey, P. & Seitz, R. (2005). No evidence for a rule/procedural deficit in German patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, 95 (1), 139-140. Retrieved from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WC0-4H45GST-3/2/900ab4b1437c83d5c25f427b2623a8bb>>.
- Penke, M. & Westermann, G. (2006). Broca's Area and Inflectional Morphology: Evidence from Broca's Aphasia and Computer Modeling. *Cortex*, 42 (4), 563-576. Retrieved from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B8JH1-4S03J28-N/2/a511483542d694814a49494549ee007>>.
- Pinker, S. & Jackendoff, R. (2005). The faculty of language: What's special about it? *Cognition*, 95, 201-236. doi:doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.004.
- Rey, A. (1960). *Test de la Figure complexe de Rey*. Paris, Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Riddoch, M.J. & Humphreys, G.W. (1993). *Birmingham Object Recognition Battery*. Hove, Lawrence Erlbaum Associates.
- Swinson, R., Rogers, R.D., Sahakian, B.J. & al. (2000). Probabilistic learning and reversal deficits in patients with Parkinson's disease or frontal or temporal lobe lesions: possible adverse effects of dopaminergic medication. *Neuropsychologia*, 38 (5), 596-612. Retrieved from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393299001037>>.
- Teichmann, M., Gaura, V., Demonet, J.F. & al. (2008). Language processing within the striatum: evidence from a PET correlation study in Huntington's disease. *Brain*, 131 (4), 1046-1056. Retrieved from <<http://brain.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/131/4/1046>>.
- Teichmann, M., Dupoux, E., Kouider, S. & al. (2005). The role of the striatum in rule application: the model of Huntington's disease at early stage. *Brain*, 128 (5), 1155-67. doi:10.1093/brain/awh472.
- Terzi, A., Papapetropoulos, S. & Kouvelas, E.D. (2005). Past tense formation and comprehension of passive sentences in Parkinson's disease: Evidence from Greek. *Brain and Language*, 94 (3), 297-303. Retrieved from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WC0-4FVCBVM-1/2/377b3dc95919e13a324704b6ef4434c8>>.
- Ullman, M.T., Corkin, S., Coppola, M. & al. (1997). A Neural Dissociation within Language: Evidence that the Mental Dictionary Is Part of Declarative Memory, and that Grammatical Rules Are Processed by the Procedural System. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9 (2), 266-276. doi:10.1162/jocn.1997.9.2.266.
- Ullman, M.T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92 (1-2), 231-270. doi:doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008.
- Ullman, M.T., Pancheva, R., Love, T. & al. (2005). Neural correlates of lexicon and grammar: Evidence from the production, reading, and judgment of inflection in aphasia. *Brain and Language*, 93 (2), 185-238. doi:doi.org/10.1016/j.bandl.2004.10.001.
- Ullman, M.T. & Pierpont, E.I. (2005). Specific language impairment is not specific to language: the procedural deficit hypothesis. *Cortex*, 41 (3), 399-433.

- Walenski, M., Mostofsky, S.H. & Ullman, M.T. (2007). Speeded processing of grammar and tool knowledge in Tourette's syndrome. *Neuropsychologia*, 45 (11), 2447-2460. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.04.001.
- Walenski, M., Sosta, K., Cappa, S. & Ullman, M. (2009). Deficits on irregular verbal morphology in Italian-speaking Alzheimer's disease patients. *Neuropsychologia*, 47 (5), 1245-1255. doi:doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.12.038.