

La syntaxe générative dans le cerveau

Yosef Grodzinsky

Depuis son origine, la grammaire générative s'est présentée comme la branche de la psychologie humaine qui étudie la faculté de langage. L'important article programmatique de Chomsky et Miller (1963) a ainsi formulé trois questions auxquelles les sciences du langage devaient chercher à répondre :

1. Qu'est-ce que la connaissance de la langue ?
2. Comment apparaît-elle chez l'individu ?
3. Comment est-elle utilisée ?

Dans cette perspective, la tâche du linguiste qui essaie de découvrir les principes de la connaissance linguistique est très voisine de celle du développementaliste qui étudie l'acquisition du langage ou de celle du psychologue expérimentaliste qui étudie les processus de reconnaissance et de génération du langage. La psycholinguistique et la linguistique développementale sont donc des cousines directes, voire des sœurs, de la linguistique théorique.

Dans une perspective plus large, le langage et sa base psychologique sont des phénomènes biologiques et devraient donc être étudiés en tant que tels. Autrement dit, ce que Chomsky et son école proposent, c'est un programme de recherche biologique. Pour beaucoup, en effet, les matériaux habituels d'où sont tirés les faits linguistiques – les intuitions sur la grammaticalité, l'ambiguïté, la synonymie, la coréférence et la signification – sont d'authentiques phénomènes biologiques : les réponses aux quiz grammaticaux sont prises comme des comportements, nous, les humains, sommes des organismes, la biologie concerne (entre autres choses) les comportements des organismes, et donc la linguistique est de la biologie. Ceci paraît être en résumé la logique de cette expression souvent citée de Chomsky, selon laquelle « la linguistique fait partie de la psychologie, et finalement de la biologie ».

Que cette recherche soit liée de près à l'étude de la biologie humaine était clair depuis le début. Pourtant, ni Chomsky et Miller, ni les autres ne sont allés jusqu'à formuler une quatrième question qui paraît évidente, à savoir celle du substrat biologique des systèmes grammaticaux (voir néanmoins Lenneberg, 1967). Ce substrat, aurait-on pu déjà affirmer alors, est lié de manière centrale à notre cerveau aussi bien qu'à notre composition génétique. Le choix d'esquiver les questions biologiques peut avoir été raisonnable à l'époque : il n'existait que peu d'études de la représentation de la grammaire dans le cerveau, et encore moins dans le génome humain. À l'exception des idées de Roman Jakobson sur l'aphasie (Jakobson, 1941), et de quelques rares résultats préliminaires d'expériences sur les déficits grammaticaux suite à des dommages cérébraux localisés, il n'y avait pas de résultats neurolinguistiques sur lesquels Chomsky et Miller auraient pu s'appuyer, ou même qu'ils auraient pu considérer comme indices d'une biologie du langage.

Mais les temps ont changé : une riche littérature est aujourd'hui disponible sur la biologie du langage, laquelle conduit, dans le contexte de la grammaire, à une quatrième question dans le style de Chomsky et Miller :

4. Comment la connaissance de la langue est-elle représentée dans le cerveau ?

Nous avons maintenant à disposition quelques réponses préliminaires à cette question. Les résultats expérimentaux amassés au cours des trente dernières années par les psychologues et les neurologues suggèrent fortement que le langage est quelque chose de réellement biologique. De nouvelles approches, de nouvelles méthodes expérimentales et de nouveaux instruments scientifiques ont apporté de nouvelles sources de données qui ne joueront pas seulement, espère-t-on, un rôle central dans la théorisation linguistique future, mais qui aideront aussi à combler les fossés entre les disciplines. Dans ce court article, je voudrais passer en revue quelques-unes de ces approches, ce qu'elles ont permis de savoir, et comment.

1. LA MODULARITÉ EN ANATOMIE ET EN LINGUISTIQUE

Les linguistes parlent souvent de la structure modulaire de la théorie linguistique. La monographie de Jerry Fodor (1983) insistait sur la modularité comme une question également cruciale en sciences cognitives. La longue histoire de ce concept en anatomie est moins connue. Paul Broca – un père fondateur de l'aphasiologie – se trouvait engagé dans un débat animé sur ce sujet dès les années 1860. Son plaidoyer (assez convaincant) en soutien de l'existence d'une région anatomique distincte pour le langage trouva un opposant acharné en Pierre Flourens, qui avança l'argument selon lequel le cerveau ne présente pas de distinctions fonctionnelles ni structurelles (et qui devança aussi Victor Hugo dans un concours pour un siège à l'Académie française). La notion dont ils débattaient était très similaire à la modularité telle qu'on l'entend aujourd'hui et, comme aujourd'hui, le débat était de nature empirique – tant Broca que Flourens se référaient à des données pathologiques, discutant de la relation entre les comportements sélectivement altérés de patients cérébro-lésés et les sites des lésions révélés par les opérations *post-mortem*. Broca observa une perte sélective de la capacité de production du langage suite à un dommage bien localisé du lobe frontal gauche (ou plus précisément, à la base de sa troisième circonvolution gyrale), ce à quoi Flourens rétorquait avec des contre-preuves (parfois quelque peu douteuses) en montrant que des dommages dans d'autres régions avaient des conséquences similaires. Plus tard, John Hughlings-Jackson, Sigmund Freud et d'autres, de l'école française (Hughlings-Jackson, 1878 ; Freud, 1895) entrèrent dans le débat, en prônant davantage encore une vue « holistique » qui ne permettait aucune distinction entre des types de capacités mentales, et en rejetant l'idée d'une spécialisation cérébrale. D'après eux, le langage faisait partie d'une capacité symbolique générale qui résidait pratiquement partout dans le cerveau.

Ce débat sur la modularité marqua la première manche d'une série qui devait se poursuivre les années suivantes. Juste avant le tournant du XX^e siècle, la position modulariste réapparut, cette fois sous un angle micro-anatomique, plutôt que clinique. On croyait jusqu'alors que le cerveau n'était pas composé de cellules, mais qu'il était plutôt une partie indifférenciée de l'organisme (au moins au niveau microscopique). Golgi inventa de nouvelles méthodes pour la coloration des tissus neuraux, que Ramón y Cajal utilisa pour produire la première preuve microscopique de l'existence de composants élémentaires de base – les neurones. Sans la théorie des neurones – une notion clairement modulaire – il est difficile de voir comment on pourrait donner une quelconque justification physiologique à une théorie modulaire de la cognition. Brodmann réalisa ensuite une analyse microscopique de la morphologie du cerveau, et ses résultats vinrent appuyer la position modulariste. Il réussit à distinguer les régions corticales entre elles sur la base de différences d'arrangement spatial, de densité, de forme et de connectivité des cellules dans ces régions. Son œuvre culmina en un célèbre découpage numéroté du cortex humain en régions définies sur la base de critères cytoarchitectoniques, comme dans la figure 1.

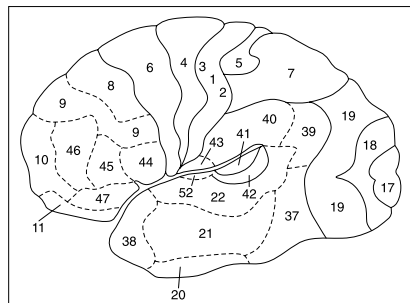


Figure 1 : Division de Brodmann de la surface corticale gauche en aires numérotées (la zone de Broca est BA 44, 45).

Golgi, Ramón y Cajal et Brodmann sont en grande partie responsables des fondements de la neuroanatomie fonctionnelle actuelle. Leurs idées, leurs méthodes et leurs hypothèses sur les divisions fonctionnelles du cortex, ainsi que leurs vues sur les relations entre structure et fonction ont ouvert la voie à la pensée actuelle. Et pourtant, cela ne suffisait pas. Les résultats expérimentaux convainquants que ces anatomistes ont présentés ne firent pas disparaître le point de vue opposé, défendu par Karl Lashley (1951). Au contraire, la position anti-modulaire, selon laquelle le langage n'est rien de spécial – un simple reflet d'une aptitude générale à l'enchaînement (voir les contributions de Spelke et Gallistel dans ce volume) – a prévalu durant la plus grande part du XX^e siècle tant en psychologie qu'en neurologie (on en trouve encore des traces dans des manuels actuels).

Pourtant, depuis les années 1960, il est devenu de plus en plus clair que Broca avait raison : le langage (ou du moins certaines de ses composantes principales) réside dans l'hémisphère gauche (voir Geschwind, 1965). La principale source de preuves relève des données lésionnelles touchant le langage : les déficits aphasiques. Geschwind, à la suite de Broca, Wernicke et Lichtheim (*cf.* Lichtheim, 1885, pour une présentation célèbre) soutint l'existence de centres du langage. En tant que clinicien, lui-même et ses disciples insistèrent sur les aptitudes communicatives : parler, écouter, lire, écrire, nommer, répéter, etc. La caractérisation des centres du langage dérivait de cette théorie intuitive, avec la localisation d'un centre cérébral pour chaque activité. La théorie de la localisation qui en découla utilise ces activités comme des blocs de construction, les considérant comme l'essence de la compétence linguistique humaine (*cf.* Geschwind, 1979 ; Damasio, 1992 pour des perspectives cliniques).

2. DE LA NEUROLOGIE À LA NEUROLINGUISTIQUE

La naissance d'une sous-discipline n'est pas un événement seulement intellectuel, il est aussi social, et devrait être annoncé comme tel. Il est difficile de comprendre l'évolution de la neurolinguistique en dehors de son contexte historique, et c'est pourquoi nous devrions approcher la pensée actuelle comme l'aboutissement intermédiaire d'un récit historique qui continue. Ainsi, l'apparition de la théorie linguistique moderne, et en particulier de la syntaxe générative, ne passa pas inaperçue. Inspirés par le *Zeitgeist*, les psycholinguistes des années 1970 se mirent à utiliser des outils théoriques et expérimentaux empruntés à la linguistique et à la psycholinguistique (par ex. Blumstein, 1972 ; Zurif et Caramazza, 1976). Sans nier l'importance des activités dans lesquelles s'engagent les humains durant leur communication, ils se mirent à inventer des expériences qui se concentraient sur les distinctions linguistiques provenant du nouvel appareillage théorique. Le langage était vu désormais comme un morceau de connaissance à *propos de* la structure, organisé en composantes distinctes. Les nouvelles expériences étaient élaborées selon cette vue : elles visaient à tester les capacités des aphasiques en phonologie, en morphologie, en syntaxe et en sémantique. Peu après, de nouvelles découvertes indiquèrent que le cerveau fait la distinction entre les types d'informations linguistiques. Ces résultats ne pouvaient pas trouver place dans la vue basée sur les activités, et les centres devaient être « redéfinis » (Zurif, 1980) : on disait maintenant que chaque centre anatomique devait contenir des dispositifs utilisés pour l'analyse et la synthèse des objets linguistiques. En gros, on proposa ainsi que la zone de Broca (les aires de Brodmann BA 44, 45, 47, voir fig. 1) héberge la syntaxe (pour le langage tant réceptif que productif), tandis que la sémantique réside dans l'aire de Wernicke (BA 22, 42, 39). Ce glissement marqua un nouveau type de débat : alors que les précédents opposaient le modularisme au holisme, la question était maintenant de savoir quelle était l'unité d'analyse adéquate pour les relations cerveau/langage.

Mais au fur et à mesure que les découvertes s'accumulaient – provenant de différentes tâches, langues, types de stimulus, laboratoires – de nouvelles contradictions commencèrent à voir le jour. Dans certains cas, les aphasiques de Wernicke montraient des perturbations syntaxiques ; les patients de Broca, eux, échouaient dans des tâches qui sondaient leurs capacités syntaxiques, mais réussissaient dans d'autres. Des doutes sérieux furent jetés sur le nouveau modèle, selon lequel la zone de Broca (mais pas celle de Wernicke) soutenait les mécanismes syntaxiques réceptifs. Des concepts linguistiques plus fins devaient être introduits. La linguistique et les neurosciences se rapprochaient enfin, et les précurseurs d'une discipline nouvelle – la neurolinguistique – apparaissaient, avec l'objectif de cartographier les capacités linguistiques sur le cortex cérébral en prenant la théorie linguistique comme outil central de description du comportement. En même temps, de nouvelles méthodes, de nouvelles techniques et de nouveaux concepts furent utilisés pour l'étude du cerveau. La section suivante passe brièvement en revue les principales sources de résultats neurologiques qui sont actuellement disponibles.

3. DEUX TYPES D'ARGUMENTS NEUROLINGUISTIQUES EXPÉRIMENTAUX

3.1 L'aphasie

Un dommage cérébral focal peut altérer de façon sélective le système linguistique, et le modèle d'altération résultant peut être obtenu à partir d'investigations du comportement langagier du patient, guidées par la théorie linguistique. Une altération d'un système particulier de règles est isolée et liée à la région cérébrale lésée. Ceci est la « nouvelle localisation » de la grammaire dans le cerveau.

Inversement, la méthode basée sur les lésions offre un aperçu de la façon dont le cerveau crée sa capacité linguistique, et fournit ainsi une information neurobiologique critique sur la structure interne des systèmes de règles linguistiques.

Depuis la fameuse étude de Roman Jakobson (1941) sur les déficits langagiers chez les enfants et les aphasiques et leurs implications pour la théorie phonologique (voir Grodzinsky, 1990, ch. 6, pour un réexamen), un certain nombre de revendications linguistiques ont été émises sur la base des données de l'aphasie (par ex. Blumstein, 1972 en phonologie ; Avrutin, 2001 ; Friedmann, 2000 ; Friedmann et Grodzinsky, 1997 ; Grodzinsky, 1984 ; 1990 ; 2000 ; Grodzinsky *et al.*, 1993 ; Lonzi et Luzzatti, 1993 en syntaxe). Ces travaux ont également bénéficié des études expérimentales du déroulement temporel de la compréhension de phrases chez les aphasiques (*cf.* Zurif, 1995 pour des exemples remarquables).

3.2 L'imagerie cérébrale

Les régions du cerveau engagées dans des activités cognitives requièrent de plus hauts niveaux d'oxygénation, ce qui augmente le débit sanguin dans ces régions (bien qu'avec un certain délai). La variation de flux sanguin est détectée par des instruments avancés : la fMRI (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) mesure les changements minimes du champ magnétique causés par l'augmentation du débit sanguin. Lorsque des molécules comportant des isotopes instables sont injectées dans le sang, l'imagerie PET (Tomographie par Émission de Positrons) peut détecter leur trace radioactive dans les régions du cerveau où leur concentration augmente avec la demande en oxygène. Ces techniques fournissent une bonne résolution spatiale (mais une faible résolution temporelle), et l'expérimentateur peut faire des comparaisons entre différents types de stimulus en termes de localisation et d'intensité du signal induit. Des stimuli syntaxiques de diverses sortes peuvent donc être étudiés (Just *et al.*, 1996 ; Stromswold *et al.*, 1996 ; Ben-Shachar *et al.*, 2002) ; sous presse ; Röder *et al.*, 2001).

Je présente ci-dessous avec quelques détails deux exemples de ces arguments et tente de rechercher une convergence entre des ensembles apparemment disparates de résultats. Je soutiens que les deux méthodologies produisent des résultats hautement cohérents qui suggèrent que l'aire de Broca (le gyrus frontal inférieur gauche, est impliquée de façon critique dans le traitement du mouvement des constituants dans la phrase (voir Pollock, dans ce volume, pour une description linguistique du mouvement).

4. AIRE DE BROCA ET MOUVEMENT : L'ÉTUDE DES APHASIES

4.1 L'hypothèse de l'effacement des traces

La zone de Broca de l'hémisphère gauche est, topographiquement, constituée des parties triangulaire et operculaire du gyrus frontal inférieur gauche (LIFG), soit les aires de Brodmann (BA) 44 et 45, respectivement (voir fig. 1). Une lésion localisée au voisinage de cette région affecte la capacité linguistique de façon très spécifique. L'étiologie de cette condition peut être un choc, une hémorragie, une blessure invasive, une tumeur, ou l'excision de tissus.

Les travaux menés dans de nombreux laboratoires, utilisant des méthodes expérimentales diverses et dans plusieurs langues, ont montré que les aphasiques de Broca éprouvent des difficultés à comprendre des phrases impliquant une opération de mouvement. Pour la simplicité, on parlera ici de mouvement lorsqu'un constituant n'est pas dans sa position « canonique ». Par exemple, dans les phrases en (1), l'objet du verbe (*l'homme*) qui est normalement positionné après le sujet (et même après le verbe en français, la phrase canonique étant *la femme suit l'homme*) est situé avant le sujet ; il a été déplacé par une opération de mouvement. Les phrases 1a-c sont des propositions relatives objet, tandis que la phrase 1d est une phrase passive. Lorsqu'on demande aux patients d'apparier des phrases à des images (tâche qui exige la mise en correspondance de deux arguments dans une phrase avec deux personnages d'une scène, c'est à dire de déterminer quel est l'agent et quel est le patient), leur performance sur les structures en (1) est aléatoire (ils choisissent tantôt l'image de la femme qui suit l'homme, tantôt l'image de l'homme qui suit la femme). Par contre, leur performance est tout à fait bonne dans les phrases en (2), dans lesquelles il n'y a pas de mouvement : le sujet précède toujours l'objet. Les phrases 2a-c sont des relatives sujet.

- (1) a. L'homme que la femme suit t est grand
 b. Montre-moi l'homme que la femme suit t
 c. C'est l'homme que la femme suit t
 d. L'homme est suivi t par la femme
- (2) a. La femme qui suit l'homme est grande
 b. Montre-moi la femme qui suit l'homme
 c. C'est la femme qui suit l'homme
 d. La femme suit l'homme

Par ailleurs, ces patients sont capables de lier un pronom correctement à son antécédent, comme dans les phrases illustrées en (3), ce qui indique que leur déficit est restreint au mouvement (et n'est pas le résultat d'un déficit plus générique de la mémoire de travail, voir par exemple Caplan et Waters, 1999).

- (3) a. Voici Anne. Voici Marie. Est-ce que Marie se touche ? (« se » réfère à Marie et non à Anne)
 b. Voici Anne. Voici Marie. Est-ce que Marie la touche ? (« la » réfère à Anne et non à Marie)

Lorsqu'on leur demande de juger la grammaticalité de phrases comme en (4), ils échouent à accepter de façon consistante les cas (a), et inversement, à détecter l'agrammaticalité des cas (b). Dans ce cas des questions multiples, la question *quoi* (dont la trace de la position initiale t est indiquée) ne peut pas se déplacer au-delà de la question *qui*. L'agrammaticalité qui résulte de ce déplacement est expliquée par un principe syntaxique universel selon lequel un élément d'une certaine nature (ici, une particule de question, *quoi*) ne peut pas traverser dans son mouvement un élément de même nature (une autre question, *qui*). Cette contrainte est connue sous le nom de Minimalité Relativisée (Relativized Minimality, Rizzi, 1990). La capacité à traiter ce type de violation implique non seulement la maîtrise de ce principe, mais également et crucialement, la capacité de se représenter les traces du mouvement. Leur difficulté à traiter ce type de phrases montre que leur trouble dépasse la capacité à globalement comprendre le langage : il concerne la grammaire.

- (4) a. Je ne sais pas qui a vu quoi
 b. *Je ne sais pas quoi qui a vu t

Par ailleurs, leur déficit semble toucher sélectivement certains aspects de la grammaire. Ainsi, les patients ne montrent aucune difficulté pour déterminer la grammaticalité de constructions dont le statut ne dépend pas des traces du mouvement, comme en (5). Par ailleurs, ils sont capables de détecter des violations du principe de Relativité Minimalisée lorsque ce traitement n'implique pas de mouvement de syntagme nominal, mais uniquement un mouvement du verbe comme en (6) (Grodzinsky & Finkel, 1998 ; Lima & Novaes, 2000 pour une répliation en portugais brésilien).

- | | |
|--|----------------------------------|
| (5) a. (i) Qui Jean a vu ? | (ii) *Qui Jean a vu Anne ? |
| b. (i) Les enfants jettent la balle par-dessus la barrière | (ii) *Les enfants jettent |
| (6) a. (i) A-t-il pu fermer la porte ? | (ii) *Put-il a fermer la porte ? |

Ce qui se dégage de ces recherches est une difficulté générale à traiter le mouvement, indépendamment des types de constructions, des tâches, des laboratoires, et des langues. L'hypothèse de l'effacement de la trace que nous avons proposée (TDH pour *Trace Deletion Hypothesis*, voir Grodzinsky, 1984 ; 1995 ; 2000) suggère que les difficultés que présentent les aphasiques de Broca avec le mouvement relèvent du fait qu'ils effacent les traces du mouvement. Lorsqu'il se déplace, un constituant laisse une trace de sa position initiale. Cette trace joue entre autres un rôle crucial dans l'interprétation de la phrase puisque c'est au niveau de la trace que le constituant déplacé est interprété, i.e. qu'il reçoit son rôle thématique (rôle- θ , ex. agent, patient). Ainsi, en l'absence de la trace initiale de l'objet dans les exemples (1), il est impossible d'assigner un rôle thématique (rôle- θ) aux arguments du verbe, et donc de déterminer quel est l'agent et quel est le patient de l'action exprimée dans la phrase. L'hypothèse TDH suppose donc que les constituants déplacés sont ininterprétables.

4.2 La manifestation de l'effacement des traces

La caractérisation proposée par la TDH repose sur les représentations syntaxiques des patients. Quel est le lien entre ces représentations et leurs performances linguistiques ? L'idée principale est que la performance aléatoire des patients observée dans les tâches où ils doivent choisir une image parmi plusieurs, et donc déterminer les rôles- θ , résulte en fait d'un conflit. Autrement dit, le patient reçoit une information thématique qui indique que les deux NP dans la phrase ont le même rôle- θ et peuvent par conséquent être

mis en correspondance avec n'importe lequel des acteurs dans la scène. La tâche du théoricien est alors de spécifier les conditions qui feraient naître cette représentation, c'est-à-dire de créer une situation où le patient doit décider de l'agent et du patient alors que dans son esprit, les deux NP candidats sont liés au même rôle- θ . Cette situation devrait conduire à un conflit- θ , ce qui amènerait à répondre au hasard.

Nous pourrions caractériser le scénario souhaité de façon un peu plus générale : un comportement de réponse au hasard pourrait apparaître lorsque deux rôles- θ ont été attribués à deux NP dans une phrase, pour autant que les deux rôles- θ soient à égalité sur une échelle hiérarchique thématique universelle. Voici comment ce résultat est obtenu.

Supposons que dans une telle situation, une stratégie cognitive basée sur un ordre linéaire non linguistique soit invoquée, dans une tentative de sauver ces NP ininterprétables. La stratégie lie des rôles- θ à des positions sérielles (non- θ) du type : le premier NP est l'agent, le second le patient. En français comme en anglais, la stratégie va forcer les constituants déplacés en début de phrase à être des agents : ils sont déplacés, donc liés à une trace ; l'effacement de la trace empêche l'attribution- θ , et ces NP tombent dans le domaine de la stratégie. L'idée est de voir l'interprétation de phrases par l'aphasique comme un processus composite – une interaction entre une représentation syntaxique incomplète (sans trace), qui peut conduire à une représentation thématique partielle, et une stratégie cognitive compensatoire. Dans le cas des relatives sujet en (2), la stratégie devrait compenser correctement le déficit et mener à une réponse correcte puisque le sujet est le premier NP et l'objet le second NP. Par contre, dans le cas des relatives objet en (1) où cet ordre est inversé suite au mouvement de l'objet, l'interaction entre la grammaire et la stratégie fait apparaître une représentation qui induit en erreur. Le résultat en est une représentation sémantique avec deux agents potentiels pour l'action représentée sur l'image, ce qui prédit un comportement de réponse au hasard.

Ces prédictions ont été confirmées par de multiples expériences. La TDH explique donc la nature sélective du déficit de la compréhension dans l'aphasie de Broca : la zone de Broca est impliquée de façon cruciale dans la représentation des traces du mouvement.

4.3 La variation interlinguistique

Afin de valider notre hypothèse, il est important d'examiner les performances de patients aphasiques de Broca dans des langues dont les propriétés structurelles diffèrent de celles de l'anglais. Les résultats obtenus pour une variété de langues apportent un soutien à la TDH d'une façon surprenante. Considérons le chinois, qui est une langue SVO (Sujet-Verbe-Objet) mais où la tête des propositions relatives (en gras) suit la relative (7a), (8a), au contraire de l'anglais ou du français, par exemple, où elle la précède (7b), (8b) :

- (7) a. [*t* zhuéi gou] de **mau** hen da
 [*t* a chassé le chien] qui chat très grand
 b. le **chat** qui [a chasse le chien] était très grand
 (8) a. [mau zhuéi *t*] de **gou** hen xiao
 [le chat a chassé *t*] que le chien très petit
 b. le **chien** que [le chat a chasse *t*] était très petit

Ce contraste structurel prédit des modèles de performance opposés en français/anglais et en chinois. Dans les relatives sujet en français ou en anglais, la tête de la relative (**chat** en 7b) se déplace vers l'avant : comme elle a bougé, elle ne peut pas recevoir de rôle thématique en vertu de la TDH, et se voit attribuer le rôle d'agent par la stratégie d'assignation de l'agent au premier NP, ce qui amène à une représentation correcte. En chinois par contre, la tête (**mau** en 7a) se déplace aussi, mais vers la position en fin de phrase, et la stratégie linéaire lui assigne le rôle de patient. Cette représentation a donc deux patients, (**mau** et **gou**) ce qui génère un conflit. À l'inverse, tandis que la stratégie dans le cas de la relative objet mène à une assignation incorrecte des rôles thématiques en anglais, comme nous l'avons vu dans la section précédente, elle mène à une assignation correcte en chinois.

Les résultats des recherches menées sur le chinois sont, comme attendu, en image miroir de ceux obtenus en anglais (Law, 2000) : les patients chinois montrent une bonne performance dans les relatives objet, accompagnée d'une mauvaise performance dans les relatives sujet. Les résultats en image miroir corréleront avec un contraste syntaxique pertinent entre les deux langues – la position de la tête de la relative.

En japonais, on trouve deux configurations de phrases, la première où le sujet précède l'objet (9a), la seconde où l'objet se déplace avant le sujet, laissant une trace *t* (9b).

- (9) a. Taro-ga Hanako-o nagutta
Sujet Objet Verbe
b. Hanako-o Taro-ga *t* nagutta
Objet Sujet *t* Verbe

Comme on pouvait à nouveau s'y attendre, les aphasiques de Broca sont au-dessus du niveau aléatoire en compréhension de (9a), et au niveau aléatoire pour (9b), en conformité avec la TDH (Hagiwara et Kaplan, 1990).

Ces résultats sont robustes, et ont été maintes fois répliqués dans différentes langues [hébreu (Friedmann, 2000), espagnol et coréen (Beretta *et al.*, 2001)], allemand (Burchert *et al.*, 2001). Ils montrent que le mouvement des constituants forme une classe neurologique naturelle.

4.4 Étude expérimentale des traces en temps réel

Examinons le traitement en temps réel dans le cerveau normal. On sait depuis longtemps que des sujets neurologiquement intacts récupèrent les constituants déplacés au niveau de leur trace, pour les interpréter. Ceci a été démontré par les tests d'amorçage intermodal (*Cross-Modal Priming*), au cours desquels les participants écoutent des phrases telles que (10a) tout en voyant à l'écran un mot écrit (ex. b-d). Le mot est présenté à différents moments de la phrase : soit au point 1, au point 2 ou au point 3. La tâche consiste à dire si le mot présenté visuellement est un mot de la langue ou non (tâche dite de décision lexicale). Dans les cas de b et c, il s'agit d'un mot de la langue, mais pas dans le cas de d.

- (10) a. Le passager a souri au bébé¹ que la femme² avec la veste rose allaitait³ *t* dans la gare
b. lange (lié)
c. cheval (non lié)
d. strile (non-mot)

Si la trace de l'objet (le bébé) indiquée par *t* dans la phrase est réactivée pour être interprétée, on s'attend à ce que la tâche de décision lexicale soit facilitée (par amorçage) lorsque le mot relié à bébé (lange) est présenté au point 3, qui correspond à la position de la trace. C'est ce qui a été montré chez des participants sains (Love et Swinney, 1996).

Par contre, les aphasiques de Broca ne montrent pas d'effet d'amorçage du constituant déplacé au niveau de sa trace (Zurif *et al.*, 1993). Ce résultat valide une fois de plus la TDH : si les traces sont effacées, l'accès à l'élément déplacé n'est plus assuré, et l'amorçage ne peut donc avoir lieu.

En résumé, la TDH comporte trois idées importantes quant au déficit langagier des aphasiques de Broca : 1. Les traces du mouvement sont effacées ; 2. Les attributions- θ à des NP déplacés sont assistées par une stratégie linéaire ; 3. Par ailleurs, des analyses fines de la variation interindividuelle souvent rapportée en aphasiologie montrent que cette variation ne peut obscurcir les effets de mouvement. Il semble donc que la zone de Broca soit impliquée de façon critique dans les opérations de traitement du mouvement XP lors de la compréhension du langage. Si la capacité de traiter le mouvement est détruite par une lésion dans cette région, alors l'aire de Broca devrait être activée lors du traitement du mouvement dans le cerveau normal.

5. AIRE DE BROCA ET MOUVEMENT : L'IMAGERIE CÉRÉBRALE

5.1 Le mouvement active la zone de Broca en fMRI

Lorsqu'on isole le mouvement des autres facteurs pouvant être impliqués dans la complexité de la phrase, et qu'on le teste en fMRI, un tableau assez clair apparaît. Michal Ben-Sachar a dirigé une série d'expériences fMRI étroitement contrôlées qui sondent divers aspects du mouvement en hébreu, en opposition avec une notion assez simple de la complexité. Sur la base des données de l'aphasie, nous nous attendions à ce que la zone de Broca soit activée spécifiquement dans des structures impliquant un mouvement en comparaison aux structures sans mouvement mais à complexité similaire.

Dans un premier temps nous avons comparé des phrases relatives objet (11a) à des complétives (11b). Les phrases construites pour le test étaient des paires minimales maintenant constants différents facteurs de complexité (le nombre de mots, de propositions, d'enchâssements, de verbes, le rapport des catégories fonctionnelles aux catégories lexicales, etc.). Ainsi, le contraste entre les phrases des deux paires repose essentiellement sur le mouvement : tandis que la relative implique un mouvement de l'objet, la complétive n'implique aucun mouvement.

- (11) a. 'azarti la-yalda [Se-Rina pagSa t ba-gina]
aidé-je à-la-fille que-Rina a rencontrée t dans-le-jardin
J'ai aidé la fille [que Rina a rencontrée t dans le jardin]
b. 'amarti le-Rina [Se-ha-yalda yaSna ba-gina]
dit-je à-Rina que-la-fille dormait dans-le-jardin
J'ai dit à Rina [que la fille dormait dans le jardin]

Le principal résultat de cette recherche est l'observation d'une augmentation du flux sanguin dans la zone de Broca gauche lors du traitement des relatives objet comparativement au traitement des complétives. Des études complémentaires en hébreu suggèrent que cet effet n'est pas seulement localisé, mais aussi très robuste, et qu'il se généralise à travers différentes tâches (compréhension et jugement de grammaticalité), et différents contrastes grammaticaux.

Ainsi, conformément aux données lésionnelles, l'aire de Broca située dans l'hémisphère gauche apparaît jouer un rôle fondamental dans le traitement du mouvement syntaxique.

5.2 Séparer les composantes : les objets doubles

Nous avons également tenté d'examiner des hypothèses linguistiques encore plus spécifiques par l'étude de l'intensité du signal fMRI. Il y a quelques années, nous avons mené une étude sur les objets doubles en hébreu qui visait à éclairer l'analyse linguistique de cette construction. Les phrases à objet double sont des phrases contenant deux compléments : un objet direct et un objet indirect. La théorie linguistique pose deux questions en particulier (par ex. Larson, 1988 ; Aoun et Li, 1988) :

- (I) Quel type de mouvement est impliqué dans ces constructions ? (s'il y en a un)
(II) Quel est l'ordre initial des compléments, et quelle est la structure dérivée par mouvement ?

Nous avons étudié quatre types de structures, croisant la position respective des deux objets et leur topicalisation. La topicalisation est une opération syntaxique qui vise à mettre en exergue un constituant en le plaçant en position initiale de la phrase. En français, cela correspond à des structures du type « C'est le livre rouge que Dani a donné au professeur » auquel cas l'objet direct est topicalisé, ou « C'est au professeur que Dani a donné le livre rouge » où l'objet indirect est topicalisé. Les phrases (12c-d) se distinguent quant à la position respective des deux compléments : en (12c) l'objet direct est situé avant l'objet indirect, tandis que l'ordre est inversé en (12d). Les phrases (12a-b) se distinguent également quant à la position respective des deux compléments mais cette fois dans des structures où l'un des deux est topicalisé : en (12a) c'est l'objet direct qui est topicalisé, tandis qu'en (12b) c'est l'objet indirect.

- (12) a. 'et ha-sefer ha-'adom Dani natan la-professor me-Oxford
Acc le-livre le-rouge Dani a donné au-professeur de-Oxford
b. la-professor me-Oxford Dani natan 'et ha-sefer ha-'adom
Au-professeur de-Oxford Dani a donné Acc le-livre le-rouge
c. Dani natan 'et ha-sefer ha-'adom la-professor me-Oxford
Dani a donné Acc le-livre le-rouge au-professeur de-Oxford
d. Dani natan la-professor me-Oxford 'et ha-sefer ha-'adom
Dani a donné au-professeur de-Oxford Acc le-livre le-rouge

Le fait de croiser ces deux facteurs (position des deux objets dans une structure topicalisée ou non) dans une étude fMRI permettait de déterminer des différences possibles quant à la localisation des processus responsables de traiter le mouvement. En ce qui concerne la question (I), l'observation que différentes régions s'activent pour les structures non topicalisées (12c-d) comparativement aux structures topicalisées (12a-b) suggérerait l'implication d'opérations distinctes, et donc d'une opération spécifiquement liée à la topicalisation. Quant à la question (II), en suivant la même logique que dans nos expériences précédentes, une plus forte intensité du signal fMRI dans (12d) suggérerait l'implication

d'une opération supplémentaire de mouvement que nous pourrions attribuer au déplacement de l'objet indirect.

Deux résultats importants ont été observés. Premièrement, la comparaison entre (12c-d) et (12a-b) montre une activation dans deux régions frontales de l'hémisphère droit pour les structures (12c-d). Cette différence ne suggère pas seulement qu'un type différent d'opération est à l'œuvre, mais elle donne aussi, et de façon très surprenante, une indication préliminaire opposée à la croyance communément admise selon laquelle la syntaxe serait exclusivement dans l'hémisphère gauche, et n'est aucunement représentée du côté droit du cerveau (voir Grodzinsky, 2000, pour une revue de cette littérature). Deuxièmement, l'activation dans ces régions frontales droites est significativement plus élevée pour les structures de type (12d) dans lesquelles l'objet indirect précède l'objet direct, que pour les structures de type (12c). Ce résultat suggère que la structure (12d) est dérivée de la structure (12c) par le mouvement de l'objet indirect, et que la position initiale de l'objet direct est donc plus haute que celle de l'objet indirect.

6. UNE ARRIÈRE-PENSÉE

Le cerveau paraît encoder des distinctions syntaxiques subtiles qui correspondent à celles proposées par la théorie syntaxique. En particulier, la région de Broca gauche semble spécifiquement impliquée dans le traitement du mouvement des constituants. Les quelques études brièvement passées en revue démontrent les implications neurologiques directes de l'entreprise générative. Les programmes de recherche comme celui que nous avons présenté, alliant différentes méthodologies (les études en aphasiologie et l'imagerie cérébrale chez des locuteurs sains) illustrent l'important potentiel de la neurolinguistique : ils permettent de tester finement l'hypothèse d'une modularité linguistique et anatomique.

Nous tenons à remercier Madame Isabelle Deschamps pour son aide précieuse à la traduction du texte.

Bibliographie

- Aoun, J., and Li, Y. A. (1989). Scope and constituency. *Linguistic Inquiry* 20, 141-172.
- Amunts, K., A. Schleicher, U. Bürgel, H. Mohlberg, H.B.M. Uylings & Zilles, K. (1999). Broca's region revisited : Cytoarchitecture and intersubject variability. *Journal of Comparative Neurology* 412, p. 319-341.
- Avrutin, S. (2001). Linguistics and agrammatism. *GLOT International* 5, 3-11.
- Ben-Shachar, M., Hendler, T., Kahn, I., Ben-Bashat, D., et Grodzinsky, Y. (2002). The Neural Reality of Syntactic Transformations : Evidence from fMRI. *Psychological Science* 14.5, p. 433-440.
- Ben-Shachar, M., D. Palti et Y. Grodzinsky (sous presse). Neural correlates of syntactic movement : Converging evidence from two fMRI experiments. *NeuroImage*.
- Beretta, Alan, Cristina Schmitt, John Halliwell, Alan Munn, Fernando Cuetos et Sujung Kim (2001). « The effects of scrambling on Spanish and Korean agrammatic interpretation : why linear models fail and structural models survive. » *Brain and Language* 79, 407-425.
- Blumstein, S. (1972). *A Phonological Investigation of Aphasia*. The Hague : Mouton.
- Broca, P. (1861). Remarks on the Seat of the Faculty of Articulate Language Followed by an Observation of Aphemia (trans. G. von Bonin), in *Some Papers on the Cerebral Cortex* (Springfield : Thomas, 1960).
- Brodman, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaus*. Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig [publié sous le titre *Brodman's « Localisation in the Cerebral Cortex »*, translated and edited by L.J. Garey, 1999].
- Burchert F., R. de Bleser et K. Sonntag (2001). Does case make the difference ? *Cortex* 37, 700-703.
- Caplan, D. et G. Waters (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences* 22, 77-126.
- Chomsky, N. (1995). *The Minimalist Program*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Damasio, A. (1992). Aphasia. *New England Journal of Medicine* 326, 531-539.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA : MIT Press.
- Freud, S. (1891). On Aphasia : A Critical Study (trans. E. Stengel) (New York : International Universities Press, 1953).
- Friederici, A. et P. Graetz (1987). Processing passive sentences in aphasia : Deficits and strategies. *Brain and Language* 30, 93-105.
- Friedmann, N. (2000). Agrammatic comprehension of OVS and OSV structures in Hebrew. *Behavioral and Brain Sciences* 23, 33-34.
- Friedmann, N., & Grodzinsky, Y. (1997). Tense and agreement in agrammatic production : pruning the syntactic tree. *Brain and Language*, 56, 397-425.
- Geschwind, N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain* 88 : 237-294 ; 585-644.
- Id.* (1979). Specializations of the human brain. *Scientific American*, September.
- Grodzinsky, Y. (1984). *Language Deficits and Linguistic Theory*. Doctoral dissertation, Brandeis University.
- Id.* (1990). *Theoretical Perspectives on Language Deficits*. Cambridge, MA : MIT Press.

- Id.* (1995). A restrictive theory of agrammatic comprehension. *Brain & Language* 51, p. 26-51.
- Id.* (2000). The neurology of syntax : language use without Broca's area. *Behavioral and Brain Sciences* 23.1, 1-71.
- Grodzinsky, Y., A. Pierce et S. Marakovitz (1991). Neuropsychological reasons for a transformational analysis of verbal passive. *Natural Language & Linguistic Theory* 9, 431-453.
- Grodzinsky, Y. et L. Finkel (1998). The neurology of empty categories. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10.2, p. 281-292.
- Grodzinsky, Y., K. Wexler, Y.-C. Chien, S. Marakovitz et J. Solomon (1993). The breakdown of binding relations. *Brain & Language* 45.3, p. 396-422.
- Hagiwara, H. et P. Caplan (1990). Syntactic Comprehension in Japanese aphasics : Effects of Category and Thematic role order. *Brain & language*, 38, 159-170.
- Hughlings-Jackson, John (1878). *Selected Writings of John Hughlings Jackson*, ed. James Taylor (London : Hodder and Stoughton Limited, 1931-1932), Vol. 2 : Evolution and Dissolution of the Nervous System and Speech, p. 154-204.
- Jakobson, R. (1941). *Kindersprache, Aphasie und allgemeine Lautgesetze* [translated as *Child Language, Aphasia, and Phonological Universals*. The Hague : Mouton, 1968].
- Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Eddy, W. F. et Thulborn, K. R. (1996). Brain activation modulated by sentence comprehension. *Science* 274, 114-116.
- Kluender, R. et Kutas, M. (1993). Bridging the Gap : Evidence from ERPs on the Processing of Unbounded Dependencies. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5 : 2, p. 196-214.
- Larson, R. K. (1988). On the double object construction. *Linguistic Inquiry* 19, 335-391.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In *Cerebral Mechanisms in Behavior*. New York : Wiley, p. 112-136.
- Law, S.-P. (2000). Structural prominence hypothesis and chinese aphasic sentence comprehension. *Brain and Language* 74, 260-268.
- Lenneberg, E. (1967). *Biological Foundations of Language* New York : Wiley.
- Lichtheim, L. (1885). *Über Aphasie*. *Deutsches Archiv für klinische Medizin*, Leipzig, 1885, 36 : 204-268 [translated into English as *On Aphasia*].
- Lima R. et C. Novaes (2000). Grammaticality judgments by agrammatic aphasics : Data from Brazilian-Portuguese. *Brain and Language* 74, 515-551.
- Lonzi, L. et Luzzatti, C. (1993). Relevance of adverb distribution for the analysis of sentence representation in agrammatic patients. *Brain and Language*, 45, 306-317.
- Love, T. et Swinney, D. (1996). Coreference Processing and Levels of analysis in Object Relative Constructions ; Demonstration of Antecedent Reactivation with the Cross Modal Paradigm. *Journal of Psycholinguistic Research* 25, 5-24.
- Röder, B. O. Stock, H. Neville, S. Bien et F. Röslér (2001). Brain Activation Modulated by the Comprehension of Normal and Pseudo-word Sentences of Different Processing Demands : A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *NeuroImage* 15, 1003-1014.
- Stromswold, K., Caplan, D., Alpert, N. et Rauch, S. (1996). Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography. *Brain and Language* 52, 452-473.
- Talairach, J. et Tournoux, P. (1988). *Coplanar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart : Thieme.
- Tomaiuolo, F., J.D. MacDonald, Z. Caramanos, G. Posner, M. Chiavaras, A.C. Evans et M. Petrides (1999). Morphology, morphometry and probability mapping of the pars opercularis of the inferior frontal gyrus : an *in vivo* MRI analysis. *European Journal of Neuroscience* 11, 3033-3046.
- Zurif, E.B. (1980). Language mechanisms : a neuropsychological perspective. *American Scientist*, May.
- Id.* (1995). Brain regions of relevance to syntactic processing. in L. Gleitman and M. Liberman (eds.), *An invitation to Cognitive Science*, Vol. I, Cambridge, MA : MIT Press [2nd edition].
- Zurif, E.B. et A. Caramazza (1976). Linguistic structures in aphasia : Studies in syntax and semantics. In H. Whitaker et H. H. Whitaker (eds), *Studies in neurolinguistics*, Vol. 2. New York : Academic Press.
- Zurif, E.B., Swinney, D., Prather, P., Solomon, J., et Bushell, C. (1993). An On-line Analysis of Syntactic Processing in Broca's and Wernicke's Aphasia. *Brain and Language* 45, 448-464.