

CHAPITRE 1

Organisation neuro-anatomique et neurolinguistique du langage

Organisation neuro-anatomique du langage

Les « zones du langage » identifiées par Déjerine au début du xx^e siècle étaient situées dans l'hémisphère gauche, considéré comme seul détenteur du langage. Nous savons aujourd'hui que si l'hémisphère gauche reste l'hémisphère dominant, l'hémisphère droit joue aussi un rôle non négligeable dans les compétences langagières. Les syndromes aphasiques classiques, identifiés dans le contexte des pathologies vasculaires, reliaient un tableau sémiologique spécifique à une localisation lésionnelle circonscrite. Ces études anatomocliniques avaient permis d'identifier les aires du langage de Broca et Wernicke. La révolution de l'imagerie fonctionnelle a fait voler en éclat cette conception parcellaire. Si ces aires corticales sont toujours impliquées, la compréhension du traitement du langage et de la parole ne se limite plus aux régions du cortex cérébral. La conception de « centres » du langage a laissé place à celle de réseaux neuronaux plus complexes, largement distribués et dont l'activation combinée génère le langage. Ainsi, la réflexion en aphasiologie est passée d'une conception anatomique bipolaire du langage avec un pôle antérieur gérant l'expression motrice et un pôle réceptif postérieur reliés par le faisceau arqué, à une conception fonctionnelle en réseaux. Nous allons succinctement décrire ces réseaux neuronaux d'activation qui empruntent des voies complexes intégrant des structures corticales et sous-corticales, réparties au sein des différents lobes cérébraux (pour une description plus précise : Rouvière & Delmas, 2002 ; Pinto & Sato, 2016 ; Bear, Connors & Paradiso, 2016).

Lobe frontal

Situé dans la partie antérieure du cerveau, le lobe frontal est responsable des actions et des aspects les plus élaborés du comportement. Le lobe frontal intègre des informations provenant de différentes modalités sensorielles et il est connecté de façon réciproque entre autres avec le lobe pariétal. La région préfrontale est impliquée dans la programmation, la planification, le contrôle

et l'exécution des activités mentales finalisées, dans la mémoire de travail mais aussi dans le langage. Ainsi l'aire motrice supplémentaire (AMS) est partiellement responsable de l'initiation motrice du langage et de la programmation du mouvement en général. Une lésion de cette région ou des faisceaux de substance blanche reliant l'AMS aux structures sous-corticales entraîne des troubles importants de l'incitation verbale et motrice spontanée.

Lobe temporal

Ce lobe est au carrefour des entrées auditives, visuelles et de celles qui proviennent du système limbique. Siège de l'aire auditive primaire (gyrus de Heschl) et de l'aire de Wernicke, cette région est au cœur de l'analyse des stimuli auditifs et de leur compréhension. Les stimuli auditifs traités sont interconnectés aux signaux issus d'autres systèmes sensoriels et émotionnels (efférences et afférences). La convergence de ces informations ainsi que l'évocation de souvenirs permettent l'élaboration de concepts.

Lobe occipital

Situé dans la partie postérieure du cerveau, le lobe occipital intègre les informations visuelles. Cette région traite les stimuli soit par la voie occipito-pariétale ou voie dorsale (voie du où ?) qui est spécialisée dans la localisation et la détermination des attributs spatiaux ; soit par la voie occipito-temporale ou voie ventrale (voie du quoi ?) qui traite la forme et l'identification des objets et des visages.

Lobe pariétal

Ce lobe, situé dans le quart postérieur de l'arrière du cerveau, se divise en deux parties. La partie antérieure abrite le cortex somatosensoriel primaire : lieu des cartes somatotopiques représentées par l'« homonculus sensitif ». La partie postérieure est constituée de cortex associatif hétéromodal qui participe et traite l'intégration d'informations perceptives issues de différentes modalités sensorielles (vision, toucher, audition). En association avec le cortex préfrontal, cette région du lobe pariétal participe aux processus d'orientation de l'attention, de la capture d'objet par la main et/ou le regard ainsi qu'à des tâches cognitives telles que la mémoire de travail, le calcul mental et les aspects pragmatiques, prosodiques, lexico-sémantiques et discursifs de la communication. Un focus particulier doit être souligné quant au rôle du lobe pariétal dans le traitement du langage. Le circuit ventral sémantique « est comme le chef d'orchestre de ce réseau sollicité dans les tâches complexes de compréhension et chargé d'extraire, à la demande, les concepts mémorisés au niveau temporel nécessaires à l'interprétation comme à l'élaboration des phrases du discours » (Guérin, 2007). Cette approche renvoie également aux travaux sur le rôle de lobe pariétal droit dans le traitement implicite du langage (Joanette, 2004).

Système limbique

Appelé cerveau limbique ou émotionnel, ce réseau complexe inclut des structures corticales et sous-corticales (l'hippocampe, l'amygdale, le gyrus cingulaire, le fornix et l'hypothalamus) impliquées dans les émotions, le fonctionnement mnésique, l'incitation et l'intention de communication. Le langage et les capacités visuospatiales sont intimement liés à ce système. Le gyrus angulaire qui reçoit des afférences auditives et visuelles, est impliqué dans le langage écrit. La cognition des émotions constitue une perspective contemporaine de l'évaluation et de la rééducation des troubles aphasiques.

Noyaux gris centraux : les ganglions de la base et le thalamus

Les ganglions de la base incluent classiquement, selon une définition embryologique, le noyau caudé, le putamen, le noyau accumbens, le claustrum et le complexe amygdalien. Cependant, il est admis aujourd'hui que les ganglions de la base rassemblent cinq paires de structures : le striatum (noyau caudé et putamen), le pallidum, le noyau sous-thalamique et la substance noire. Les ganglions de la base participent à la production du langage. Ainsi, la stimulation électrique de la tête du noyau caudé en chirurgie éveillée (équivalent fonctionnel d'une lésion) induit des persévérations et l'atteinte du putamen induit des troubles articulatoires. Le thalamus qui ne fait pas partie des noyaux gris centraux mais est fortement impliqué dans leurs connexions avec le cortex, est un regroupement de noyaux qui a d'une part, une fonction de relais (les informations sous-corticales issues des ganglions de la base et du cervelet destinées au cortex font synapse dans le thalamus) et, d'autre part, le thalamus a une fonction modulatrice dans les situations de stress, d'éveil et de danger (Petit, 2016).

Substance blanche

Les fibres blanches réunies en faisceaux assurent la transmission de l'influx entre les structures cérébrales corticales et sous-corticales, intra et interhémisphériques. Les fibres commissurales (le corps calleux, les commissures antérieures et postérieures) participent aux connexions interhémisphériques ; les fibres de projections relient les régions corticales aux noyaux sous-corticaux (ganglions de la base, thalamus), au tronc cérébral et à la moelle épinière.

Les fibres d'associations sont toutes les fibres connectant une région corticale à une autre au sein d'un même hémisphère. Les faisceaux d'association qui nous intéressent plus particulièrement dans l'étude des troubles aphasiques sont la voie dorsale et la voie ventrale du langage. La voie dorsale comprend la portion latérale du faisceau longitudinal supérieur qui relie le cortex pariétal au cortex frontal, et le faisceau arqué (portion médiale du faisceau longitudinal supérieur) qui relie principalement le cortex temporal au cortex frontal.

Cette voie d'intégration sensori-motrice est une interface entre les représentations auditives et motrices. Elle soutient la répétition et joue un rôle central dans la prédiction des états futurs des articulateurs moteurs de la parole et des conséquences sensorielles (Sabadell et al., 2018). Selon les modèles de mémoire, cette voie renforce également la récapitulation articulatoire des représentations phonologiques lors des tâches de mémoire verbale. Une atteinte de la voie dorsale peut classiquement entraîner une aphasie de conduction ou des paraphasies phonémiques. La voie ventrale comprend le faisceau occipito-frontal inférieur, le faisceau longitudinal inférieur et le faisceau unciné. Elle soutient la compréhension orale et joue un rôle capital dans le traitement sémantique (Moritz-Gasser et al., 2013). Une atteinte de cette voie peut entraîner une aphasie transcorticale sensorielle, des paraphasies sémantiques (pour une description et un schéma connectique impliquant ces différentes voies).

Modèles neurobiologiques de la perception et de la production de la parole

La part respective de ces différents acteurs, au sein de ce vaste réseau neuronal, est encore loin d'être connue. Dès 1988, Mesulam avait proposé un modèle de base pour relier la sensation à la cognition dans le cerveau du primate qu'il a réparti en cinq types (figure 1.1 et encadré 1.1).

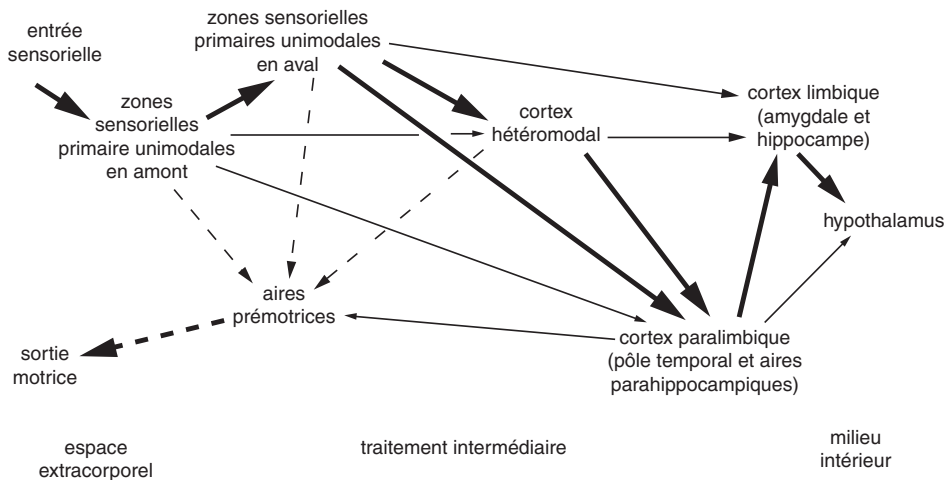


FIGURE 1.1. Organisation anatomique des aires corticales impliquées dans la perception à la cognition.

Les flèches fines illustrent les connexions neuronales sensorielles entre les aires visuelles et auditives. Les flèches en gras soulignent des connexions plus spécifiques. Les flèches en pointillés illustrent les voies de productions motrices. Les zones sensorielles primaires unimodales en amont codent des caractéristiques de base de la sensation telles que la couleur, le mouvement, la forme et la hauteur. Les zones sensorielles primaires unimodales en aval codent des caractéristiques plus complexes de l'expérience sensorielle telles que des objets, des visages, des formes de mots, des emplacements spatiaux et des séquences sonores).
Source : Mesulam, 1998.

Encadré 1.1**Organisation anatomique des aires corticales impliquées dans la perception à la cognition (Mesulam, 1988)**

La surface corticale entière peut être divisée en cinq zones fonctionnelles qui affichent collectivement une spectre de différenciation cytoarchitectonique des zones sensori-motrices primaires les plus différenciées aux structures limbiques les moins différenciées. Cette hiérarchie architectonique est mise en parallèle par une hiérarchie relative (ou polarisation) de la connectivité. Les aires corticales sont en relation avec l'espace extracorporel sont :

- les aires de réception primaire (gyrus de Heschl ou gyrus temporal supérieur, aire pariétale ascendante) et l'aire motrice prérolandique (aire de Broca) ;
- les aires gnostiques spécifiques (aire de Wernicke, gyrus *supra* marginal en pariétal, aires occipitales) et les aires prémotrices ;
- les aires associatives temporale et frontale, gyrus angulaire (pariétal), aires temporo-basales du langage.

Les aires corticales en relation avec les informations du milieu intérieur et interconnectées via des faisceaux d'associations sont :

- le cortex paralimbique (pôle temporal et aires parahippocampiques) ;
- le cortex limbique : amygdale et hippocampe impliqués dans les processus mnésiques et émotionnels.

Le faisceau arqué (portion médiale du faisceau longitudinal supérieur) relie l'aire de réception primaire temporale l'aire motrice prérolandique et dont l'atteinte peut s'exprimer par une aphasia de conduction.

Le faisceau longitudinal supérieur (portion antérieure et latérale) relie l'aire de Broca et le lobule pariétal inférieur et dont l'atteinte peut s'exprimer par une apraxie de la parole.

Le faisceau longitudinal inférieur rejoint les aires temporo-basales du langage au gyrus angulaire.

Le faisceau unciné connecte les aires temporo-basales avec les aires associatives frontales notamment orbitaires.

Ces vingt dernières années, des modèles de perception et de production de la parole, en accord avec les études démontrant l'activation de différentes régions du cortex cérébral ont été proposés. Ces modèles théoriques s'appuient sur l'idée d'un couplage fonctionnel entre les systèmes sensoriel et moteur et donnent une importance centrale aux interactions sensorimotrices¹. Ce couplage perceptif et moteur avait déjà été soutenu par Liberman et collaborateurs dans leur *théorie motrice de la perception de la parole* (Liberman et al., 1967, Liberman et Mattingly, 1985). Ces auteurs postulent que la perception de la parole repose sur un appariement des représentations phonétiques et des commandes motrices neuronales ainsi que d'une récupération des gestes articulatoires par l'auditeur. Cet appariement sensorimoteur est rendu nécessaire par la variabilité articulatoire nécessitant une parité de représentations phonétiques et articulatoires invariantes entre le locuteur et l'auditeur. Ainsi, les mêmes représentations

fm0010 1. Pour une revue sur les liens fonctionnels entre la motricité et langage, cf. Frak V et Nazir Tatjana. *Le langage au bout des doigts*, Presses de l'Université du Québec ; 2014.

seraient utilisées tant en perception qu'en production facilitant le terme et la production de la parole. Cette position fut largement débattue par les tenants des *approches auditives générales* (Dielh et Kluender, 1989 ; Kuhl, 2000) pour qui les invariants phonétiques sont récupérés dans le signal acoustique et traités uniquement par le système auditif bien que parallèlement les catégories phonétiques bénéficient d'un renforcement par les informations visuelles et motrices. Un consensus est défendu entre ces deux approches avec *la théorie de la perception pour le contrôle de l'action* (Schwartz et al., 2012) qui propose que les processus du traitement de la parole ne soient ni purement auditifs, ni purement moteurs mais sensorimoteurs comme cela est supposé lors de la période d'acquisition de la parole chez l'enfant.

La plupart des modèles neurobiologiques de la perception et de la production de la parole intègrent des mécanismes de contrôle articulaire et de boucles sensorimotrices régulatrices (Grabski et Sato, 2016). Dans le modèle *d'analyse par synthèse* (Skipper al. ; 2007, 2017), l'implication des centres moteurs de la parole s'effectue en fonction de la modalité de représentation et de l'ambiguïté des entrées sensorielles, et cette implication est d'autant plus importante lorsque la correspondance entre l'information sensorielle et les catégories phonétiques est dégradée. Dans ce modèle, si les informations auditives sont d'abord traitées par le cortex auditif qui élabore des hypothèses phonémiques, un interfaçage sensorimoteur renforce ce traitement phonémique dans le gyrus frontal inférieur postérieur. Autrement dit, les hypothèses phonémiques auditives sont appariées aux « images motrices » les plus typiques des phonèmes. Le cortex primaire stimule alors des commandes motrices et émet des copies d'efférence. Celles-ci entraînent une simulation et une anticipation des conséquences somato-sensorielles et auditives des commandes motrices sur le cortex auditif (figure 1.2).

Le modèle de double voie ventrale et dorsale (Hickok et Poeppel ; 2000, 2007) décrit, quant à lui, deux voies de traitement de l'information du signal acoustique comparables à celles décrites dans le traitement de la perception visuelle (Goodale et Milner, 1992) :

- la voie ventrale, « le quoi », est un circuit sémantique (activé par les mots signifiants) dédié à la compréhension et à la reconnaissance de la parole. Cette voie est responsable de la transformation de l'information acoustique en représentations conceptuelles et sémantiques. Elle est constituée des aires associatives temporales latérales et de la jonction pariéto-temporo-occipitale en regard du gyrus angulaire. Toutes ces aires sont polymodales et activées également par les informations visuelles ;
- La voie dorsale, « le comment », est un circuit phonémique (détection des phonèmes et des syllabes indépendamment de leur signification) qui se projette ensuite sur les aires frontales motrices et prémotrices. Cette voie se trouve à l'interface avec le système moteur. Elle serait responsable de la transformation du signal acoustique de parole en représentation articulaire et permettrait de réaliser une fonction d'intégration sensorielle. Lors d'une trop grande ambiguïté sensorielle, le gyrus *supra* marginal serait recruté pour mettre en jeu la mémoire de travail phonologique.

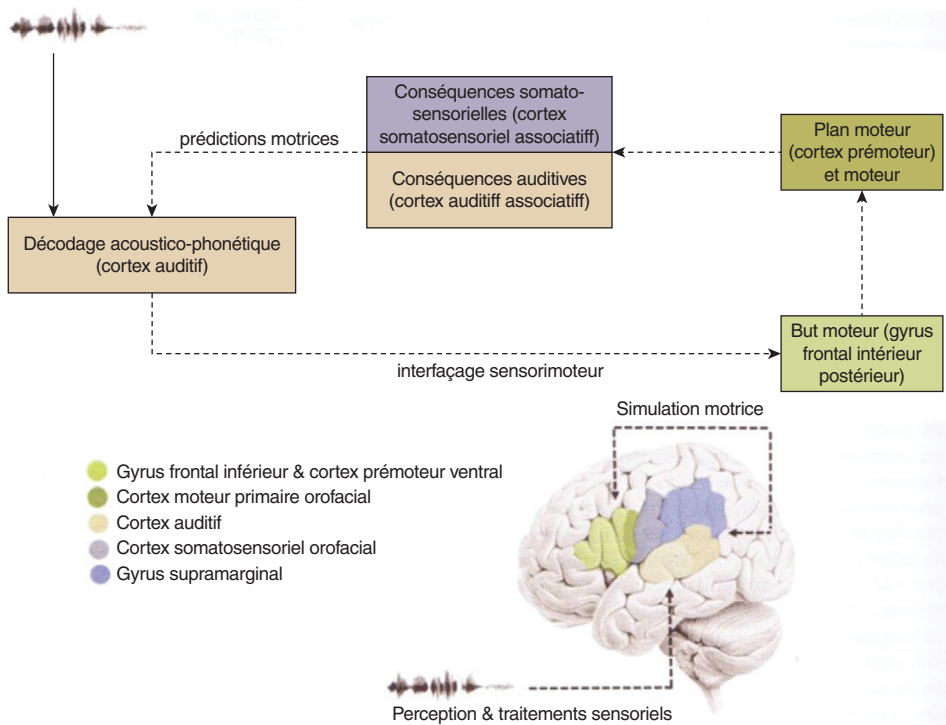


FIGURE 1.2. **Modèle d'analyse par synthèse.**

Source : Skipper JI, Devlin JT, Lametti DR. The hearing ear is always found close to the speaking tongue: Review of the role of the motor system in speech perception. *Brain Lang* 2017; 164: 77 – 105.

Cette dissociation fonctionnelle en deux voies du traitement de l'information du signal sonore implique que les prédictions temporelles, linguistiques et inter-modales se propageant dans le cerveau reflètent deux mécanismes différents : un mécanisme ascendant et un autre descendant. Cette notion de prédiction s'appuie sur la théorie du codage prédictif (Friston, 2005) et suggère que le cerveau contient un modèle interne du monde qui l'entoure. En d'autres termes, des prédictions ascendantes sont continuellement générées par le cerveau pour être ensuite comparées avec ce qui est effectivement encodé et perçu. Le routage des informations auditives par les voies sémantique et phonémique est ascendant, alors que les prédictions sont descendantes. Cette compréhension de ces mécanismes ascendants et descendants s'inscrit dans le constat que le signal acoustique de la parole est un signal quasi rythmique structuré en échelles temporelles correspondant aux segments linguistiques de base (phonèmes, syllabes, mots), et que l'activité cérébrale au repos possède une structure temporelle singulièrement similaire à celle de la parole. Cette correspondance suggère que les dynamiques cérébrales oscillatoires seraient adaptées pour capter parallèlement ces différents niveaux d'informations et favoriser le décodage du signal de la parole (Arnal et Giraud, 2016).

Le modèle DIVA (*Direction Into Velocities of Articulators*) de production de la parole (Guenther et al., 2006 ; Tourville et Guenther, 2011) fournit une explication computationnelle et neuro-anatomique en tenant compte du réseau de régions cérébrales impliquées dans l'acquisition et la production de la parole (figure 1.1). Ce modèle comprend deux systèmes de contrôles directs (*feedforward*) et par rétroaction (*feedback*) qui se costructurent lors des étapes développementales d'acquisition de la parole. À la suite de ces phases d'apprentissage, des cibles somatosensorielles sont créées et intégrées dans le système de contrôle. Chez l'adulte, le système direct est impliqué dans l'exécution des commandes motrices, alors que le système rétroactif n'interviendrait qu'en cas de situations conflictuelles comme des conditions environnementales bruitées.

Organisation neurolinguistique du langage

L'analyse précise des troubles du langage d'un patient adulte cérébrolésé à des fins diagnostique et thérapeutique requiert la connaissance des unités linguistiques constituant la langue française et celle des termes sémiologiques consensuels désignant les divers niveaux d'atteinte du traitement langagier. Notre propos n'est pas ici de faire un rappel détaillé de l'organisation structurale de la langue mais de rappeler, les éléments qui furent à la base de la naissance du courant neurolinguistique et qui constitue encore à ce jour une référence pour de nombreux cliniciens orthophonistes dans la description des déviations orales ou paraphasies.

Unités linguistiques

Le modèle linguistique de la réalisation de la parole et du langage composé de quatre types d'unités linguistiques et de trois niveaux d'articulations est dû à Buysens (1967). La même année, André Martinet met en évidence le principe de la double articulation du langage (figure 1.3) et propose un modèle d'arrangement des unités linguistiques selon un axe de la sélection ou paradigmatique et un axe de la combinaison ou syntagmatique. Selon cet auteur, la fonction paradigmatique renvoie à la sélection d'unités d'articulation inférieures (l'organe articulaire) appropriées lors de la réalisation d'unités d'articulation supérieures (le lieu d'articulation). La fonction syntagmatique renvoie à la combinaison des unités d'articulation inférieures en une série linéaire pour former une unité d'articulation supérieure. Cette combinaison obéit à un ensemble de conventions apprises que sont le système morphosyntaxique pour la première articulation, le système phonologique pour la seconde articulation et enfin le système phonétique pour le niveau de troisième articulation.

Traits distinctifs ou unités de troisième articulation

Ces traits correspondent aux mouvements élémentaires de l'appareil bucco-phonatoire. Il s'agit donc, par exemple, de mouvements d'expiration, de vibration

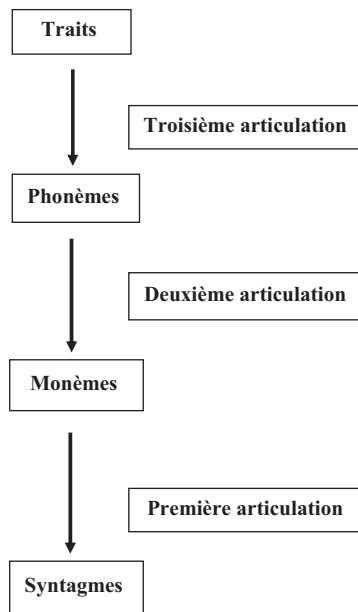


FIGURE 1.3. Schéma des trois niveaux d'articulation et des quatre unités de la parole et du langage.

Source : Martinet, 1967.

des cordes vocales ou de contraction du voile du palais. *Le niveau de troisième articulation ou niveau phonétique* correspond à la sélection d'un certain nombre de traits, leur combinaison suivant des règles de convention phonétique aboutissant à la réalisation de phonèmes. Cette approche des traits distinctifs a depuis considérablement évolué avec les travaux traitant de l'importance des indices acoustiques dans la reconnaissance de la parole (cf. *supra* et pour une revue Nazi, 2006, 2008).

Phonèmes ou unités de deuxième articulation

Ce sont les plus petites unités de son. Leur nombre, pour une communauté linguistique donnée, est stable (le système phonologique français comporte 36 phonèmes : 16 voyelles, 3 semi-consonnes ou semi-voyelles, et 17 consonnes), et leur transcription est codifiée par l'alphabet phonétique international (API). *Le niveau de deuxième articulation ou niveau phonémique ou niveau phonologique* correspond à la sélection, la sériation et la combinaison de phonèmes suivant le système phonologique conventionnel menant à la réalisation des monèmes.

Morphèmes ou unités de première articulation

Ce sont les plus petites unités de sens qui comportent un contenu sémantique nommé un signifié (ou sens) et une expression phonique (ou signifiant). Ce concept du signe linguistique comme association entre signifiant et signifié fut

décrit par le linguiste F. de Saussure (1916). La première articulation s'articule en unités successives et significatives, les monèmes (appelés couramment « morphème »). Les monèmes se combinent entre eux pour permettre de créer un énoncé ayant une signification. Les monèmes ayant une fonction grammaticale sont subdivisés en plusieurs catégories : les *monèmes lexicaux* ou *lexèmes* ou *morphèmes lexicaux* ; les *affixes* : préfixes et suffixes français à l'exception des suffixes marquant le genre ou le nombre et les désinences verbales ; les *monèmes grammaticaux* : monèmes fonctionnels (conjonctions de subordination, prépositions et pronoms relatifs, pronoms personnels, auxiliaires, etc.), marques morphologiques (désinences des verbes et suffixes marquant le genre ou le nombre), modalités (articles et adjectifs possessifs, démonstratifs, adjectifs numéraux). *Le niveau de première articulation ou niveau morphosyntaxique* correspond à la sélection, la sériation et la combinaison de monèmes suivant des règles syntaxiques (système morphologique) menant à la production de syntagmes.

Syntagmes

Ce sont des unités qui englobent l'ensemble des monèmes organisés selon les règles morphosyntaxiques et ayant un sens.

D'autres linguistes se sont intéressés à la valeur informative du langage comme Jakobson (1963) qui a proposé un modèle centré sur les différentes fonctions du langage (fonction expressive, conative, référentielle, phatique, métalinguistique et poétique) ouvrant la voie vers une approche de remédiations pragmatique et fonctionnelle (cf. chapitre 11 : « Traitement du langage oral et écrit : approches cognitives et fonctionnelles »). Chomsky (1968) a postulé qu'à partir d'un système défini par des règles, les individus sont capables de comprendre et de générer un nombre indéfini de phrases. Ce système correspond à un « système inné d'acquisition du langage » (LAD). Ce concept théorique et particulier du caractère inné du langage est aujourd'hui fortement discuté.

Les mêmes niveaux d'articulation que pour le langage oral sont classiquement retenus en modalité écrite. Les *traits graphiques* ou unités de troisième articulation renvoient aux mouvements élémentaires de la main et forment la lettre comme unité de deuxième articulation. Toutefois, une distinction doit être faite entre la lettre et le graphème. La lettre n'est pas l'équivalent écrit du phonème. Le graphème se définit comme une lettre ou groupe de lettres correspondant à un phonème. Particulièrement dans le cadre d'une langue opaque, l'apprenti lecteur et scripteur est confronté à l'inconsistance de l'orthographe, c'est-à-dire à la consistance des relations graphophonologiques et à la granularité soit le niveau d'efficacité graphophonologique le plus fiable (cf. La théorie psycholinguistique, la « taille du grain », de Ziegler & Goswami, 2005). Ainsi en français, les allographes « au » « eau » pour /o/, « qu », « c », « k » pour /k/ correspondent au même phonème, l'inconsistance contextuelle de certains graphèmes comme « c », « g » et dans une moindre mesure « ch » pour /k/.