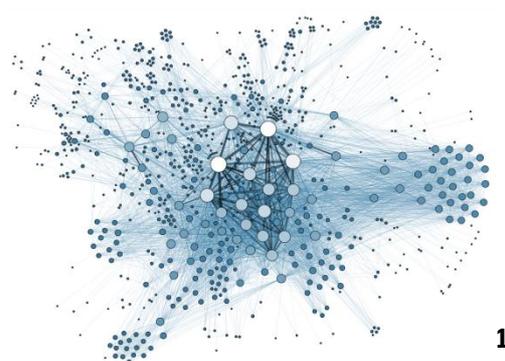


Mémoire de Maîtrise en Médecine No 3305

Modification de la neuroanatomie du langage entre 1910 et 2010 : A-t-elle changé la définition du langage et de l'aphasie ?



Etudiante :

Irène Seiler

Tuteur :

Prof. Jean-Marie Annoni
Dpt de Neurologie, HFR & CHUV

Co-tuteur :

Prof. Vincent Barras
Responsable IUHMSP, Unil

Expert :

Dr. Heinz Krestel
Dpt de Neurologie, Inselspital

Lausanne, Janvier 2018

Abstract :

Introduction : Depuis le XIXème siècle, les progrès technologiques et techniques ont permis de grandes avancées dans la compréhension neuro-anatomique du langage. Ce travail consiste à comparer trois représentations anatomiques du langage établies entre 1910 et 2010.

Question : Modification de la neuroanatomie du langage entre 1910 et 2010 : A-t-elle changé la définition du langage et de l'aphasie ?

Méthodologie : Etude de la littérature primaire et secondaire.

Résultats : Les Dejerine (années 1900) ont décrit la « zone du langage » par une approche anatomo-pathologique, qui consiste en trois centres cérébraux connectés par des faisceaux d'associations ; la troisième circonvolution frontale (1), la première circonvolution temporale et le gyrus supramarginal (2) et le gyrus angulaire (3). Le faisceau longitudinal supérieur ou arqué connecte les centres 1 et 3 au centre 2, le faisceau longitudinal inférieur connecte les centres 2 et 3, le faisceau occipito-frontal connecte les centres 2 et 3 au centre 1 et le faisceau unciné connecte les centres 2 et 1. Des tableaux cliniques d'aphasies motrice et sensorielle respectifs à une lésion de la zone sont détaillés.

La deuxième représentation est décrite par Geschwind et Damasio dans les années 1960-80 et est marquée par l'introduction du CT-scan et le développement d'un modèle linguistique de langage. Le fonctionnement cérébral du langage est dépeint selon le principe de Flechsig et de Bailey et Bonin. Il implique des « zones primordiales » qui interagissent entre elles par des « zones intermédiaires » du cortex. Les gyri angulaire et supramarginal sont présentés comme une « zone terminale » qui supporterait la fonction langagière. Damasio a ensuite introduit de nouvelles zones d'association secondaire selon ce principe. De nouvelles régions associées aux aphasies ont été trouvées, comme l'insula, les ganglions de la base et le thalamus, et de nouveaux tableaux cliniques d'aphasies ont été décrits.

La troisième représentation est décrite par Price dans les années 2000 au moyen de l'IRM fonctionnelle et des modèles et cognitifs du langage développés dans les années 80. A l'inverse des deux autres représentations, Price a pu mettre en évidence les régions actives en réponse à différents stimuli propres au langage et a conclu à un fonctionnement cérébral intégré en réseau. Ceci a engendré un élargissement des régions cérébrales impliquées dans le langage, et a affiné le rôle de certaines structures comme le cortex temporal postéro-inférieur, les ganglions de la base et le cervelet. L'aphasie serait une constellation de symptômes relative à une lésion donnée dans le réseau, sans pour autant que la zone lésée soit le siège des fonctions déficitaires.

Conclusion : Les bases de l'anatomie du langage avaient déjà été découvertes au XIXème siècle. L'introduction du CT-scan et de l'IRM fonctionnelle, associé aux nouveaux modèles linguistiques et cognitifs de langage ont engendré un élargissement de la zone du langage et un affinement anatomique des fonctions langagières, en particulier dans le processus de production et dans le champ sémantique. Les tableaux classiques d'aphasies restent un bon reflet des aires cérébrales essentielles au langage et sont utiles aux cliniciens comme base de réflexions, mais l'IRM fonctionnelle a démontré qu'associer un tableau clinique à une localisation cérébrale était obsolète.

Plan

1. Introduction

2. Question

3. Méthodologie

4. Etude de la littérature et représentations à comparer

4.1 Bref historique de la représentation du langage avant 1910

4.2 Représentation des Dejerine - années 1910-1920

4.2.1 Méthodes utilisées

4.2.2 Résumé

4.2.3 Description

- Zones corticales
- Connexions des aires corticales

4.2.4 corrélations anatomo-pathologiques

- L'aphasie
- Aphasie globale
- Aphasie motrice ou d'expression
 - Corticale
 - Sous-corticale
- Aphasie sensorielle ou de compréhension
 - Corticale
 - Sous-corticale

4.2.5 Nosographie aphasiologique à la Période des Dejerine

4.3 Représentation de Geschwind et Damasio - années 1960-1980

4.3.1 Méthodes utilisées

4.3.2 Résumé

4.3.3 Description

- Zones corticales
- Connexions des aires corticales

4.3.4 corrélations anatomo-pathologiques

- L'aphasie
- Aphasie globale
- Aphasie motrice
- Aphasie sensorielle
- Aphasie de conduction
- Aphasie transcorticale

- Motrice transcorticale
- Sensorielle transcorticale

- Aphasie atypique

4.3.5 Nosographie aphasiologique à la Période de Damasio

4.4 Représentation de Price – années 2000-à ce jour

4.4.1 Méthodes utilisées

4.4.2 Résumé

4.4.3 Description

4.4.4 corrélations anatomo-pathologiques

- L'aphasie

5. Analyse comparative des représentations et discussion

6. Conclusions

1. Introduction

De tous temps les hommes ont cherché à comprendre le fonctionnement du cerveau humain. Hippocrate le représentait déjà comme l'organe de la pensée mais c'est surtout à partir du XIX^{ème} siècle que de grandes avancées dans la compréhension neuro-anatomique et neuro-physiologique du cerveau se sont développées, ceci dans le cadre des progrès technologiques et techniques réalisés à cette période.

Dès lors, deux principaux paradigmes sur le fonctionnement du cerveau se sont accentués, d'une part la vision localisationniste qui attribue une fonction à une région précise du cerveau, et d'autre part la vision holistique, qui décrit un fonctionnement unitaire et homogène du cerveau en réponse à un stimulus. Ces divergences ont provoqué de nombreux débats très virulents entre les scientifiques de l'époque.

La vision localisationniste a été largement acceptée par la communauté scientifique et parallèlement, les progrès dans l'observation des structures anatomiques ont permis la mise en évidence de faisceaux connectant les différentes régions cérébrales, donnant naissance à une vision connexionniste, ce qui focalisa les débats entre ces deux visions.

C'est dans ce climat-là que les modèles du fonctionnement du langage se sont développés, influant notre conception actuelle : l'évolution de la représentation du langage jusqu'à aujourd'hui est un continuum des bases initialement établies par les chercheurs du XIX^{ème} siècle, ponctuées par l'avènement de nouvelles technologies. Au fil du temps, différentes opinions ont fait pencher la balance d'un côté puis de l'autre et encore aujourd'hui, aucune théorie n'est unanimement considérée comme vraie.

Il s'agira ici de se pencher sur trois représentations établies entre 1910 et 2010 concernant la neuro-anatomie du langage afin d'en dégager leurs apports respectifs dans la compréhension d'aujourd'hui. Idéalement, il aurait fallu inclure la dimension conceptuelle des trois époques pour une plus grande complémentarité.

2. Question

Modification de la neuroanatomie du langage entre 1910 et 2010 : A-t-elle changé la définition du langage et de l'aphasie ?

3. Méthodologie

La méthode consiste à faire une étude de littérature primaire et secondaire parue au cours de l'histoire sur la thématique de la neuro-anatomie du langage.

Les ouvrages primaires servant de base à ce travail sont :

Pour la partie des Dejerine :

- DEJERINE Jules, Anatomie des centres nerveux Tome I, Paris, Rueff et Cie, éditeur, 1895
- DEJERINE Jules, Anatomie des centres nerveux Tome II, Paris, J. Rueff, éditeur, 1901
- DEJERINE Jules, Sémiologie des Affections du Système Nerveux, Paris, Masson et Cie, 1914

Trois livres qui comprennent des descriptions anatomiques et fonctionnelles minutieuses.

Pour la partie de Geschwind et Damasio :

- GESCHWIND, N, Selected papers on language and the brain. Boston: Reidel, 1974

Un livre qui rassemble tous les principaux travaux de Geschwind sur le langage.

- DAMASIO A.R, GESCHWIND, N, The neural basis of language. In Ann. Rev. Neurosci. 1984. 7:127-47

- DAMASIO, A.R., M.D., Aphasia, In *New England Journal of Medicine*, vol 326, 1992, pp.531-539

Deux articles ; le premier centré sur une analyse anatomo-pathologique basée sur des études statistiques et le second détaillant l'analyse fonctionnelle des régions cérébrales.

Pour la partie de Price :

- PRICE, C.J., The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging, In *Journal of Anatomy*, vol 197 (Pt 3), 2000, pp. 335-359

Un article visant à établir un modèle anatomique du langage basé sur l'imagerie fonctionnelle.

Les résultats décrits et publiés ainsi que les conclusions qui en ont été tirées serviront de base à l'analyse.

Les dimensions neuro-psychologique et neuro-physiologique ne seront pas approfondies dans ce travail, seules les représentations du langage par analyse de la neuro-anatomie seront étudiées.

L'accent sera mis sur trois moments clés sans entrer dans les autres détails de l'évolution chronologique de la représentation du langage.

Pour chacune de ces trois époques et selon les conclusions de l'époque :

- Un résumé du fonctionnement du système langagier sera effectué.
- La description des aires corticales et sous corticales du langage sera faite : taille, rôle de chaque structure dans une fonction langagière
- Les corrélations anatomo-cliniques des aphasies seront précisées.

Ensuite, l'analyse comparative de ces trois représentations sera effectuée et une conclusion tirée.

4. Etude de la littérature et résumé des représentations

4.1 Bref historique de la représentation du langage avant 1910

Paul Broca, le 18 avril 1861, a marqué un tournant majeur dans les convictions de l'époque par la présentation du cerveau de son patient « Leborgne ». Broca a localisé la « *faculté du langage articulé* » dans la partie postérieure de la troisième circonvolution frontale du lobe antérieur gauche.

Cet article engendra un renforcement des théories localisationnistes, et avec Broca, les premiers modèles localisationnistes-associationnistes émergèrent². **Bastian**, dès 1869, est le premier à élaborer une théorie associationniste comprenant quatre centres du langage dans l'hémisphère gauche, connectés entre eux par des commissures³. **Meynert** élabore ensuite une théorie sur la connectivité des aires cérébrales et c'est sur cette base que **Carl Wernicke** publie son célèbre article en 1874, dans lequel il met en avant le *centre du langage sensoriel* dans la première et la deuxième circonvolution temporale, qui correspond à une mémoire des images des sons, du concept des mots et qui est essentiel pour la compréhension du langage. Sa théorie est basée sur l'approche anatomo-pathologique de lésions retrouvées dans ces régions, chez des patients avec un déficit de compréhension sans déficit d'audition et d'articulation. Il nomme ce tableau clinique *aphasie sensorielle*, connue aujourd'hui sous le nom d'aphasie de Wernicke⁴.

En 1884-85, **Lichtheim** a décrit sept types d'aphasies possibles sur la base des représentations anatomiques de l'époque et Wernicke, un an plus tard, a développé cette théorie en divisant les types d'aphasies selon trois classes ; corticales, sous-corticales et transcorticales⁵.

4.2 Représentation des Dejerine – années 1910-1920 :

4.2.1 Méthodes utilisées :

L'application des progrès technologiques et techniques avec une méthode de recherche clinique minutieuse ont permis aux Dejerine de créer un ouvrage sur l'anatomie du cerveau extrêmement précis. Ils ont usé de l'histologie et de la méthode des coupes en séries selon Stilling, qui consiste à durcir des pièces anatomiques dans des bichromates et analyser les coupes préalablement colorées en série à un faible grossissement⁶. La coloration des coupes selon différentes méthodes permettait l'observation de structures spécifiques et d'en suivre le parcours au sein du cerveau. La méthode de Weigert par exemple, permettait l'observation des gaines de myéline⁷. Ainsi, ils ont pu isoler de nombreuses structures anatomiques. Au vu de l'approche anatomopathologique clinique, la méthode des dégénérescences secondaires qui consiste en l'analyse des trajets de dégénérescence secondaire à une lésion primaire pour la mise en évidence des trajets de faisceaux de fibres a aussi eu une place centrale dans leurs travaux de recherches. Elle a aussi permis de mettre en évidence l'anatomie des lésions impliquées dans l'aphasie mais, au vu de la complexité et de la variabilité des tableaux cliniques, plusieurs symptômes ne pouvaient pas être expliqués par l'approche anatomique, d'autant que les troubles du langage n'avaient pas encore été détaillé entièrement du point de vue neurolinguistique⁸.

4.2.2 Résumé :

Dans l'ouvrage *Anatomie des centres nerveux* publié en 1901, un chapitre est destiné à l'association d'une localisation à une fonction. Une partie de ce chapitre est consacré à la définition de la zone du langage, zone décrite comme hautement différenciée dont l'objectif est de pouvoir subvenir à la fonction du langage.

Les Dejerine partent du principe que le cerveau se différencie de manière locale dans le but d'exercer une fonction précise. Les fibres courtes d'association pourraient avoir un lien avec la spécialisation des aires cérébrales : « *il est probable que ces fibres ne se recouvrent de myéline chez l'enfant et ne se distinguent de la masse générale des fibres nerveuses, que lorsque l'éducation et l'exercice ont incité deux territoires corticaux à fonctionner à l'unisson.* » (Dejerine, 1895, p.749)

Contrairement aux autres zones, ils présentent la zone du langage comme unique et unilatérale. Ils la localisent à gauche chez les droitiers et à droite chez les gauchers.

« *La zone [du langage] occupe la circonvolution d'enceinte de la scissure de Sylvius, s'étend du pied de la troisième circonvolution frontale au pli courbe, en englobant la partie postérieure de la troisième circonvolution temporale. Les centres secondaires qui composent la zone du langage sont irrigués par un même vaisseau, l'artère sylvienne.* » (Dejerine, 1901, p.247)

Cette zone est composée de trois centres, reliés par un réseau de fibres complexes.

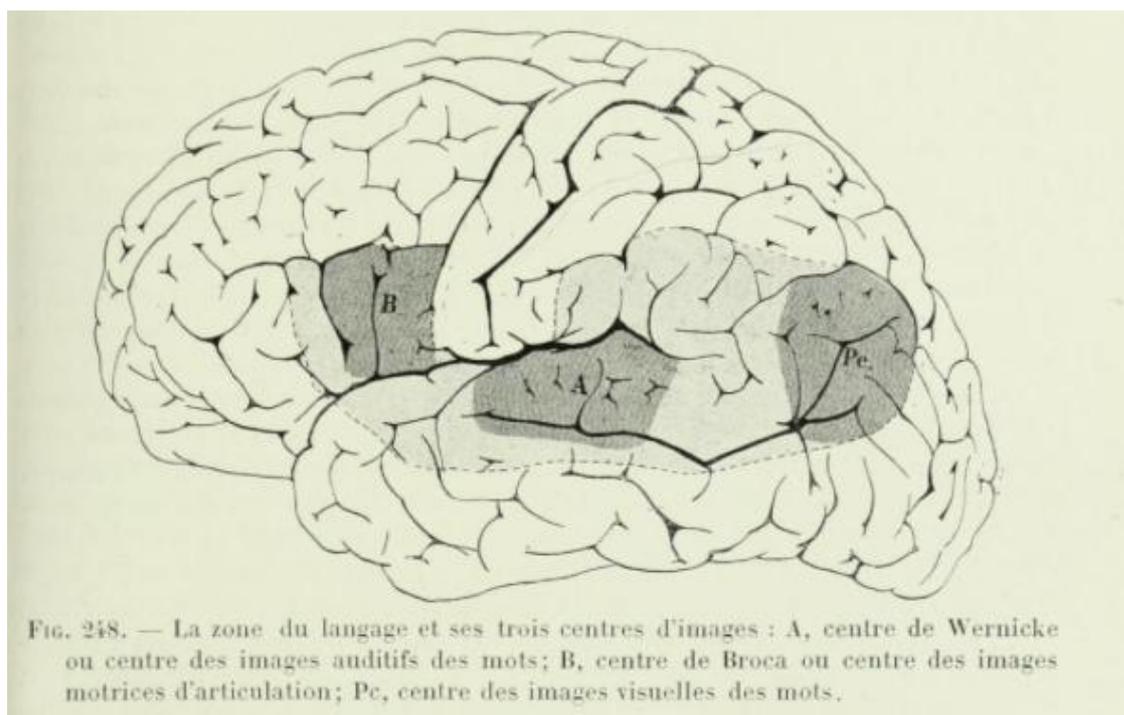
4.2.3 Description :

Zones corticales :

Trois centres mis en évidence par la clinique et l'anatomie pathologique constituent la zone du langage. Chacun d'eux est nécessaire à la fonction du langage, dont la situation cérébrale est directement corrélée avec leur fonction :

- 1) *Le centre des images motrices d'articulation, ou centre de Broca qui occupe la troisième circonvolution frontale [... est] accolée à l'opercule rolandique, -régions des centres moteurs de la face, du larynx, du pharynx et de la langue, - c'est-à-dire aux centres des muscles dont les mouvements assurent le mécanisme moteur matériel de l'articulation des sons. » (Dejerine, 1901, pp. 247,248)*
- 2) *Le centre des images auditives des mots, ou centre de Wernicke, siège dans la partie postérieure de la première circonvolution temporale et le gyrus supramarginalis. (Dejerine, 1901, pp. 247,248)*
- 3) *Le centre des images visuelles des mots qui occupe la région du pli courbe, « en connexion avec la face interne du lobe occipital, zone de la vision générale, par de nombreuses fibres d'association » (Dejerine, 1901, pp. 247,248)*

Figure 1 : Zone du langage¹



A cette époque, un débat soutenu par Exner et Charcot avait lieu sur l'existence d'un quatrième centre consacré aux mouvements de l'écriture mais les Dejerine réfutent cette hypothèse sur la base d'un manque de preuve clinique (aphasie graphique isolée) et anatomo-pathologique⁹.

¹ DEJERINE Jules, Anatomie des centres nerveux Tome II, Paris, J. Rueff, éditeur, 1901 p.247

Connexion des aires corticales¹⁰:

Les Dejerine ont décrit et classé les fibres interconnectant les différentes parties du cerveau de la manière suivante :

- 1) Les courtes fibres d'association
- 2) Les longs faisceaux d'association
- 3) Les fibres propres des lobes occipital et frontal

Parmi cette classification se retrouvent les fibres connectant les centres du langage de manière à former un complexe uni.

Trois types de fibres font parties des fibres propres à la zone du langage et forment la majorité de la substance blanche des cortex impliqués¹¹.

Premièrement les fibres courtes d'association sont communément appelées **fibres U (p. 748)** et relient deux circonvolutions ou deux lobes voisins.

Elles sont courtes et superficielles et tapissent le fond des sillons, où plus longues naissant du sommet du pli anastomotique pour se rendre à une circonvolution plus éloignée. La direction des fibres en U est toujours perpendiculaire au grand axe du sillon qu'elles tapissent.

Ces fibres continuent dans la substance grise ou elles rejoignent les deux autres types de fibres ; les **fibres d'association intra corticales ou externes de Meynert¹²**, qui occupent la couche profonde de l'écorce et les **fibres tangentiels¹³**, qui recouvrent la périphérie.

En dessous des fibres U se trouve la substance blanche propre à la région formée par des fibres de projections, commissurales, ou d'association de longueur moyenne.

Ces fibres ont le rôle de connecter les différentes régions de la zone du langage entre elles.

Pour les Dejerine, il existe cinq longs faisceaux d'association : le cingulum, le faisceau arqué ou longitudinal supérieur, le faisceau longitudinal inférieur, le faisceau unciné et le faisceau occipito-frontal.

En dehors du Cingulum, les quatre autres faisceaux appartiennent au manteau cérébral dont ils relient les différents lobes.

Le faisceau le plus important est le **faisceau longitudinal supérieur ou arqué (p.756)**, initialement décrit par Friedrich Burdach, connecte la région de l'aire de Broca au gyrus angulaire et à la région de l'aire de Wernicke. Il se situe à la base des circonvolutions de l'opercule Sylvien et est aussi divisé en trois parties. Les fibres les plus superficielles irradient dans la crête de la partie antérieure de la première circonvolution temporale. Les fibres moyennes se terminent dans le segment postérieur de la première circonvolution temporale et dans la deuxième. Les fibres les plus profondes irradient dans, entre autres, le pli courbe et les circonvolutions de la face externe du lobe occipital.

Au niveau du gyrus supra marginal, le faisceau arqué se recourbe vers le bas et en avant pour se porter dans le lobe temporal. Il se confond en arrière avec la couche des fibres verticales de la convexité des régions occipitale et pariéto-temporale, couche constituée par le faisceau occipital vertical de Wernicke. Les Dejerine présentent deux théories sur la terminaison du faisceau arqué. La première selon Meynert dont une partie se terminerait dans l'opercule de la troisième circonvolution frontale du même côté. La seconde selon Schnopfhagen qui démontre que le faisceau arqué passerait par le corps calleux pour se terminer dans le lobe frontal du côté opposé, théorie qu'ils trouvent moins crédible sur la base des cas d'agénésie du corps calleux, et sur le fait que le faisceau ne semble être composé que de fibres courtes.

Le faisceau longitudinal inférieur (p.765) avait été observé par Wernicke, Sachs, Charcot et Ballet qu'ils nommaient sous d'autres noms, mais la première description de ce faisceau est

attribuée à Burdach selon les Dejerine. Il relie le lobe occipital au lobe temporal. Ainsi, la zone visuelle générale comprenant la scissure calcarine, le cunéus et le lobe lingual est relié au gyrus angulaire et à la région de Wernicke. Il prend une direction antéro-postérieure au niveau du bord inféro-externe du lobe sphéno-occipital et s'étend du pôle occipital au pôle temporal. Il abandonne un très grand nombre de fibre dans plusieurs lobes, dont la plus grande partie dans la première circonvolution du lobe temporal et la troisième circonvolution occipitale. Les fibres arrivant dans la première circonvolution temporale irradiant vers le pôle temporal où elles s'entrecroisent avec les fibres du faisceau arqué.

Les dégénérescences secondaires et l'anatomie comparée montre donc que le faisceau longitudinal inférieur est avant tout un faisceau d'association qui relie le lobe occipital, et en particulier la zone visuelle au lobe temporal. Ce faisceau dégénère à la suite des lésions du lobe occipital et se trouve intéressé dans la variété de cécité verbale que les Dejerine ont décrite sous le nom de cécité verbale pure. Il était également facilement observable macroscopiquement sur des cerveaux durcis dans l'alcool ou des bichromates alcalins et microscopiquement par les méthodes de Weigert ou de Pal.

Le faisceau occipito-frontal (p.758) est décrit comme une connexion entre la région occipito-temporale à la région frontale. Selon les Dejerine Il a été défini par Forel et Onufrowicz. Cependant, Forel et Onufrowicz avaient nommé un faisceau ainsi dans le cadre d'autopsies sur des cerveaux avec une agénésie du corps calleux, alors qu'il s'agissait de fibres du corps calleux mal orientées¹⁴.

Le premier à avoir décrit ce faisceau est en réalité Burdach¹⁵ et ce sont les Dejerine qui ont identifié le parcours anatomique de ce faisceau le plus proche de nos conceptions actuelles¹⁶. Ils le décrivent comme étant situé entre le cingulum et le faisceau arqué, prenant son origine dans tout le cortex du lobe frontal. Les fibres se groupent ensuite en fascicules nettement séparés les uns des autres avec une partie des fibres irradiant dans l'extrémité antérieure du lobe frontale, et une autre partie irradiant dans le lobe sphéno-occipital, formant le tapetum dans les circonvolutions de la face externe et du bord inféro-externe de ce lobe.

Le corps calleux (p.787) est essentiel pour la connexion des aires corticales bilatérales. L'aire de Broca est en connexion avec les *centres moteurs de l'appareil phonateur* par des fibres formant les radiations du bec du corps calleux, l'aire de Wernicke avec les *centres de la fonction auditive générale* et le gyrus angulaire avec le *centre de la vision générale* grâce aux radiations du forceps.

Le faisceau unciné (p.753) a été découvert par Reil et n'est pas décrit comme faisant partie de la zone du langage par les Dejerine. Il est décrit comme unissant la pointe temporale à la pointe frontale. C'est le plus court des longs faisceaux. Ils ont cependant décrit qu'une partie des fibres se dirige dans la crête des parties orbitaire et externe de la troisième circonvolution frontale et qu'une autre partie irradie dans la partie antérieure de la première et de la deuxième circonvolution temporale, donc des régions se trouvant dans la zone du langage. Les Dejerine ont pu observer ce faisceau grâce à la coloration au Weigert et au Pal. Tous les cortex de la zone du langage sont en connexion directe avec le thalamus. L'aire de Broca est connectée au thalamus antérieur, l'aire de Wernicke au thalamus postéro-ventral et au corps genouillé et le gyrus angulaire au pulvinar et à la partie adjacente du noyau externe. Toutes les fibres passent par la capsule interne¹⁷

Le cingulum (pp.749,751) a été décrit par Burdach et ne fait également pas partie de la zone du langage selon les Dejerine. Il est composé de fibres courtes qui rejoignent la substance blanche des cortex environnant et serait en lien avec la première circonvolution frontale, le

lobule lingual, le lobule fusiforme et le pôle temporal entre autres.

4.2.4 Corrélations anatomo-pathologique :

Quatre types de troubles du langage existent selon les Dejerine ; l'aphasie, la dysarthrie, le mutisme et le bégaiement. Ils définissent le langage comme les *signes à l'aide desquels l'homme échange ses idées avec ses semblables* et peut être altérés dans trois conditions différentes :

Premièrement lorsque l'élaboration des idées est troublée, « *Troubles du langage par insuffisance ou par défaut d'idéation* ». Deuxièmement lorsque la lésion se trouve dans un centre de la zone du langage, dans les faisceaux connectant les centres entre eux ou connectant les organes périphériques, « *Aphasies proprement dites* ». Enfin, lorsque la lésion entraîne une paralysie centrale ou périphérique des organes jouant un rôle dans le langage, ce sont les « *dysarthrie ou anarthrie* » (Dejerine, 1914, p.68).

Les symptômes dominant sont respectifs aux centres touchés : Aphasie motrice, surdité verbale et cécité verbale.

« *Toute altération de la zone du langage en un point quelconque de son étendue entraîne, non pas des troubles limités à tel ou tel mode du langage, mais une altération de TOUS les modes du langage, avec prédominance de ces troubles sur le mode correspondant au centre d'image directement atteint par la lésion.* » (Dejerine, 1901, p. 248).

« *La conservation des trois images, auditive, motrice d'articulation et visuelle, est indispensable pour le langage intérieur. La notion du mot résulte de l'évocation simultanée de ces trois images et du passage rapide et facile de l'une de ces images à l'autre. Toutes les fois qu'un de ces groupes d'images a disparu, la notion du mot est altérée, le langage intérieur est atteint* » (Dejerine, 1901, p. 248).

L'aphasie :

Définition : « *L'aphasie est la perte de mémoire des signes, au moyen desquels l'homme civilisé échange ses idées avec ses semblables.* » (Dejerine, 1914, p.68). et ceci comprend donc les « amimie, paramimie » ou troubles de la mimique. Anatomiquement : « *tout trouble des fonctions d'un point quelconque de la zone du langage ou des fibres qui la relie aux centres généraux sensoriels ou moteurs voisins.* » (Dejerine, 1914, p.76).

« *L'aphasique est ce malade qui, jouissant de l'intégrité de ses appareils, - phonateur, auditif ou visuel, - est incapable d'exprimer sa pensée et de communiquer avec ses semblables par un ou plusieurs des procédés ordinaires : parole articulée, lecture, écriture, audition* » (Dejerine, 1914, p.75).

Ils distinguent l'« *aphasie vraie* » dont la lésion se trouve dans un des centres de la zone du langage et atteint toutes ses modalités de l'« *aphasie pure* » dont la lésion se trouve en dehors des centres de la zone du langage et isole le centre du cortex avoisinant.

Une aphasie vraie entrainera toujours une altération du langage intérieur contrairement à une aphasie pure dans laquelle le langage intérieur est toujours intact. Une altération du langage intérieur aura toujours un trouble de l'écriture dans les symptômes associés.

On distingue cliniquement les aphasies vraies des aphasies pures par le fait que les premiers « *pensent avec des idées et non avec des images des mots* » alors que les seconds « *pensent avec leurs images du langage comme à l'état normal* » (Dejerine, 1901, p. 249).

Ils divisent la faculté d'échanger des idées en deux actes ; la compréhension et l'expression, qui engendre deux grandes classes d'aphasies :

« *Les aphasies de compréhension ou aphasies sensorielles et les aphasies d'expression ou aphasies motrices* » (Dejerine, 1914, p.68).

Aphasie globale :

Destruction complète de la zone du langage avec atteinte de toutes les modalités.

Aphasie motrice ou d'expression :

Le symptôme clé de l'aphasie motrice est la diminution considérable du nombre de mots que le patient atteint peut prononcer.

Selon la localisation de la lésion, l'aphasie motrice pourra être divisée en aphasie motrice vraie/ aphasie motrice corticale et en aphasie motrice pure/ aphasie motrice sous-corticale.

- 1) Aphasie motrice corticale vraie ou de Broca : lésion dans le centre de Broca¹⁸.

Exemple d'une aphasie motrice corticale :

« *Femme frappée à quarante-cinq ans et demi d'aphasie motrice avec parésie droite légère. Aphasie presque totale pendant deux ans, la malade gardant à sa disposition trois ou quatre mots, puis elle devint totale et pendant dix ans jusqu'à sa mort, la malade resta complètement muette, mais non aphone. La parésie du bras droit disparut rapidement. Il n'y eut jamais aucun symptôme de cécité ou de surdité verbales. L'écriture était conservée et l'intelligence remarquablement intacte. A aucun moment on ne constata chez elle de paralysie des organes de la parole. [...] Autopsie : foyer hémorragique ancien situé dans la moitié postérieure de la circonvolution de Broca et le tiers inférieur – opercule – de la frontale ascendante ; pas d'autres lésions de l'écorce ; ce foyer pénètre dans la profondeur et s'étend dans la substance blanche de la troisième frontale et de la pariétale ascendante ; intégrité complète des noyaux lenticulaire et caudé ainsi que des capsules externe et interne.* » (Dejerine, 1906 pp. 456, 457)¹⁹.

- 2) Aphasie motrice sous corticale ou pure : La lésion se trouve au niveau des faisceaux d'association qui relient la circonvolution de Broca à l'opercule rolandique²⁰.

Exemple d'une aphasie motrice sous-corticale :

« *Le malade, très intelligent, comprenant très facilement tout ce qu'on lui disait à haute voix ou par écrit, pouvant écrire spontanément sous dictée et copier, était absolument incapable de prononcer un seul mot, soit spontanément, soit en lisant, soit lorsqu'on lui disait de répéter une phrase ou de chanter. Il avait, cependant, conservé intactes ses images motrices d'articulation comme à l'état normal, car, lorsqu'il voulait prononcer un mot, il faisait autant d'efforts d'expiration que ce mot contenait de syllabes et indiquait aussi très facilement, à l'aide de ses doigts, le nombre de syllabes que contenait chacun des mots qu'il était incapable de prononcer. [...] A l'autopsie on constata l'intégrité complète de la corticalité de l'hémisphère gauche, de la circonvolution de Broca et de l'insula [...] Ces foyers interrompent non seulement les fibres qui partent de la circonvolution de Broca... » (Dejerine, 1891a, pp.125-126)²¹.*

Aphasie sensorielle ou de compréhension :

Les troubles principaux de l'aphasie sensorielle sont au niveau de la compréhension de la parole et de l'écriture alors que l'articulation est intacte.

Exemple d'une aphasie sensorielle :

« Il [Le patient] ne comprenait aucun mot parlé ou écrit. [...] Il existait en outre une agraphie complète pour l'écriture spontanée et sous dictée, mais l'acte de copier était relativement conservé. Le langage était très troublé et il existait une paraphasie² extrêmement prononcée. [...] A l'autopsie on trouva [...] Cette plaque, qui occupait la circonvolution pariétale intérieure tout entière (pli marginal supérieur et pli courbe), occupait aussi la partie postérieure de la première et de la deuxième temporales et la deuxième circonvolution occipitale. Dans ce cas, les centres de mémoire tonale et optique des mots étaient donc détruits. [...] Le lobe frontal était absolument intact et la circonvolution de Broca, examinée au microscope, ne contenait pas de corps granuleux. » (Dejerine, 1891b, pp.150-151)²².

- 1) Aphasie sensorielle corticale ou vraie : Selon Wernicke, que Dejerine soutient, il n'existe qu'une aphasie sensorielle vraie qui comprend les troubles de la compréhension auditive et les troubles de la lecture. Selon la localisation de la lésion, le tableau clinique sera différent, et même si un trouble prédomine, l'autre sera toujours présent.

L'aphasie sensorielle vraie est donc une combinaison équilibrée ou non des troubles susmentionnés au temps zéro. Selon la localisation de la lésion, l'évolution au temps t pourra soit être nulle dans le cas où la totalité de la zone sensorielle est atteinte, soit devenir une cécité verbale seule dans le cas où le centre des images visuelles est atteint, soit devenir une surdité verbale seule dans le cas où le centre des images auditives est atteint.

La cécité verbale est due à une destruction du pli courbe et la surdité verbale est due à une destruction de la partie postérieure de la première circonvolution temporale²³.

- 2) Aphasies sensorielles sous-corticale ou pures : La lésion se trouve sur les faisceaux d'association entre le pli courbe, ou gyrus angulaire gauche, et la zone visuelle générale. Elle peut se trouver sur le corps calleux, sur la couche sagittale du lobe occipital ou sur le faisceau longitudinal inférieur²⁴.

La cécité verbale pure résultera d'une isolation de la région du pli courbe, le patient écrit spontanément mais ne peut se relire, ne peut plus copier²⁵.

La surdité verbale pure est l'isolement de la partie postérieure de la première circonvolution temporale, le patient ne comprend plus le langage parlé et ne peut plus écrire sous dictée. Ce symptôme découle soit d'une lésion bilatérale du centre commun de l'audition, soit d'une lésion unilatérale dans la substance blanche du lobe temporal selon Liepmann²⁶.

² « *Le paraphasique est un malade qui parle mal, parce qu'il prend indistinctement un mot pour un autre [...] le paraphasique au contraire parle en général beaucoup et est souvent un loquace. [...] La paraphasie peut être verbale ou littérale. Dans le premier cas, les mots sont exactement prononcés, mais employés indistinctement : dans le second cas, le malade fait des fautes d'articulation et forge, pour ainsi dire, des mots nouveaux et sans aucune signification* » (Dejerine, 1914, p. 408)

4.2.5 Nosographie aphasiologique à la Période de Déjerine

La définition et caractérisation clinique des différentes aphasies à cette période est résumée dans la Figure 2.

Figure 2 : ^{3, 27}

Type d'aphasie	Altérée		Altération partielle		Conservée		Aphasie de conduction centripète ou centrifuge		
	Aphasie motrice corticale	Aphasie sensorielle vraie	Aphasie globale	Aphasie motrice pure sous corticale	Cécité verbale pure	Surdité verbale pure			
Parole spontanée		Paraphasie et jargonaphasie Fluence verbale conservée		intégrité des images					
Répétition		Conservation relative du chant							
Lecture à haute voix		Paraphasie et jargonaphasie							
Agraphie		Agraphie complète ou paragraphie							
Copie		Copie servile	Copie servile		Copie servile				
Cécité verbale	Manifeste ou latente						Intégrité des images		
Compréhension							auditive	visuelle	
Surdité verbale									
Symptôme(s) associé(s)	Hémiplégie droite fréquente	Hémianopsie homonyme latérale droite fréquente	Hémiplégie droite	Hémiplégie droite fréquente					

³ MIRALLIE Charles, De l'Aphasie Sensorielle, Paris, G. Seigneulle, 1896

4.3 Représentation de Geschwind et Damasio – années 1960-1980 :

4.3.1 Méthodes utilisées :

Alors que la vision holistique du langage prenait de l'ampleur à cette époque, Geschwind a réalisé beaucoup de travaux de recherches motivés par les tableaux cliniques spécifiques des aphasies, ce qui a donné une deuxième vie aux travaux de recherches des grands auteurs du 19^{ème} siècle.

Ainsi, Geschwind ne présente pas une représentation anatomique fondamentalement nouvelle du langage, mais il reprend plusieurs éléments soulevés par les anciens auteurs et y applique ses propres observations. Il s'est beaucoup basé sur des études faites sur les animaux pour la compréhension du fonctionnement cérébral, lesquelles n'étaient pas directement applicable au langage mais permettaient la réalisation d'études comparatives entre un cerveau humain et celui d'un primate par exemple, permettant la mise en évidence de l'évolution cérébrale nécessaire au langage.

Dans les années 1960, l'introduction du CT (computerized tomography) comme nouvelle technologie dans les études cliniques a répondu à plusieurs questions par des études statistiques pouvant être réalisées in vivo.

L'intérêt de l'imagerie est qu'elle est un moyen de vérifier la localisation des structures anatomiques in vivo sur un grand échantillon de patient. La résolution est cependant nettement inférieure à celle obtenue lors de l'autopsie.

L'imagerie permet de procéder à des études expérimentales sur le comportement des patients en fonction des lésions détectées et permet ainsi de découvrir de nouvelles structures ayant un rôle dans le langage, le but étant d'associer une fréquence lésionnelle avec un tableau clinique d'aphasie. Ces nouvelles études statistiques ont confirmé et affiné les théories suggérant la latéralisation du cerveau et l'association anatomo-clinique malgré une résolution inférieure, engendrant une plus grande considération de la vision localisationniste du cerveau.

4.3.2 Résumé :

Geschwind assume le fait que l'hémisphère gauche est dominant pour les fonctions langagières par l'observation d'asymétries entre l'hémisphère gauche et droite²⁸. Le fonctionnement du langage est donc latéralisé à gauche dans sa représentation.

Il reprend la zone du langage décrit par les anciens auteurs, constituée de l'aire de Wernicke, cortex d'association auditive dans la première circonvolution temporale, de l'aire de Broca dans le troisième gyrus frontal en face du cortex moteur contrôlant les muscles nécessaires à l'articulation, et du faisceau arqué connectant ces deux aires. Cependant, il applique la théorie de Flechsig²⁹ et de Bailey et Bonin³⁰ sur le fonctionnement cérébral au processus du langage et place le cortex d'association secondaire décrit par Critchley³¹ au centre.

« Le développement du langage est probablement fortement corrélé à l'émergence de l'aire d'association pariétale puisque, du moins dans ce qui est peut-être son aspect le plus simple (nomination d'objet), le langage dépend des associations entre d'autres modalités et l'audition » (Geschwind, 1965, p. 148)³².

Damasio, selon le principe d'aire associative secondaire, décrit plusieurs « zones de convergences » nécessaires à la production du langage³³.

4.3.3 Description :

Zones corticales :

Le principe de Flechsig et de Bailey et Bonin (respectivement de 1901 à 1951) stipule que les aires sensorielles primaires n'ont pas de connexions directes efférentes ou afférentes avec le reste du cortex cérébral, mais qu'elles envoient presque exclusivement des projections dans les aires adjacentes nommée « aires para sensorielles » ou « aires d'associations ». Ces dernières en revanche, reçoivent et émettent des fibres beaucoup plus loin. Ce principe s'applique autant à l'intérieure d'un hémisphère qu'aux deux hémisphères ensemble³⁴.

La distinction de ces deux types de cortex cérébraux est faite en fonction de la chronologie de la myélinisation de la zone et de l'organisation de la zone.

Le cortex cérébral est séparé en cinq « zones primordiales » selon ce principe :

- 1) Cortex visuel primaire
- 2) Cortex auditif primaire (ou Gyrus de Heschl)
- 3) Cortex somesthésique
- 4) Structures limbiques
- 5) Cortex moteur primaire

Parmi ces cinq zones primordiales, seules les trois premières joueront un rôle dans le langage par leur « zone intermédiaire » propre adjacente.

- 1) Cortex visuel d'association (aires de Brodmann 18 et 19)
- 2) Cortex d'association auditif (parties moyenne et postérieure du premier gyrus temporal gauche ou aire de Wernicke)
- 3) Cortex moteur d'association (aire de Brodmann 6)

Selon Geschwind, aucun faisceau de fibre n'est assez conséquent pour correspondre à la transmission des associations visuo-auditives. Il explique cela par le cortex d'association secondaire décrit par Critchley en 1953, zone équidistante aux aires primaires visuelle, auditive et somesthésique. Elle pourrait donc recevoir directement des projections des trois aires associatives. Cette zone est considérée comme « terminale » selon le principe de Flechsig et correspond à un cortex d'associations des aires associatives qui se trouve dans le lobe pariétal au niveau du gyrus supramarginalis et angulaire (aires de Brodmann 39-40).

Si l'on se réfère à la citation du chapitre 4.3.2, le lobe pariétal inférieur serait donc la zone anatomique supportant la fonction langagière, ou du moins la capacité de nommer un objet.

Connexions des aires corticales :

Le cortex visuel d'association est connecté à trois structures. Premièrement, il est connecté au cortex d'association de l'hémisphère opposée par le corps calleux (splénium). Deuxièmement, la partie antérieure est connectée au cortex moteur associatif et à l'aire de Broca par le faisceau arqué³⁵. Finalement, la connexion la plus conséquente lie le cortex d'association visuel à la face latérale et basale du lobe temporal.

Le cortex moteur d'association gauche est connecté au cortex moteur d'association de l'hémisphère opposé par le corps calleux.

Ainsi les cortex d'associations des deux hémisphères sont connectés entre eux, et les cortex d'associations de l'hémisphère gauche relaient les informations au gyrus supramarginalis et angulaire. La théorie la plus probable concernant la transmissions des informations visuelles est qu'elles peuvent emprunter deux chemins distincts : soit les informations visuelles

droites peuvent emprunter le splénium en direction du cortex visuel associatif gauche, puis être relayée au cortex d'association secondaire, soit les informations du cortex d'associations visuelles droite se dirigent vers le gyrus angulaire droite, qui transmet les informations au gyrus angulaire gauche par le corps calleux.

Le gyrus angulaire aurait ensuite le rôle de transmettre les associations visuelles et somesthésiques à l'aire de Wernicke.

L'aire de Wernicke, dans le but d'associer un stimulus auditif à une autre association de modalités sensorielles, aurait le rôle de transmettre le stimulus auditif au gyrus angulaire. Le gyrus angulaire permet la translation d'un langage écrit à un langage parlé et vice versa.

L'aire de Wernicke et l'aire d'association secondaire ont donc une place centrale dans sa représentation du langage.

Le faisceau qui connecte l'aire de Wernicke à l'aire de Broca et à l'aire motrice associative gauche est le faisceau arqué. En plus, des fibres du corps calleux antérieure au cortex auditif primaire connectent le planum supratemporal à l'hémisphère opposée et la face latérale et basale du lobe temporal est connectée avec les structures limbiques de la surface interne du lobe temporal.

Application de la théorie de Geschwind par Damasio :

Bien que nous n'abordions pas extensivement la représentation neurolinguistique du langage, il est important d'introduire quelques définitions tirées de ce modèle, car cette terminologie est utilisée dans les prochaines représentations étudiées.

Les neurolinguistes ont fragmenté le langage en unités et en niveaux de complexité et de taille.

Le phonème est l'unité minimale sonore de la parole dans une langue donnée. Les phonèmes sont constitués des sons des voyelles et des consonnes produites par les cordes vocales. La **phonologie** est la manière dont les phonèmes sont organisés dans les langues.

Le morphème est l'unité minimale porteuse d'un sens dans une langue donnée. On distingue les morphèmes de contenu, qui véhiculent la signification, et de fonction, qui ajustent le contexte grammatical. Le **lexique** est la totalité des morphèmes d'une langue ou le répertoire de l'individu.

La **syntaxe** désigne les modalités d'assemblage de mots que le locuteur d'une langue emploie pour former des phrases et la **sémantique** est l'étude du champ de la signification.

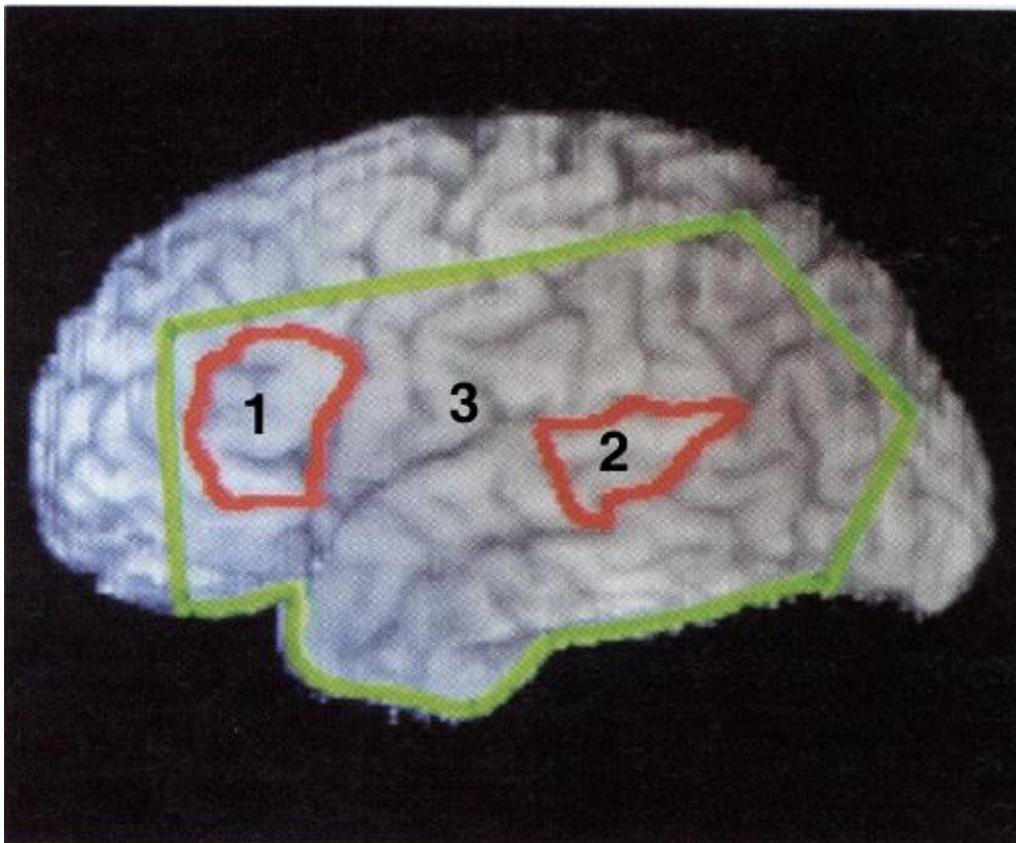
Il est intéressant de souligner l'émergence des termes neurolinguistiques définit dans la description des troubles du langage.

Cette nouvelle approche neurolinguistique puis l'approche cognitive, qui a « dépecé » le langage en différents processus sériels, ont débouché sur une analyse très systématique de l'aphasie, en particulier par l'école de Boston et des élèves de Geschwind, et qui a fait référence au niveau international avec le Boston Diagnosis Aphasia Examination³⁶, qui fait encore aujourd'hui références dans plusieurs pays pour caractériser une aphasie. Cette analyse systématique des symptômes et caractérisation des aphasies a influencé les nouvelles analyses anatomo-cliniques.

Damasio introduit les « *zones de convergences* », qui correspondent à l'aire d'association secondaire présentée par Geschwind dans leur fonction. Il n'accepte pas l'hypothèse qu'une telle zone soit unique et décrit d'autres zones fonctionnant sur ce même principe.

L'aire de Broca, le cortex frontal externe (aires 47,46 et 9), le cortex pariétal gauche (aires 40, 39 et 7) et le cortex sensorimoteur en dessus de la fissure sylvienne (la partie inférieure des aires 1,2,3 et 4) forment un réseau pour la formation de phonèmes en mots et de mots en phrase. Leur rôle dans le langage est au niveau de la structure grammaticale (Voir Figure 4). La composante subcorticale est dans les ganglions de la base gauche (tête du noyau caudé et putamen)⁵¹. Damasio émet l'hypothèse que ces régions sont essentielles pour un traitement automatique des structures des phrases fréquemment utilisées dans le langage. De manière générale, les patients avec une atteinte lésionnelle touchant les ganglions de la base ont tendance à avoir des troubles du langage plus sévères.

Figure 4 : Aires du langage dans les descriptions de Damasio ⁵



1 : Aire de Broca
(Aire de Brodmann 44, 45)
2 : Aire de Wernicke
3 : Aires associées à des symptômes d'aphasie en cas de lésion ou de stimulation électrique

4.3.4 Corrélations anatomo-pathologique :

Dans les articles de Damasio et de Geschwind, les troubles du langage sont aussi abordés par l'approche déficitaire, soit l'association de zones cérébrales à une fonction langagière. Comme les Dejerine, qui présentent trois symptômes principaux dans le cadre des « *aphasies proprement dites* », Damasio décrit trois types de troubles du langage pouvant être présent chez un aphasique ; un trouble de la compréhension des signaux auditifs, des signaux visuels où de l'écriture.

⁵ DAMASIO, A.R., M.D., Aphasia, In *New England Journal of Medicine*, vol 326, 1992, p. 536

L'approche neurolinguistique a cependant permis à Damasio d'apporter trois subdivisions du langage supplémentaires et indépendantes pouvant être déficientes dans chacun des troubles ; l'aspect syntaxique, lexical et/ou morphologique (qui correspond à la combinaison des phonèmes en morphèmes).

« La nature de l'aphasie est un trouble du traitement linguistique, une rupture dans le mécanisme qui traduit les pensées en langage. L'aphasie n'est pas un déficit de perception. [...] L'aphasie peut être causée par pratiquement n'importe quelle lésion neurologique qui affecte les hémisphères cérébraux, à condition que les aires en liens avec le langage soient impliquées. » (Damasio, 1992, p.531).

L'aphasie :

« L'aphasie est un trouble de la compréhension et de la formulation du langage causé par une dysfonction dans une région spécifique du langage. Elle résulte d'une cassure entre deux chemins de transmissions qui établissent une correspondance entre les pensées et le langage » (Damasio, 1992, p. 531).

Aphasie globale :

Dans l'aphasie globale, toutes les modalités du langage sont atteintes.

L'aphasie globale classique est accompagnée d'une hémiparésie droite et la lésion est continue, touchant les régions antérieures (impliquées dans l'aphasie de Broca), moyennes (impliquées dans l'aphasie de conduction) et postérieures (impliquées dans l'aphasie de Wernicke).

Une aphasie globale sans hémiparésie signe la présence de deux foyers lésionnels. Le premier dans la région antérieure frontale et la deuxième dans la région postérieure temporo-pariétale.

Enfin, les lésions étendues dans la région antérieure touchant les ganglions de la base et l'insula engendrent un tableau clinique d'aphasie globale transitoire qui se chronicise en aphasie de Broca sévère⁵².

Aphasie motrice ou de Broca :

Les symptômes principaux sont un déficit de production et de répétition avec agrammatisme sans déficit de compréhension.

Les travaux de recherches de Mohr *et al.* (1975) ont décrit la topographie lésionnelle d'une aphasie de Broca majoritairement avec le CT-scan, sur la base d'une étude de dix cerveaux de patients répondant aux critères cliniques caractéristiques depuis plus de 6 mois. En comparant leurs résultats avec des descriptions d'autopsies dans les anciens ouvrages, Mohr et ses associés ont conclu qu'une lésion isolée dans le lobe frontal inférieur n'engendrait qu'un mutisme provisoire succédé par une production de langage laborieuse. Toutes les lésions correspondantes aux critères d'aphasie de Broca dépassaient largement la zone délimitée par les anciens chercheurs et s'étendaient de l'opercule du lobe frontal, comprenant l'aire de Broca, aux régions antérieures du lobe pariétal dont l'insula, les bords de la fissure rolandique et les parties profondes des hémisphères⁵³.

Les lésions englobant l'opercule frontal et s'étendant à l'insula et aux ganglions de la base (la tête du noyau caudé et le putamen) sont associées avec des troubles du langage sévère et des déficits moteurs semblables au tableau clinique décrit par Broca en 1861⁵⁴.

La découverte de ces nouvelles structures et une décortication détaillée neurolinguistique

des troubles du langage dans l'aphasie de Broca a permis une interprétation nouvelle, associant les structures susmentionnées à un trouble syntaxique décrit globalement sous la forme d'un *agrammatisme*. « *Mon point de vue est que les structures usuellement endommagées dans la vraie aphasie de Broca et l'aphasie de l'aire de Broca sont une partie d'un réseau neuronal impliqué dans l'assemblage des phonèmes en mots, et des mots en phrases...* » (Damasio, 1992)

Aphasie sensorielle ou de Wernicke :

Les symptômes principaux sont un déficit de compréhension et de répétition avec une fluence verbale conservée paraphrastique.

Selon les données récoltées avec le CT-scan, la majorité des lésions étaient dues à des lésions cérébrovasculaires dans les territoires de l'artère cérébrale moyenne et/ou de l'artère du gyrus angulaire, qui impliquaient l'aire de Wernicke (aire de Brodmann 22 dans le lobe temporal supéro-postérieur gauche).

Les patients droitiers ou ambidextres sont des exceptions à cette règle lorsqu'ils ont une dominance cérébrale inversée.

L'étendue de la lésion est variable et module l'apparition d'autres types de troubles du langage. Par exemple, il est fréquent que la lésion s'étende au lobe pariétal et touche le gyrus angulaire (aire de Brodmann 39), le lobe temporal postéro-inférieur et la deuxième et troisième circonvolutions temporales (aires 21,20 et 37)⁵⁵.

Aphasie de conduction :

Les symptômes principaux sont un déficit syntaxique et de répétition avec une fluence verbale conservée paraphrastique sans déficit de compréhension.

L'aphasie de conduction est considérée comme à cheval entre l'aphasie de Broca et de Wernicke, autant au niveau du tableau clinique qu'au niveau anatomique. D'un point de vue clinique le déficit de répétition est retrouvé dans les deux tableaux et les symptômes distinctifs de production et de compréhension sont conservés dans l'aphasie de conduction. Du point de vue anatomique, les aires communément associées aux aphasies de Broca et de Wernicke sont épargnées.

Les lésions entravent le passage des informations auditives au système moteur. Deux sites principaux peuvent être atteints. Premièrement la région pariétale inférieure au niveau du gyrus supramarginal (aire de Brodmann 40), centre secondaire d'association, et deuxièmement le cortex auditif primaire et insulaire. La matière blanche environnante de ces régions est fréquemment également atteinte, détruisant les fibres de projections connectant les lobes temporal, pariétal et frontal, fibres qui constituent le faisceau arqué⁵⁶.

Aphasie transcorticale :

Geschwind a introduit les « *Syndrome de déconnexion* » et les définit comme étant les effets d'une lésion dans un faisceau d'association dans un même hémisphère ou d'un faisceau d'association entre les deux hémisphères déconnectant l'aire de Wernicke d'un cortex sensoriel primaire, du système moteur ou de l'aire antérieure du langage (aire de Broca). Ces syndromes peuvent être comparés aux lésions « *transcorticale* » ou de « *connexion* » décrits par les anciens auteurs. Ce sont les syndromes d'« *isolation de l'aire du langage* »⁵⁷.

Le CT a clairement confirmé que la notion de la plupart des cas de TS (motrice ou sensorielle) sont liées à des lésions en dehors du cercle perisylvien immédiat.

- **Aphasie motrice transcorticale:**

Les symptômes principaux sont un déficit de production sans déficit de répétition ni de compréhension.

La localisation des lésions, jusqu'alors déduite des représentations théoriques n'a pu être démontrée qu'après l'introduction du CT-scan dans les méthodes de recherches. Elle se situe au niveau du lobe frontale latérale ou médial, en dessus et en face de l'aire de Broca^{58 59}.

- **Aphasie sensorielle transcorticale :**

Les symptômes principaux sont une altération de la compréhension sans déficit de production et de répétition.

Dans les aphasies sensorielles transcorticales, les lésions touchent la jonction du cortex d'association auditive avec les régions avoisinantes. L'aire de Wernicke reste généralement indemne et les lésions peuvent s'étendre au niveau du lobe pariétal, au niveau du lobe temporal inférieur ou toucher les deux lobes. Parfois, le cortex visuel d'association est aussi touché⁶⁰.

Aphasie atypique:

Les études systématiques possibles sur un large échantillon de patient grâce au CT-scan ont révélés des lésions dans des régions anatomiques non documentées dans la physiopathologie des aphasies.

Les lésions se trouvaient dans les ganglions de la base et dans le thalamus de l'hémisphère dominante. Une lésion de la tête du noyau caudé, de la partie antérieure du putamen ou de la branche antérieure de la capsule interne engendrent un déficit de la compréhension auditive, une hémiparésie droite et, non obligatoirement, une production non fluente du langage^{61 62}.

4.3.5 Nosographie aphasiologique à la Période de Damasio

La définition et caractérisation clinique des différentes aphasies à cette période est résumée dans la Figure 5.

Figure 5

Type d'aphasie	Aphasie de Broca	Aphasie de Wernicke	Aphasie Globale	Aphasie de conduction	Aphasie motrice transcorticale	Aphasie sensorielle transcorticale	Aphasie atypique
Fluence verbale		Paraphasie		Anormale			
Répétition	Pauvre	Pauvre		Pauvre			
Alexie		Selon étendue de la lésion					
Agraphie		Selon étendue de la lésion					
Agrammatisme							
Compréhension						Pauvre	
Symptôme(s) associé(s)	Hémi-parésie droite	+/- acalculie, apraxie	Faiblesse faciale droite, +/- Hémiplégie droite	+/- Faiblesse faciale droite	Hémiplégie droite fréquente	Hémi-parésie droite	Hémi-parésie

4.4 Représentation de Price – années 2000 à ce jour :

4.4.1 Méthodes utilisées :

L'avènement de l'imagerie fonctionnelle dans les travaux de recherches sur le cerveau a permis une approche totalement innovatrice. L'IRMf (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) et le PET (positive emission tomodensitometry) offrent l'opportunité de pouvoir observer l'activité cérébrale de manière non invasive in vivo, autant chez un sujet sain que chez un sujet après un événement lésionnel. L'activité neuronale est reflétée par l'augmentation de la consommation en oxygène (mesurée par l'IRMf) et du flux sanguin (mesuré par le PET) de manière localisée.

Jusque-là, seule l'approche déficitaire permettait de supposer la fonction cérébrale correspondante à la localisation de la lésion. De fait, une lésion non déficitaire était donc ininterprétable, et la probabilité d'une lésion étant variable dans les différentes régions du cerveau, elle représentait une contrainte non modifiable à la recherche. De plus, cette méthode pousse à une ségrégation fonctionnelle visant à attribuer un rôle à une structure spécifique contrairement à l'imagerie fonctionnelle permettant l'intégration des interactions entre plusieurs aires corticales lors d'une tâche. Ceci permet une meilleure approche du fonctionnement cérébral en réseau.

Pour pouvoir interpréter la réponse neuronale à une tâche, il faut utiliser la méthode de soustraction qui consiste à la mesure de l'activité durant deux tâches qui ne diffèrent que par ce que les chercheurs souhaitent observer.

Néanmoins les contraintes induites par le fonctionnement cérébral du langage engendrent des limitations à cette méthode. Premièrement, il est très difficile de prévenir le traitement implicite d'un mot^{63 64}. En effet lorsque le sujet n'est pas censé répondre à un stimulus visuel ou auditif, le système langagier réagit de manière automatique. Ensuite, l'intensité de l'activité d'une zone non-linguistique peut varier en fonction des tâches demandées. Par exemple, l'activité du cortex visuel durant la lecture d'un mot de manière silencieuse contre la lecture d'un mot à haute voix^{65 66}.

Enfin, l'imagerie fonctionnelle permet l'observation des aires impliquées dans un processus du langage mais elle ne permet pas, contrairement aux études lésionnelles, de déterminer quelle région est nécessaire au même processus. Aujourd'hui, l'imagerie fonctionnelle est utile pour l'interprétation de réponses aux questions les plus élémentaires.

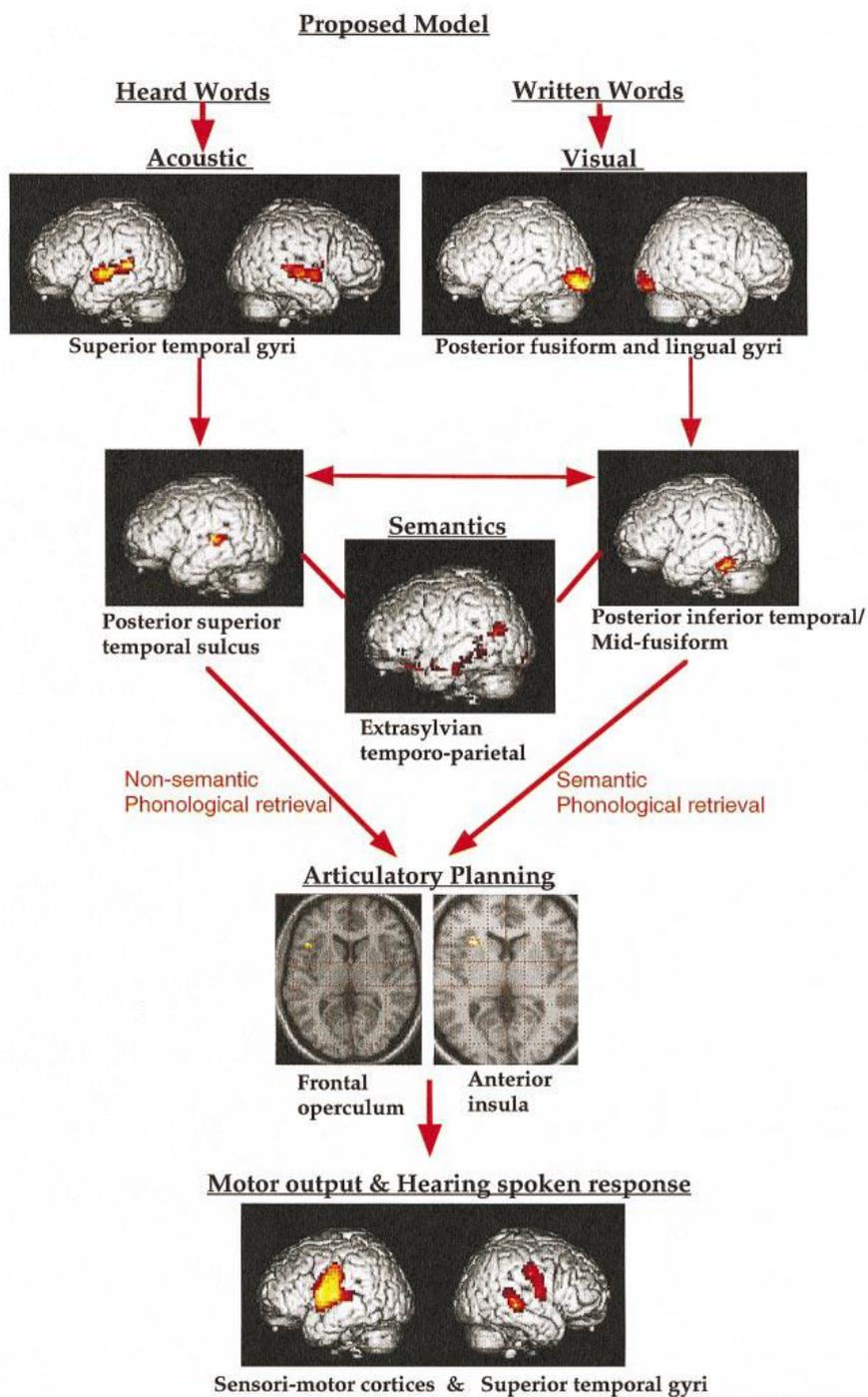
En conséquence, il est difficile de se détacher complètement des représentations anatomiques du XIXème siècle, par contre cette méthode permet l'acquisition d'informations complémentaires.

4.4.2 Résumé :

« La production de langage est un processus complexe de plusieurs étapes qui convertissent des idées conceptuelles en un signal acoustique qui peut être compris par les autres. Les étapes incluent la conceptualisation du message souhaité, la récupération de mots, la sélection de formes morphologiques appropriées, le séquençage des phonèmes, des syllabes et des mots, l'encodage phonétique des plans articulatoires, l'initiation et la coordination de séquences de mouvements dans la langue, les lèvres, les muscles laryngés qui font vibrer les cordes vocales et le contrôle de la respiration pour la phonation de voyelles et la prosodie » (C.J Price, J.T Crinion, M. Macsweeney, 2011, p. 1)⁶⁷.

4.4.3 Description :

Figure 6:⁶



La méthode implique une interprétation inversée du système dans le sens qu'ils ne partent pas de la structure pour en établir la fonction mais qu'ils partent d'une fonction pour établir les structures impliquées et ceci n'est réalisable qu'à la condition d'avoir des méthodes de recherches non-invasives. C'est donc la méthode qui a changé la perspective. La question à

⁶ PRICE, C.J., The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging, In *Journal of Anatomy*, vol 197 (Pt 3), 2000, p. 354

se poser est donc de savoir si nous sommes capables de soustraire les informations entre les perspectives dans le but de comparer les représentations.

La représentation du langage implique les deux hémisphères, mais les aires principalement impliquées dans la production et la compréhension sont majoritairement latéralisées à gauche. Cette représentation comporte deux principales subdivisions sensorielles. L'une acoustique et l'autre visuelle, qui empruntent ensuite une voie cérébrale commune.

Processus du mot auditif :

Pour comprendre le cheminement de l'information d'un mot auditif, une étude a comparé d'une part l'activité provoquée par des sons n'ayant pas de signification et d'autre part l'activité provoquée par l'écoute de mots lus⁶⁸.

Un stimulus auditif va être conduit aux aires corticales primaires du gyrus temporal supérieur (planum temporal à la surface dorsale et au gyrus de Heschl sur la face postérieure) par les projections des voies auditives ascendantes (provenant de l'oreille). Si le stimulus auditif est porteur d'un sens, il va engendrer une forte activation dans le reste du gyrus temporal supérieur, qui est composé d'un cortex uni modal d'association auditive⁶⁹ et qui contient aussi l'aire spécialisée du langage permettant une discrimination spécifique phonologique. Elle se trouve plus précisément au niveau du cortex temporal supéro-postérieure gauche (qui correspond à la partie inférieure de l'aire de Wernicke) ainsi qu'à son homologue droite. Tous les stimulus auditifs sont conduits à l'aire temporale postéro-supérieure, mais seuls les stimuli intelligibles seront conduits dans la partie antérieure du gyrus frontal inférieur (pars Orbicularis, distincte de l'aire de Broca) par un faisceau spécifique⁷⁰.

Processus du mot visuel :

Pour comprendre le cheminement de l'information d'un mot visuel, Price a comparé les aires impliquées durant une lecture silencieuse aux aires impliquées lors de la vision de signaux sans signification.

La lecture d'un mot nécessite une analyse lexicale (le mot en entier) et/ou sous-lexicale (composants du mot) en lien avec l'orthographe et la phonologie^{71 72} mais il se pourrait que cette partie soit médiée par l'accès sémantique au niveau cérébral^{73 74}. Quelques études ont montré que les gyri fusiformes bilatéraux, le cervelet et le cortex temporal moyen étaient en lien avec la faculté de lecture⁷⁵.

Pour comprendre le traitement des stimulus visuels, une étude a comparé l'activation cérébrale de sujets devant une lettre de l'alphabet de grand format, formée par d'autres lettres de l'alphabet de petit format. Ils ont observé que le gyrus lingual médial était plus actif dans le traitement de la lettre globale et que les gyri fusiformes postérieurs bilatéraux étaient impliqués dans le traitement focalisé des petites lettres⁷⁶. L'hypothèse est donc que ces régions servent à l'analyse lexicale et grammaticale respectivement. L'information visuelle serait ensuite être dirigée vers le cortex temporal postéro-inférieure gauche, dans le gyrus fusiforme moyen et le cortex temporal postéro-supérieure gauche (ou aire de Wernicke).

La **pars Orbicularis du gyrus frontal inférieur** a différentes projections du noyau médiodorsal du thalamus⁷⁷ et est associé avec un traitement **sémantique** des stimulus auditif et visuel. Ce rôle a été démontré dans une étude ayant comme but de différencier le

traitement cérébral d'une information auditive intelligible par rapport à une information non-intelligible⁷⁸.

Le **lobe temporal postéro-inférieure** a très probablement aussi un rôle sémantique car il s'active fortement lorsqu'il faut **nommer un objet** à partir d'une image. Le gyrus angulaire gauche, qui se situe dans le lobe pariétal^{79 80}, s'active aussi lors d'une lecture silencieuse de mots formant une phrase^{81 82 83}, mais pas lors d'une lecture silencieuse de mots ponctuels^{84 85 86 87 88}. Il semble donc être plus impliqué dans l'aspect sémantique du langage^{89 90}. Le **lobe temporal postéro-inférieure** et le gyrus angulaire semblent aussi être nécessaires dans la nomination et la **fluence verbale**, mais il est possible que ce soit une activation implicite. De plus, une lésion dans cette partie n'induit pas un déficit de **répétition**. Certaines études soutiennent le fait que le cervelet a un rôle dans la fluence verbale⁹¹. Les aires motrices pré-supplémentaire et la tête du noyau caudé droite et gauche semblent être associés à la fluence sémantique, alors que le cortex temporal antérieur ventral bilatéral semble être associé à la fluence phonémique⁹².

L'aire de Wernicke a très probablement un rôle phonologique car elle est plus active lors de la lecture que lorsqu'il faut nommer un objet à partir d'une image. Le gyrus supramarginal antérieur a aussi un rôle phonologique et la densité de la matière grise du gyrus supramarginale postérieure, qui se trouve entre le gyrus supramarginal antérieur et le gyrus angulaire, est corrélée à la rapidité **d'apprentissage de nouveau mot** chez les adolescents⁹³. Il pourrait donc avoir le rôle de lien entre les informations phonologiques et sémantiques d'un mot⁹⁴.

Pour comprendre le processus de la production du langage, Price compare deux études impliquant un stimulus différent à l'origine.

Dans la première étude, Price compare l'activité cérébrale des sujets lorsqu'ils doivent répéter un mot entendu par rapport à l'écoute du mot sans devoir les répéter⁹⁵. Dans la deuxième étude, Price compare l'activité cérébrale des sujets lorsqu'ils doivent lire à haute voix par rapport à une lecture silencieuse.

Lors d'une lecture à haute voix ou lors de la répétition d'un mot entendu, les aires activées seront les mêmes, mais une différence d'intensité dans l'activation peut être mesurée. Ainsi l'aire de Wernicke s'active plus lors de la répétition d'un mot entendu et **l'aire temporale postéro-inférieure gauche s'active plus lors de la lecture**.

De là, les deux types d'information peuvent suivre des voies communes. Une des voies se trouve au niveau du sulcus temporal supérieur et du gyrus temporal moyen, qui sont les aires corticales polymodales recevant des projections visuelles, somatosensorielles et auditives, aussi appelée site des fonctions supérieures du langage⁹⁶.

Une autre voie se dirige vers le cortex sylvian sensorimoteur bilatéral jusqu'aux lobes temporaux antéro-supérieure et **l'insula antérieure gauche** dans le cortex moteur inférieur frontal (opercule frontal)^{97 98} **pour la production de langage**, l'articulation et le contrôle de la respiration volontaire⁹⁹. L'initiation du langage semble se faire dans les aires motrices supplémentaires (SMA) et le gyrus cingulaire.

Pour la **répétition d'un mot entendu**, le mot va impliquer les mêmes réseaux cérébraux que pour la compréhension du mot auditif avec en plus une activation du cortex temporal droite supéro-postérieure. Cela a été mis en évidence par une étude visant à montrer l'activation des lobes temporaux bilatéraux dans trois situations différentes. Premièrement dans le processus phonologique qui consiste à retrouver les sons d'un mot entendu, deuxièmement

pour entendre la propre réponse du sujet et enfin pour adapter l'attention portée à un stimulus auditif lorsqu'une réponse est attendue. Pour ce faire, ils ont comparé l'activation cérébrale temporale lorsque le sujet répète le mot entendu par rapport à une réponse avec un mot donné (ici « okay »). Lorsque le sujet doit répéter le même mot, soit lorsque les processus de recherches phonologiques sont minimisés, l'étude a démontré l'activation temporale bilatérale, qui n'est donc pas spécifique à la récupération phonologique¹⁰⁰.

Price n'a pas effectué des études sur les faisceaux connectant ces différentes régions cérébrales.

4.4.4 Corrélations anatomo-pathologique :

Contrairement aux deux autres représentations, Price évalue les troubles du langage selon le *Comprehensive Aphasia Test*¹⁰¹ qui permet la mise en évidence des troubles de performance du langage réceptif et/ou expressif.

Il comprend six catégories principales ; l'aspect cognitif élémentaire, la répétition, la nomination, la compréhension, la lecture et l'écriture. Chacun de ces aspects est évalué finement par de multiples sous-catégories¹⁰².

L'aphasie :

« L'aphasie est un trouble causé par un dommage aux aires du cerveau qui soutiennent la capacité à comprendre et produire le langage. » (C.J Price, M.L Seghier, A.P Leff, 2010).

Toutes les études visant à effectuer une représentation du langage sont arrivées à la conclusion que la compréhension et la production du langage dépendaient de très nombreuses structures cérébrales. Ainsi, un même tableau clinique d'aphasie peut résulter d'une lésion située à de multiples localisations, et une association entre un déficit et une région n'est donc pas réalisable selon Price.

De plus, le CAT permet une fine analyse de la symptomatologie, mais ne définit pas des tableaux types d'aphasie comme dans les autres représentations.

La prédiction du tableau clinique lésionnel ne peut pas se baser sur la représentation théorique du langage, mais uniquement sur le recueil de données de populations de patients dans le but d'établir la probabilité d'un symptôme associée à une zone lésée.

Figure 7 : ⁷

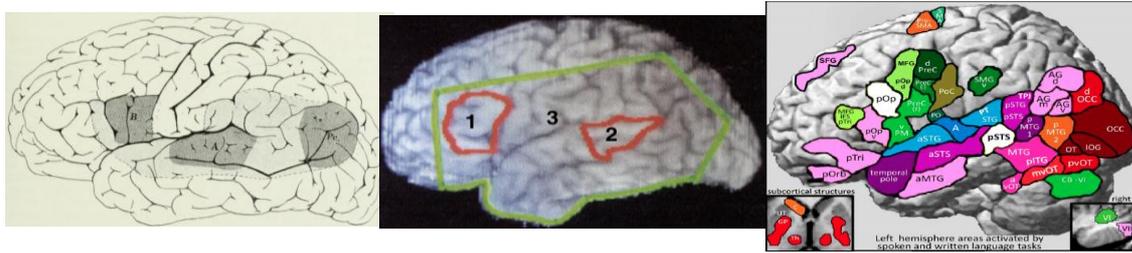
Sites lésionnels associés avec un déficit de compréhension ou de production du langage :
Tableau basé sur treize études sélectionnées¹⁰³.

Site de la lésion		Aphasie avec troubles de la Compréhension	Aphasie avec troubles de la Production	Aphasie avec troubles de la Syntaxe
Lobe	Région			
Insula			Non fluence, apraxie, répétition	
Frontal			Non fluence	
	GFI/sensorimoteur		Non fluence	
	GFI/GFM dorsal			
	GFI/GFM ventral		Non fluence	
Pariétal	SLF		Non fluence	
	Gyrus angulaire			
Temporal	Gyrus temporo-pariétal postérieur			
	Lobe temporal postérieur		Non fluence	
	Lobe temporal antérieur		Non fluence	
	Gyrus temporal postéro supérieur		Répétition	
	Gyrus temporal antéro-supérieur			
Subcortical	Gyrus temporal moyen			
	Putamen		Non fluence	
	Caudé		Perseveration	
Sain	Déficient			

⁷ PRICE C.J, SEGHIER, M.L, LEFF A.P, Predicting Language Outcome and Recovery After Strokes (PLORAS), 2010

5. Analyse comparative des représentations et discussion :

Figure 8⁸ :



La figure 8 montre un élargissement progressif des régions impliquées dans le langage. Les chercheurs du XIX^{ème} siècle avaient déjà identifié une large région qu'on retrouve dans les modèles d'aujourd'hui. Cependant, ils concevaient l'existence de « centres » du cerveau capable de soutenir les fonctions du langage dans une indépendance relative. La description minutieuse des nombreux faisceaux d'association appuie sur l'importance de la connectivité dans l'interprétation du fonctionnement du langage par les Déjerine. Cependant, la notion de « centre » cérébral comme support des différentes fonctions langagières dans leur globalité est très présente. Cette notion de centre n'est pas totalement abandonnée par Geschwind, qui reprend le concept d'aire du langage, mais qui introduit le principe de Flechsig qui élargit le champ du fonctionnement cérébral en réseau pour la fonction du langage. La différence majeure entre ces représentations est le rôle du gyrus angulaire et du gyrus supramarginal. En effet Geschwind soutient le fait que ces régions supportent la capacité du langage par l'association de stimulus de tous types de modalités, alors que les Déjerine associent le gyrus supramarginal à la compréhension auditive, et le gyrus angulaire à la compréhension de l'écriture. Ceci souligne l'importance de ces deux aires dans le traitement sémantique du langage.

Malgré le fait que les études réalisées avec la technique du CT-cérébral restent d'un point de vue méthodologique dans une approche lésion-déficit, la facilitation de l'observation des lésions autant *in vivo* que *post mortem* a permis l'identification de nombreuses structures impliquées dans le langage.

L'avènement de la radiologie a engendré un profond changement de la conceptualisation du système neuronal présumé soutenir les fonctions complexes comme le langage. Ceux-ci ne sont plus vus comme reliés à un centre cérébral, mais plutôt vus comme le résultat d'une activité synchronisée dans un vaste réseau neuronal fait de multiples régions fonctionnelles dans le cortex cérébral et les noyaux sous corticaux, avec de nombreux faisceaux qui interconnectent ces régions de manière réciproque¹⁰⁴. Ces faisceaux ne sont cependant pas décrits dans la représentation de Price.

Dans cette perception du fonctionnement cérébral, il n'est plus concevable de chercher à attribuer une fonction à une région cérébrale. Actuellement, le but est d'identifier de multiples régions qui, organisées dans un système, supportent les composants des fonctions langagières.

⁸ Gauche : DEJERINE Jules, Anatomie des centres nerveux Tome II, Paris, J. Rueff, éditeur, 1901 p.247

Centre: DAMASIO, A.R., M.D., Aphasia, In *New England Journal of Medicine*, vol 326, 1992, p.536

Droit: PRICE C.J, A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading, In *Neuroimage* 62, 2012, p. 821

Figure 8 :

Fonction	Dejerine	Geschwind/Damasio	Price
Compréhension			
	- Phonologie	BA 22 (T1 postérieure)	BA 22 (T1 postérieure)
- Sémantique	BA 40 (G. supramarginal)	Zones de convergences	BA 39 (G. angulaire) BA 47 (Pars orbitalis)
Production	BA 44, 45 (F3)	Lobe frontal latéral	Insula antérieur gauche BA 44, ,45 ,47 (F3)
		BA 6 (SMA) BA ? (G. cingulaire)	BA 6 (SMA) BA ? (G. cingulaire)
			BA 39 (G. angulaire) Cortex temporal postéro-inférieur g
			BA 45 (P. Triangularis) BA 6 (SMA) Tête du noyau caudé gauche et droite
			BA 20 (T3) bilatéral
		BA 22 BA 41 (G. Heschl) Insula FLS	BA 22 supéro-postérieure gauche et droite
		BA 20, 21, 38	Cortex temporal inféro postérieur g BA 44 (P. Opercularis)
Lecture	BA 39 (G. angulaire)		BA 21 (T2) Cervelet
		Zones de convergences	BA 37 (T4 bilatéraux) Cortex temporal postéro-inférieur gauche
Syntaxe		BA 1,2,3,4,7, 9, 39, 40, 44, 46, 47 Tête de noyau caudé Putamen	Lobe temporal postérieur et antérieur

Compréhension :

Bien que l'approche neurolinguistique ne soit pas incluse dans la représentation des Dejerine, il est possible d'extrapoler une distinction entre un processus phonologique et sémantique de leur association lésion-aphasie, qui associe le cortex temporal supérieur à un déficit de compréhension auditive (donc uniquement sur accès phonologique), et le gyrus supramarginal à la compréhension globale (donc indépendamment de l'accès). Dans la représentation de Geschwind/Damasio, ce cortex d'association auditive n'est plus associé à la compréhension auditive mais à sa capacité de faire des associations de phonèmes. Price dans la continuité de Damasio, définit plus précisément la partie inférieure de l'aire de Wernicke (ou cortex temporal postéro-supérieur gauche) comme étant associé à la fonction de discrimination phonologique. Dans leur représentation, le gyrus supramarginal joue aussi un rôle dans la phonologie, contrairement aux deux autres représentations. Le gyrus angulaire (BA39) est associé à un rôle sémantique dans les représentations de Geschwind/Damasio et de Price, et la pars Orbitalis du gyrus frontal inférieur (non compris dans l'aire de Broca) semble également jouer un rôle sémantique dans la représentation de Price.

Le rôle de l'aire de Wernicke n'est donc pas de comprendre le sens des mots mais de permettre la discrimination phonologique.

Production :

Le processus de production de langage s'est affiné avec les avancées technologiques et neurolinguistiques autant d'un point de vue fonctionnel qu'anatomique.

Les Dejerine attribuent tous les processus impliqués dans la production à l'aire de Broca (BA 44 et 45) alors que la représentation de Geschwind/Damasio lui attribue un rôle syntaxique. Price associe la pars opercularis (BA 44) avec la capacité de retrouver des mots et la capacité de générer des mots associés par la pars triangularis (BA 45), l'air motrice supplémentaire et la tête du noyau caudé gauche et droit, fonctions néanmoins nécessaires à la production de phrase.

Comme montré dans la figure 6, les études lésionnelles associent l'insula à la non-fluence¹⁰⁵, aux apraxies de production^{106 107} et à la persévération¹⁰⁸. Bien que le gyrus frontal inférieur soit largement associé à la non-fluence^{109 110 111}, la nécessité de cette région dans la production du langage semble relative. Une région montrant une corrélation statistique significative mais néanmoins non démontrée comme nécessaire à la production du langage est l'insula^{112 113}. Il est aussi intéressant de noter que dans les études de neuroimagerie^{114 115}, les régions montrant une activation pour la fluence verbale sont le gyrus angulaire et le cortex temporal postéro-inférieur.

Lecture :

Pour les Dejerine, le gyrus angulaire est le centre des images visuelles et par extension le centre de la lecture. Dans les deux autres représentations, la capacité de lire est principalement associée à un aspect sémantique du langage. Par conséquent, le gyrus angulaire joue aussi un rôle important dans la représentation de Geschwind/Damasio et de Price. Le sens des mots est aussi associé à la partie inférieure et moyenne du cortex temporal gauche¹¹⁶ dans la représentation de Price.

Le lobe temporal postéro-inférieure est aussi activé lors de la lecture. Il semblerait que cette région ait une connexion monosynaptique à l'aire de Broca¹¹⁷, et pourrait donc être une

voie de jonction à l'aspect sémantique de la lecture. Cette région n'avait pas été mise en évidence dans la représentation des Dejerine¹¹⁸.

Aphasie :

Entre la représentation de Dejerine et celle de Geschwind/Damasio, qui ont une approche lésion-déficit, le CT-scan montre une plus grande performance dans l'analyse des régions lésées avec la mise en évidence de nouvelles structures impliquées dans le langage telles que les ganglions de la base et l'insula. Cependant, du point de vue des aphasies, Geschwind et Damasio se basent essentiellement sur les tableaux cliniques décrits par les anciens auteurs. Il s'agit principalement d'un ajustement des zones anatomiques, même si d'autres types d'aphasies ont été décrites sur la base de nouvelles régions observées.

Les Dejerine déclinent leurs tableaux d'aphasie selon deux catégories principales ; motrice ou sensoriel.

Leurs aphasies motrices vraies diffèrent des aphasies de Broca décrite par Damasio qui décrit des lésions plus larges touchant le lobe pariétal antérieur, dont l'insula, et les parties profondes des hémisphères.

L'aphasie sensorielle vraie ou de Wernicke se rejoignent dans les deux représentations.

L'aphasie de conduction selon les Dejerine est un isolement d'une zone du langage qui correspond, d'un point de vue symptomatologique, aux aphasies transcorticales de Damasio. D'un point de vue anatomique, les Dejerine décrivent des lésions se situant dans les faisceaux d'associations, alors que Damasio décrit des lésions se situant au niveau du lobe frontal latéral ou médial dans le cas d'une aphasie transcorticale motrice, et dans la jonction du cortex d'association auditive avec les régions avoisinantes dans l'aphasie transcorticale sensorielle.

Damasio présente des tableaux cliniques d'aphasie additionnels ;

Les aphasies de conduction, avec un déficit syntaxique et de répétition suite à une lésion du gyrus angulaire et du gyrus supra-marginal et les aphasies atypiques, avec un déficit de compréhension et de production suite à une lésion des ganglions de la base et le thalamus, sans lésions retrouvées sur les aires de Broca et de Wernicke.

On remarque que l'aphasie de conduction s'est modifiée autant d'un point de vue anatomique que fonctionnelle.

L'autopsie, qui est la méthode la plus précise, permet une meilleure performance dans la description des lésions dans les centres du langage et ses faisceaux d'association. Cependant, les études statistiques réalisées sur un plus large échantillon de patient sont supérieures pour la mise en évidence des régions cérébrales impliquées dans les troubles du langage. Ces méthodes permettent de démontrer quelle région du cerveau est nécessaire à une fonction du langage.

L'étude de l'aphasie par les linguistes a également amené de nouveaux outils, comme les aspects syntaxiques, lexicaux et phonémiques, qui permettent une nouvelle approche scientifique des troubles du langage.

C'est dans ce contexte que l'IRM fonctionnelle a mis en évidence de nombreuses régions jouant un rôle dans une fonction langagière définie, sans pour autant rendre compte de la nécessité de ces régions dans le langage. Ces régions peuvent être considérées comme faisant partie d'un réseau interconnecté soutenant la fonction langagière globale. L'aphasie serait donc une constellation de symptômes relatifs à une lésion donnée dans le réseau, sans pour autant que la zone lésée soit le siège des fonctions déficitaires.

La nouvelle conception du fonctionnement cérébral amenée par l'imagerie fonctionnelle a donc rendu le principe de vouloir associer une lésion à un tableau clinique d'aphasie obsolète. Cette réflexion est possible uniquement à la condition de pouvoir observer un cerveau sain in vivo.

Ce large réseau en lien avec ces multiples formes cliniques d'aphasies soulève l'hypothèse que certaines régions cérébrales impliquées dans le langage peuvent être compensées par d'autres régions. Par contre, seule l'approche déficitaire peut démontrer la nécessité d'une région.

Conclusions :

La méthode lésion-déficit permet de montrer le rôle essentiel dans le langage de certaines régions cérébrales mais entraîne une inhérente ségrégation fonctionnelle. L'imagerie fonctionnelle, à l'inverse, permet de mettre en évidence toutes les régions impliquées dans le langage sans pouvoir démontrer cliniquement l'importance de chaque structure dans les différentes fonctions. Ceci a permis de montrer des régions beaucoup plus étendues et des zones cérébrales impliquées dans le langage se trouvant dans des régions où le risque d'infarctus est faible comme le gyrus temporal inférieur. Ainsi la neuroimagerie a complété et ajusté la représentation anatomique du langage, particulièrement dans le domaine sémantique.

Le fonctionnement cérébral est passé du modèle connexionniste établi par les Dejerine au XIX^{ème} siècle à un modèle de réseau.

Les tableaux classiques d'aphasies décrits dans la représentation des Dejerine, bien que partiellement inexacts et non repris dans la représentation de Price, sont un bon reflet des aires cérébrales essentielles au langage et restent très utiles aux cliniciens comme base de réflexion.

Selon la représentation de Price, l'aphasie peut être globalement décrite comme un trouble réceptif et/ou expressif, pouvant se manifester sous la forme d'une multitude de tableau clinique. Cette conception de l'aphasie pourrait être attribuée d'une part à la notion d'un fonctionnement cérébral en réseau, et d'autre part par l'affinement des régions cérébrales en liens avec la capacité langagière. Elle apporte des éléments utiles pour la rééducation langagière.

¹ Grandjean M. La connaissance est un réseau. *Les Cahiers du Numérique*. 2014;10:37-54.

² Slovenko R. *Forensic Neuropsychology: Fundamentals and Practice*. American Journal of Psychiatry. 2001;158(11):86.

³ Bastian H. *A treatise on aphasia and other speech defects*. London: [s. l.]; 1989.

⁴ Wernicke C. *Der aphasische Symptomencomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. Breslau, Teschen [printed]; 1874.

⁵ Dejerine J, Heuyer G. *Sémiologie des affections du système nerveux*. Paris: Masson; 1914.

⁶ Dejerine J, Dejerine-Klumpke A. *Anatomie des centres nerveux. ... Avec la collaboration de Madame Dejerine-Klumpke*. Tom. 1; tom. 2. fasc. 1. Paris; 1895. p.8

⁷ Ibid, p.9

⁸ Ibid.

⁹ Dejerine J. *Anatomie des centres nerveux*. Paris: J. Rueff; 1901.

¹⁰ Dejerine J, Dejerine-Klumpke A. *Anatomie des centres nerveux. ... Avec la collaboration de Madame Dejerine-Klumpke*. Tom. 1; tom. 2. fasc. 1. Paris; 1895.

¹¹ Dejerine J, Heuyer G. *Sémiologie des affections du système nerveux*. Paris: Masson; 1914, p.108

-
- ¹² Ibid
- ¹³ Ibid
- ¹⁴ Krestel H, Annoni J, Jagella C. White matter in aphasia: A historical review of the Dejerines' studies. *Brain and Language*. 2013;127(3):526-532.
- ¹⁵ Catani, M. The functional anatomy of white matter: from postmortem dissections to in vivo virtual tractography. In D. Jones (Ed.), *Diffusion MRI: theory, methods and applications* (pp. 5–18). Oxford: University Press; 2010 p. 6
- ¹⁶ Krestel H, Annoni J, Jagella C. White matter in aphasia: A historical review of the Dejerines' studies. *Brain and Language*. 2013;127(3):526-532.
- ¹⁷ Dejerine J, Heuyer G. *Sémiologie des affections du système nerveux*. Paris: Masson; 1914
- ¹⁸ Ibid
- ¹⁹ Dejerine J. *L'aphasie motrice : sa localisation et sa physiologie pathologique*. La presse médicale. 1906;(57).
- ²⁰ Dejerine J, Dejerine-Klumpke A. *Anatomie des centres nerveux. ... Avec la collaboration de Madame Dejerine-Klumpke*. Tom. 1; tom. 2. fasc. 1. Paris; 1895.
- ²¹ Dejerine J. *Aphasie motrice sous-corticale et paralysie laryngée unilatérale*. Par M. Déjerine. *La Voix parlée et chantée Anatomie, physiologie, pathologie, hygiène et éducation*. 1891;(2):125,126.
- ²² Dejerine J. *Un cas d'aphasie sensorielle suivi d'autopsie*. Par M. Déjerine et M. Luys. *La Voix parlée et chantée Anatomie, physiologie, pathologie, hygiène et éducation*. 1891;(2):150,151.
- ²³ Dejerine J, Heuyer G. *Sémiologie des affections du système nerveux*. Paris: Masson; 1914
- ²⁴ Dejerine J. *Anatomie des centres nerveux*. Paris: J. Rueff; 1901.
- ²⁵ Dejerine J, Heuyer G. *Sémiologie des affections du système nerveux*. Paris: Masson; 1914
- ²⁶ Dejerine J. *Anatomie des centres nerveux*. Paris: J. Rueff; 1901.
- ²⁷ Mirallié C. *De l'aphasie sensorielle*. Paris: G. Seinheile; 1896.
- ²⁸ Geschwind N, Levitsky W. Human Brain: Left-Right Asymmetries in Temporal Speech Region. *Science*. 1968;161(3837):186-187.
- ²⁹ Flechsig P. *Lancet*. 1901;2:1027.
- ³⁰ Bailey P, Bonin G. *The isocortex of man*. Urbana: Univ. of Illinois Press; 1951.
- ³¹ Critchley M. *The Parietal Lobes*. London; 1953.
- ³² Geschwind, N, *Selected papers on language and the brain*. Boston: Reidel, 1974
- ³³ Damasio A. Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*. 1989;33(1-2):25-62.
- ³⁴ Geschwind N. *The development of the Brain and the Evolution of Language*. Monograph Series on Languages and Linguistics. 1964;17:91-102.
- ³⁵ Geschwind N. *The Apraxias. Phenomenology of Will and Action*. 1967;:91-102.
- ³⁶ H. Goodglass et E. Kaplan, *The assesment of aphasia and related disorders*, Philadelphia, 1972
- ³⁷ Damasio A. Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*. 1989;33(1-2):25-62.
- ³⁸ Damasio A, Damasio H, Tranel D, Brandt J. Neural Regionalization of Knowledge Access: Preliminary Evidence. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 1990;55(0):1039-1047.
- ³⁹ Damasio A, Damasio H, Tranel D, Brandt J. Neural regionalization of knowledge access. *The brain*. 1991;55:1039-47.
- ⁴⁰ Semenza C, Zettin M. Evidence from aphasia for the role of proper names as pure referring expressions. *Nature*. 1989;342(6250):678-679.

-
- ⁴¹ Damasio A, Damasio H, Tranel D, Brandt J. Neural regionalization of knowledge access. *The brain*. 1991;55:1039-47.
- ⁴² Damasio AR, Brandt JP, Tranel D, Damasio H. Name dropping: retrieval of proper or common nouns depends on different systems in left temporal cortex. In: *Society for Neuroscience Symposia*. Vol. 17. Bethesda, Md.: Society for Neuroscience, 1991;1:103-16
- ⁴³ Damasio H. Neuroimaging contributions to the understanding of aphasia. Boller F, Grafman J, eds *Handbook of neuropsychology*. 1989;2:3-46.
- ⁴⁴ Mohr J, Watters W, Duncan G. Thalamic hemorrhage and aphasia. *Brain and Language*. 1975;2:3-17.
- ⁴⁵ Laplane D, Talairach J, Meininger V, Bancaud J, Orgogozo J. Clinical consequences of corticectomies involving the supplementary motor area in man. *Journal of the Neurological Sciences*. 1977;34(3):301-314.
- ⁴⁶ Damasio AR, Van Hoesen GW. Structure and function of the supplementary motor area. *Neurology* 1980;30:359. Abstract.
- ⁴⁷ Damasio A, Damasio H. The anatomic basis of pure alexia. *Neurology*. 1983;33(12):1573-1573.
- ⁴⁸ Alexander M, Schmitt M. The Aphasia Syndrome of Stroke in the Left Anterior Cerebral Artery Territory. *Archives of Neurology*. 1980;37(2):97-100.
- ⁴⁹ Bellugi V, Poizner H, Klima E. Brain organization for language : clues from sign aphasia. Pericman E, Ed *Cognitive processing in the right hemisphere* New York: Academic Press. 1983;:169-91.
- ⁵⁰ Gardner H, Brownell HH, Wapner W, Michelow D. Missing the point: the role of the right hemisphere in the processing of complex linguistic materials. In: Pericman E, Ed. *Cognitive processing in the right hemisphere*. New York: Academic Press, 1983:169-91
- ⁵¹ Damasio A. Aphasia. *New England Journal of Medicine*. 1992;326(8):531-539.
- ⁵² Damasio A. The Neural Basis of Language. *Annual Review of Neuroscience*. 1984;7(1):127-147.
- ⁵³ Mohr J. Broca's Area and Broca's Aphasia. Whitaker H, Whitaker H (Editors): *Studies in Neurolinguistics*, New York, Academic Press. 1976;1:201-236.
- ⁵⁴ Damasio A. The Neural Basis of Language. *Annual Review of Neuroscience*. 1984;7(1):127-147.
- ⁵⁵ Ibid
- ⁵⁶ Ibid
- ⁵⁷ Geschwind, N, *Selected papers on language and the brain*. Boston: Reidel, 1974
- ⁵⁸ Rubens A. Aphasia With Infarction in the Territory of the Anterior Cerebral Artery. *Cortex*. 1975;11(3):239-250.
- ⁵⁹ Kertesz A, Lesk D. Isotope Localization of Infarcts in Aphasia. *Archives of Neurology*. 1977;34(10):590-601.
- ⁶⁰ Damasio A. The Neural Basis of Language. *Annual Review of Neuroscience*. 1984;7(1):127-147.
- ⁶¹ Damasio A, Damasio H. The anatomic basis of pure alexia. *Neurology*. 1983;33(12):1573-1573.
- ⁶² Naeser M, Alexander M, Helmestabrooks N, Levine H, Laughlin S, Patterson K et al. Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi regular domains. *Psychol Rev*. 1996;103:56-115.
- ⁶³ MacLeod C. Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*. 1991;109(2):163-203.
- ⁶⁴ Price C, Wise R, Frackowiak R. Demonstrating the Implicit Processing of Visually Presented Words and Pseudowords. *Cerebral Cortex*. 1996;6(1):62-70.

-
- ⁶⁵ Price C, Friston K. The temporal dynamics of reading: a PET study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1997;264(1389):1785-1791.
- ⁶⁶ Shulman G, Corbetta M, Buckner R, Fiez J, Miezin F, Raichle M et al. Common Blood Flow Changes across Visual Tasks: I. Increases in Subcortical Structures and Cerebellum but Not in Nonvisual Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997;9(5):624-647.
- ⁶⁷ Price C, Crinion J, Macsweeney M. A generative model of speech production in Broca's and Wernicke's areas. In *Frontiers in Psychology*. 2011;237.
- ⁶⁸ Mummery C, Ashburner J, Scott S, Wise R. Functional neuro-imaging of speech perception in six normal and two aphasic subjects. *Journal of the Acoustic Society of America*. 1999;106:449-57.
- ⁶⁹ Creutzfeldt O, Ojemann G. Neuronal activity in the human lateral temporal lobe. *Experimental Brain Research*. 1989;77(3):490-498.
- ⁷⁰ Leff A, Schofield T, Stephan K, Crinion J, Friston K, Price C. The Cortical Dynamics of Intelligible Speech. *Journal of Neuroscience*. 2008;28(49):13209-13215.
- ⁷¹ Patterson K, Shewell C. Speak and spell : dissociations and word class effects. *The Cognitive Neuropsychology of Language* (ed Coltheart M, Sartori G, Job R). 1987;:273-294.
- ⁷² Coltheart M, Rastle K, Perry C, Langdon R, Ziegler J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*. 2001;108(1):204-256.
- ⁷³ Seidenberg MS, McClelland JL (1989) A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychol Rev* 96(4):523– 568.
- ⁷⁴ Plaut D, McClelland J, Seidenberg M, Patterson K. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*. 1996;103(1):56-115.
- ⁷⁵ Richardson F, Price C. Structural MRI studies of language function in the undamaged brain. *Brain Structure and Function*. 2009;213(6):511-523.
- ⁷⁶ Fink G, Halligan P, Marshall J, Frith C, Frackowiak R, Dolan R. Where in the brain does visual attention select the forest and the trees?. *Nature*. 1996;382(6592):626-628.
- ⁷⁷ Fuster J. *The prefrontal cortex: anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997.
- ⁷⁸ Richardson F, Price C. Structural MRI studies of language function in the undamaged brain. *Brain Structure and Function*. 2009;213(6):511-523.
- ⁷⁹ Bookheimer S, Zeffiro T, Blaxton T, Gaillard W, Theodore W. Regional cerebral blood flow during object naming and word reading. *Human Brain Mapping*. 1995;3(2):93-106.
- ⁸⁰ Price C, Moore C, Frackowiak R. The Effect of Varying Stimulus Rate and Duration on Brain Activity during Reading. *NeuroImage*. 1996;3(1):40-52.
- ⁸¹ Bottini G, Corcoran R, Sterzi R, Paulesu E, Schenone P, Scarpa P et al. The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language A positron emission tomography activation study. *Brain*. 1994;117(6):1241-1253.
- ⁸² Bavelier D, Corina D, Jezzard P, Padmanabhan S, Clark V, Karni A et al. Sentence Reading: A Functional MRI Study at 4 Tesla. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997;9(5):664-686.
- ⁸³ Vandenberghe R, Price C, Wise R, Josephs O, Frackowiak R. Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*. 1996;383(6597):254-256.
- ⁸⁴ Beauregard M, Chertkow H, Bub D, Murtha S, Dixon R, Evans A. The Neural Substrate for Concrete, Abstract, and Emotional Word Lexica A Positron Emission Tomography Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997;9(4):441-461.
- ⁸⁵ Herbster A, Mintun M, Nebes R, Becker J. Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. *Human Brain Mapping*. 1997;5(2):84-92.

-
- ⁸⁶ Rumsey J. Phonological and orthographic components of word recognition. A PET- rCBF study. *Brain*. 1997;120(5):739-759.
- ⁸⁷ Brunswick N, McCrory E, Price C, Frith C, Frith U. Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics. *Brain*. 1999;122(10):1901-1917.
- ⁸⁸ Moore C, Price C. Three Distinct Ventral Occipitotemporal Regions for Reading and Object Naming. *NeuroImage*. 1999;10(2):181-192.
- ⁸⁹ Bavelier D, Corina D, Jezzard P, Padmanabhan S, Clark V, Karni A et al. Sentence Reading: A Functional MRI Study at 4 Tesla. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997;9(5):664-686.
- ⁹⁰ Price C, Moore C, Frackowiak R. The Effect of Varying Stimulus Rate and Duration on Brain Activity during Reading. *NeuroImage*. 1996;3(1):40-52.
- ⁹¹ Desmond J, Fiez J. Neuroimaging studies of the cerebellum: language, learning and memory. *Trends in Cognitive Sciences*. 1998;2(9):355-362.
- ⁹² Richardson F, Price C. Structural MRI studies of language function in the undamaged brain. *Brain Structure and Function*. 2009;213(6):511-523.
- ⁹³ Leff A, Schofield T, Stephan K, Crinion J, Friston K, Price C. The Cortical Dynamics of Intelligible Speech. *Journal of Neuroscience*. 2008;28(49):13209-13215.
- ⁹⁴ Price C, Seghier M, Leff A. Predicting language outcome and recovery after stroke: the PLORAS system. *Nature Reviews Neurology*. 2010;6(4):202-210.
- ⁹⁵ Price C, Price C, Wise R, Warburton E, Moore C, Howard D et al. Hearing and saying. *Brain*. 1996;119(3):919-931.
- ⁹⁶ Seltzer B, Pandya D. Parietal, temporal, and occipital projections to cortex of the superior temporal sulcus in the rhesus monkey: A retrograde tracer study. *The Journal of Comparative Neurology*. 1994;343(3):445-463.
- ⁹⁷ Dronkers N. A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature*. 1996;384(6605):159-161.
- ⁹⁸ Wise R, Greene J, Büchel C, Scott S. Brain regions involved in articulation. *The Lancet*. 1999;353(9158):1057-1061.
- ⁹⁹ Ramsay S, Adams L, Murphy K, Corfield D, Grootenck S, Bailey D et al. Regional cerebral blood flow during volitional expiration in man: a comparison with volitional inspiration. *The Journal of Physiology*. 1993;461(1):85-101.
- ¹⁰⁰ Frost J, Binder J, Possing E, Bellgowan T, Hammeke T. Stimulus novelty affects superior temporal gyrus activation. *NeuroImage*. 1998;7:37-77.
- ¹⁰¹ Swinburn, K., Porter, G., Howard, D., 2004. *Comprehensive Aphasia Test*. Psychology Press, East Sussex, UK.
- ¹⁰² Green D, Ruffle L, Grogan A, Ali N, Ramsden S, Schofield T et al. Parallel recovery in a trilingual speaker: the use of the Bilingual Aphasia Test as a diagnostic complement to the Comprehensive Aphasia Test. *Clinical Linguistics & Phonetics*. 2011;25(6-7):499-512.
- ¹⁰³ Price C, Seghier M, Leff A. Predicting language outcome and recovery after stroke: the PLORAS system. *Nature Reviews Neurology*. 2010;6(4):202-210.
- ¹⁰⁴ Damasio A. Aphasia. *New England Journal of Medicine*. 1992;326(8):531-539.
- ¹⁰⁵ Baldo J, Schwartz S, Wilkins D, Dronkers N. Role of frontal versus temporal cortex in verbal fluency as revealed by voxel-based lesion symptom mapping. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2006;12(06).
- ¹⁰⁶ Dronkers N, Wilkins D, Van Valin R, Redfern B, Jaeger J. Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*. 2004;92(1-2):145-177.
- ¹⁰⁷ Borovsky A, Saygin A, Bates E, Dronkers N. Lesion correlates of conversational speech production deficits. *Neuropsychologia*. 2007;45(11):2525-2533.

-
- ¹⁰⁸ Kreisler A, Godefroy O, Delmaire C, Debachy B, Leclercq M, Pruvo J et al. The anatomy of aphasia revisited. *Neurology*. 2000;54(5):1117-1123.
- ¹⁰⁹ Borovsky A, Saygin A, Bates E, Dronkers N. Lesion correlates of conversational speech production deficits. *Neuropsychologia*. 2007;45(11):2525-2533.
- ¹¹⁰ Kinkingnéhun S, Volle E, Péligrini-Issac M, Golmard J, Lehericy S, du Boisguéheneuc F et al. A novel approach to clinical–radiological correlations: Anatomico-Clinical Overlapping Maps (AnaCOM): Method and validation. *NeuroImage*. 2007;37(4):1237-1249.
- ¹¹¹ Amici S, Ogar J, Brambati S, Miller B, Neuhaus J, Dronkers N et al. Performance in Specific Language Tasks Correlates With Regional Volume Changes in Progressive Aphasia. *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2007;20(4):203-211.
- ¹¹² Price C, Seghier M, Leff A. Predicting language outcome and recovery after stroke: the PLORAS system. *Nature Reviews Neurology*. 2010;6(4):202-210.
- ¹¹³ Lemieux F, Lanthier S, Chevrier M, Gioia L, Rouleau I, Cereda C et al. Insular Ischemic Stroke: Clinical Presentation and Outcome. *Cerebrovascular Diseases Extra*. 2012;2(1):80-87.
- ¹¹⁴ Bavelier D, Corina D, Jezzard P, Padmanabhan S, Clark V, Karni A et al. Sentence Reading: A Functional MRI Study at 4 Tesla. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1997;9(5):664-686.
- ¹¹⁵ Price C, Moore C, Frackowiak R. The Effect of Varying Stimulus Rate and Duration on Brain Activity during Reading. *NeuroImage*. 1996;3(1):40-52.
- ¹¹⁶ Price C. The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*. 2000;197(3):335-359.
- ¹¹⁷ Di Virgilio G, Clarke S. Direct interhemispheric visual input to human speech areas. *Human Brain Mapping*. 1997;5(5):347-354.
- ¹¹⁸ Price C. The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*. 2000;197(3):335-359.