

**UE 20 - Appareil Neurosensoriel et Psychiatrie****ENSEIGNANT : Mr Seizeur****DATE : 17/09/2023****GROUPE : 6****REMARQUES :**

---

## VOIES ANATOMIQUE DE LA LECTURE

---

### Table des matières

#### I) Voies de la vision

- A) *Rappels anatomiques de la vision*
- B) *Le Chemin de la lumière*
  - *Nerf Optique*
  - *Radiations optiques*
- C) *Aire de Brodmann*
- D) *Mécanismes de poursuite oculaire*

#### II) Voies cérébrales de la lecture : modèle classique

- A) *Lobule pariétale inférieur*

#### III) Voies cérébrales de la lecture : modèle IRM

- A) *Latéralisation du langage*
- B) *Visual Word Form Area (VWFA)*
- C) *Planum temporal*

#### IV) L'expression orale

- A) *Mécanismes neurologiques de l'expression orale (de la lecture à la phonation)*

#### V) Conclusion

## I) Voies de la vision

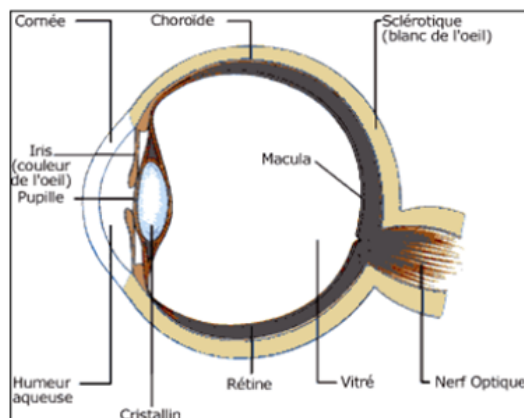
La lecture commence de façon évidente par les voies visuelles. Nous pourrions décrire plus précisément la lecture à voix haute par la suite qui fait aussi intervenir l'expression orale.

### A) Rappels anatomiques

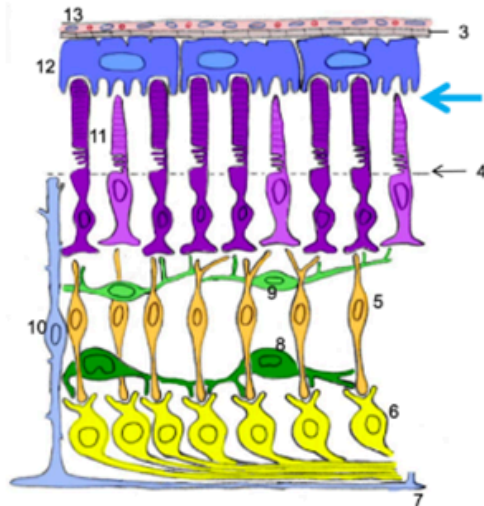
L'organe récepteur de la lumière est le bulbe oculaire qui est situé dans la cavité orbitaire. Le bulbe porte les cellules neurosensorielles appelées cônes et bâtonnets qu'on retrouve au niveau de la partie optique de la rétine.

### B) Le chemin de la lumière

La lumière va traverser le bulbe oculaire en passant d'abord par la cornée qui est la tunique fibreuse (transparente) externe de l'œil. Puis la lumière à travers l'humeur aqueuse dans la chambre antérieure de l'œil avant d'atteindre le cristallin qui est une lentille biconvexe assurant l'accommodation. Enfin, la lumière traverse le corps vitré de l'œil pour atteindre la rétine.



Au niveau de la rétine, on retrouve les photorécepteurs. Les cônes sont responsables de la vision précise tandis que les bâtonnets ont un rôle dans la vision crépusculaire et la formation du champ visuel.



3. Membrane basale (Bruch)
4. Membrane limitante externe
5. Cellules bipolaires
6. Cellules ganglionnaires
7. Membrane limitante interne
8. Cellules amacriques
9. Cellules horizontales
10. Cellules de Müller (équivalent de cellules gliales)
11. Photorécepteurs (cônes et bâtonnets)
12. Épithélium pigmentaire
13. Choroïde

La lumière va ensuite emprunter les voies visuelles correspondant à une chaîne neuronale composée de 3 neurones. On retrouve les corps cellulaires du protoneurone (ou cellule bipolaire) et du deutoneurone (ou cellule ganglionnaire) dans la rétine.

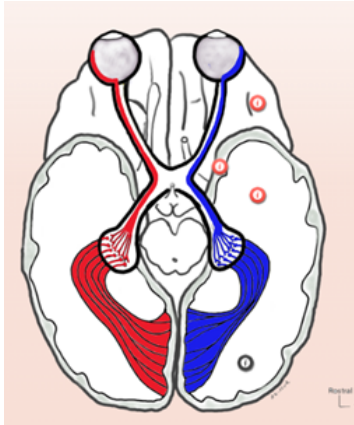
L'information visuelle va ensuite emprunter le nerf optique (2<sup>ème</sup> paire des nerfs crâniens) puis le chiasma et le tractus optique pour atteindre les corps géniculés latéraux (thalamus).

80% des fibres se terminent dans les corps géniculés latéraux donc les 20% restants vont se projeter sur les colliculus supérieurs (pour l'accommodation), vers l'hypothalamus ou encore le pulvinar.

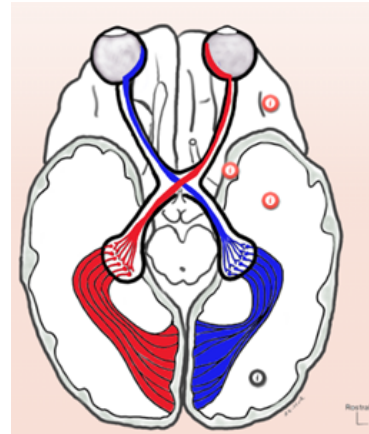
## Nerf optique

Le nerf optique est composé de 3 types de fibres :

- Les fibres **nasales** qui décussent au niveau du chiasma optique ;
- Les fibres **temporales** qui ne décussent pas donc restent homolatérales ;
- Les fibres **maculaires** qui sont directes et croisées.



*Fibres issues de la rétine temporale*

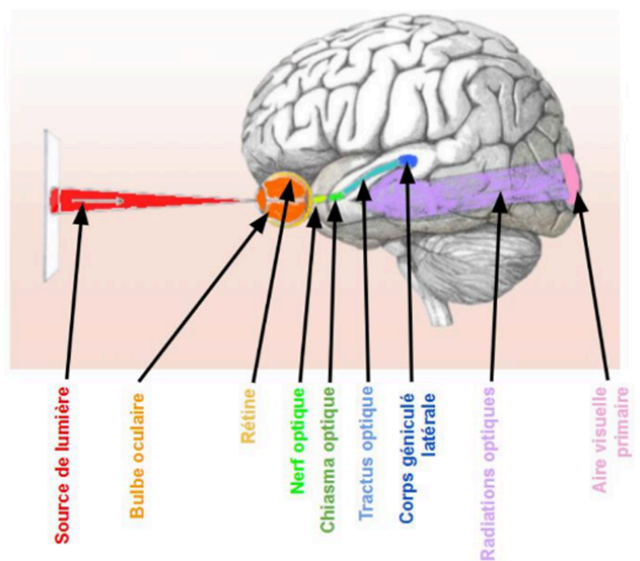


*Fibres issues de la rétine nasale*

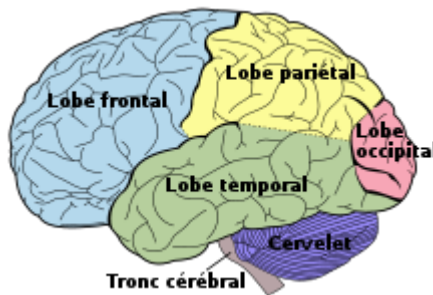
Le tractus optique sera donc composé de fibres contenant de l'information visuelle homolatérale et contralatérale.

### Radiations optiques

Les radiations optiques qu'on associe au 3<sup>ème</sup> neurone de la chaîne correspondent à des faisceaux d'axones issus des corps géniculés latéraux. Ils cheminent jusqu'à atteindre l'aire visuelle primaire aussi appelée aire 17 ou aire de Brodmann au niveau du cortex occipital, de part et d'autre de la scissure calcarine.



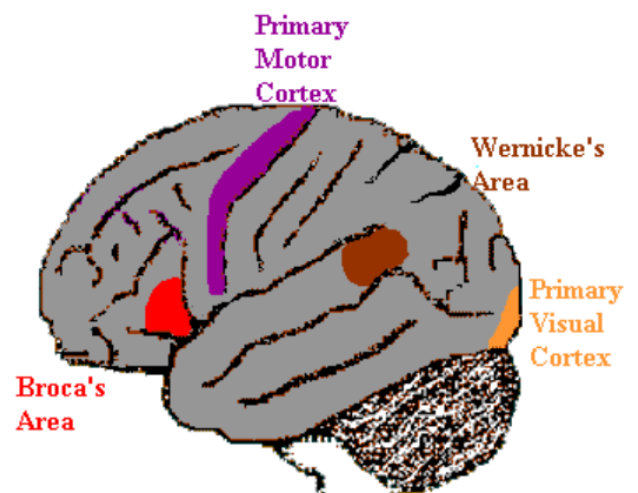
### C) Aire de Brodmann



On retrouve l'aire de Brodmann au pôle postérieur du lobe occipital. Elle est spécialisée dans le traitement des informations visuelles statiques et mobiles ainsi que dans la reconnaissance visuelle.

On estime que le cortex visuel aussi appelé cortex strié compte 140 millions de neurones à l'âge adulte. Les premiers neurones à réagir à l'influx visuel vont traiter les informations pour donner les propriétés d'orientation, de vitesse, de mouvement et de direction. La deuxième vague de neurone va être activée au bout de 100ms pour donner une information sur l'organisation globale de la scène.

Le cortex est divisé en 6 couches. La plus importante est la couche numéro 4 car c'est elle qui reçoit la majorité de l'information arrivant des corps géniculés latéraux.



### D) Mécanismes de poursuite oculaire

#### 1) Vision fine et lecture

La relation entre la mobilité du regard et la vision est cruciale, en particulier lorsqu'il s'agit de la lecture. La vision fine, qui nous permet de distinguer les détails fins, ne peut être réalisée qu'à travers une partie spécifique de la rétine appelée la fovéa. Cette zone est exceptionnellement riche en cônes et en photorécepteurs, ce qui en fait le point central de notre vision de haute résolution. Cependant, pour que cette vision fine fonctionne efficacement, il est essentiel que les images projetées sur la rétine restent stables.

Lorsque les images bougent rapidement ou de manière chaotique, notre acuité visuelle diminue considérablement. C'est pourquoi nos yeux sont constamment en

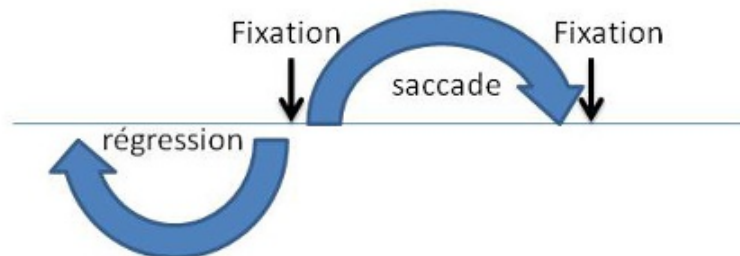
mouvement pendant la lecture. Leur rôle est de déplacer continuellement les objets sélectionnés, c'est-à-dire les mots et les phrases que nous lisons, vers la fovéa, où l'analyse visuelle est la plus précise et la plus efficace.

Nos yeux effectuent des mouvements pour anticiper l'information suivante, réalisant ainsi des **saccades**, qui sont essentiellement de petits sauts visuels. Entre chaque saut, nos yeux se posent brièvement au bon endroit pour maintenir une lecture fluide, ce que l'on appelle des **fixations**.

## 2) Saccades et fixations

Les **saccades** oculaires sont des mouvements rapides et coordonnés : nous fixons notre regard sur un point, le déplaçons rapidement, puis le fixons à nouveau. Au cours d'une journée typique, nous effectuons un nombre considérable de saccades, allant jusqu'à 100 000, que ce soit pour explorer une image, rechercher un objet parmi d'autres, saisir un élément saillant dans notre champ visuel ou lire.

Lors de la perception visuelle, y compris la lecture, les mouvements oculaires se produisent à une vitesse de 2 à 4 fixations par seconde. Les lecteurs expérimentés ont tendance à lire avec une vitesse d'environ 3 à 4 fixations par seconde, tandis que les débutants se situent généralement entre 2 et 3 fixations par seconde.



Pendant chaque fixation, la vision fovéale du lecteur se concentre sur les détails fins du texte, tels que les caractères individuels. La vision périphérique, quant à elle, permet de reconnaître des syllabes ou des mots entiers, bien que l'acuité visuelle y soit réduite.

Autour de chaque fixation, l'œil perçoit également des éléments spécifiques :

- **Au centre de la fixation (zone fovéale)** : C'est là que l'analyse détaillée a lieu.
- **À droite de la fixation** : Il y a deux niveaux à considérer :

- Près de la fixation (zone parafovéale, couvrant environ 8 lettres) : Cela permet de prétraiter les lettres du mot suivant.
- Plus loin (zone périphérique, couvrant environ 15 lettres) : Cela permet de programmer les prochaines saccades.
- **À gauche de la fixation** : Ceci permet d'ajuster le point de fixation pour assurer un alignement précis (généralement sur environ 4 lettres).

**L'empan visuel** est une mesure qui définit la quantité d'information visuelle que l'œil peut percevoir et traiter en une seule fixation (en moyenne environ 12 lettres), c'est-à-dire pendant un bref instant où le regard est stabilisé sur un point précis.

Cette mesure est essentielle en lecture, en particulier pour comprendre comment le cerveau traite et interprète le texte et il joue un rôle crucial dans la vitesse de lecture.

**Plus l'empan visuel est grand, plus la lecture peut être rapide.**

**Dyspraxie visuo-spatiale** : affecte la capacité d'une personne à lire et à traiter visuellement l'information écrite de manière efficace. Cela signifie que le patient ne suit pas de manière organisée les étapes typiques de la lecture.

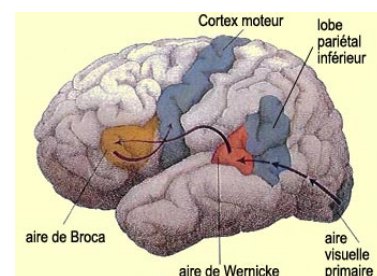
- Absence de stratégie de lecture
- Saccades oculaires anarchiques
- Mauvais positionnement du regard
- Réduction de l'empan visuel
- Empan est réduit : Des lettres sont sautées, voire des mots, certaines syllabes sont doublées
- Lecture lente et saccadée
- Difficulté à se retrouver
- La lecture se dégrade au fil du texte.
- Mouvements corporels inappropriés
- Difficulté à suivre même avec le doigt
- Erreurs de lecture : Il oublie des mots, en double d'autres, saute des lignes, il fait des inversions, il devine la fin des mots...

## **II) Voies cérébrales de la lecture : modèle classique**

### **A) Lobule pariétale inférieur**

**Le Lobule Pariétale Inférieur (LPI)** est à l'intersection des territoires auditif, visuel, sensoriel et moteur. C'est un carrefour neuronal important, il n'est pas spécialisé uniquement dans la lecture à voix haute (calcul, écriture...). Ces neurones sont donc multimodaux.

Ce lobule est divisé en deux gyrus, le gyrus **angulaire** et le gyrus **supra-marginal**.



## 1) Trajet du modèle classique

Une fois l'information visuelle arrivée dans le cortex visuel primaire, elle va rejoindre le **gyrus angulaire** par le **cortex occipito-temporal gauche**.

A ce moment, l'information restera en mémoire un court instant.

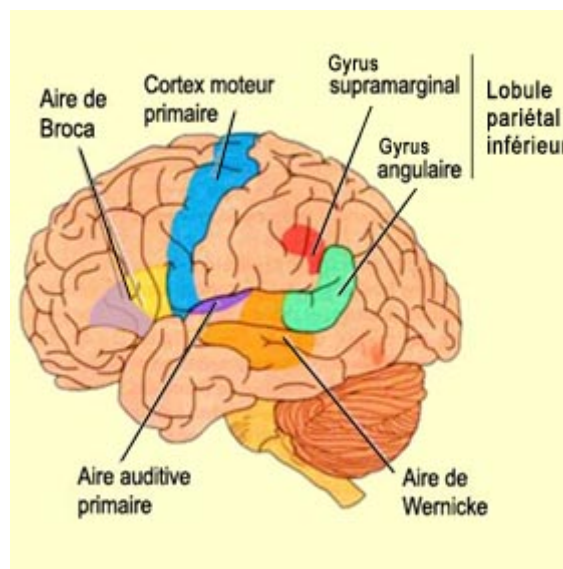
Ensuite, elle ira du **gyrus angulaire** à **l'aire de Wernicke**.

Là, le cerveau relie le mot au son qu'il produit.

Puis de **l'aire de Wernicke** à celle de **Broca** (ou aire pré-moteur) par le faisceau arqué.

A ce moment, le cerveau arrive à relier une articulation, une phonétique au mot.

Enfin, pour passer d'une lecture à voix basse à une lecture à voix haute l'information va passer de l'aire de **Broca** par les neurones pyramidaux jusqu'au **cortex moteur**. C'est le moment où le cerveau envoie les directives motrices au muscles de la bouche et du larynx.



## 2) Wernicke et Broca

L'aire de Broca est située dans les aires 44 et 45 de Brodmann, au niveau de la partie postérieure du gyrus frontal inférieur.

L'aire 44 sert pour la **phonologie** = production du langage.

L'aire 45 sert quant à elle à la **sémantique** (étude du sens dans le langage).

L'aire de **Broca** permet donc la **mémoire verbale**.

L'aire de Wernicke est située entre le cortex auditif primaire et le lobule pariétale inférieure.

L'IRM fonctionnelle permet de distinguer 3 sous régions ayant 3 buts distincts:

- Une pour la parole et les autres sons (y compris du patient)
- Une pour les mots prononcés par quelqu'un d'autre et une liste de mots précises(dépend du patient)
- Une pour la production de la parole plutôt que la perception.

L'aire de **Wernicke** permet donc la **reconnaissance de séquences phonétiques**. (entendues, évoquées de mémoire ou générées intérieurement).

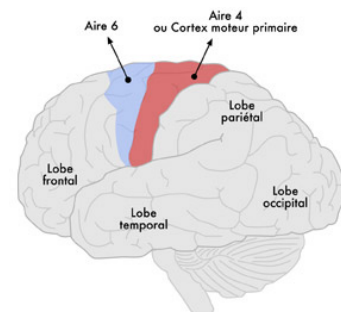
Tout comme l'aire de Broca l'aire de Wernicke n'est pas une aire anatomique à proprement parler. On situe globalement un centre du langage articulé mais pas de centre précis du langage de Broca. Celui-ci, à partir de l'autopsie d'un malade qui avait perdu l'usage de la parole, estime à tort l'avoir trouvée précisément.

### 3) Cortex Moteur

Situé à l'arrière du lobe frontal, le cortex moteur permet la planification, le contrôle mais aussi l'exécution des mouvements du corps.

C'est le cortex moteur qui permet l'articulation des mots en stimulant les différents muscles de l'appareil phonatoire.

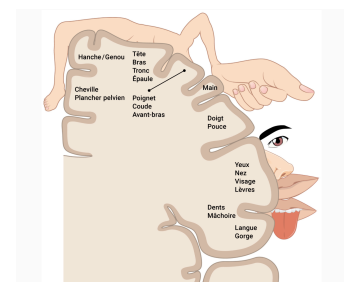
Le cortex moteur se compose de **l'aire 4**, aussi appelé cortex moteur primaire, et de **l'aire 6** constituant le cortex prémoteur, lui-même divisé en aire **prémotrice** et en aire **motrice supplémentaire**.



**L'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaire** ont des fonctions proches : elles interviennent dans la planification et la programmation du mouvement.

**L'aire 4** intervient dans l'exécution à proprement dite du mouvement.

(Le cortex moteur a été cartographié sous la forme de l'homonculus moteur, où les surfaces sont proportionnelles à la complexité du mouvement. Les lèvres et le visage y ont une grande proportion).



### III ) Voies cérébrales de la lecture : modèle IRM

L'aide de la TEP ou de l'IRM fonctionnelle (IRMf), s'est avérée un apport précieux, confirmant pour l'essentiel les principales données acquises jusqu'alors (modèle classique).

#### A) Latéralisation du langage

Les examens d'IRM fonctionnelle permettent de montrer que l'aire du langage est latéralisée. En effet, chez plus de 90% des droitiers, elle est latéralisée à gauche, tandis que chez plus de 70% des gauchers, elle est latéralisée à gauche.

De plus, il existe une asymétrie. Le planum temporal, zone corticale spécialisée dans le langage, présente une asymétrie.

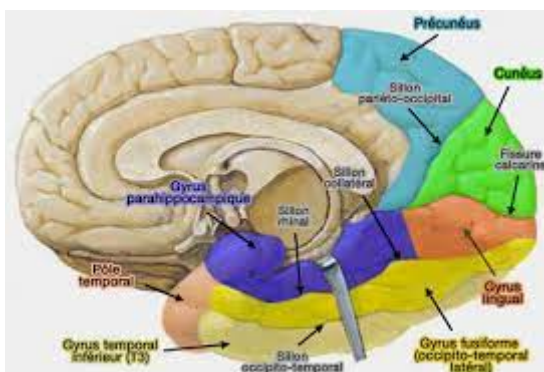
Même si l'aire est latéralisée à gauche pour beaucoup d'individus, l'hémisphère droit reste primordial notamment pour la compréhension du langage non-verbal.

Une étude a été menée par Frackowiak à Londres pour étudier l'activation cérébrale en TEP lors de la lecture à voix haute d'un groupe de sujets.

La principale activation obtenue lors de cette étude fut localisée au niveau de la **partie postérieure du gyrus temporal supérieur (aire 22)**.

Elle a également montré une activation de la lecture à voix haute importante au niveau occipital et temporal supérieur et moyen, bilatéraux mais prédominant à **gauche**. Cette prédominance à gauche est plus nette pour la lecture à voix haute que la lecture silencieuse.

#### B ) Visual Word Form Area (VWFA)



L'IRM a contribué à la mise en évidence du Visual Word Form Area. C'est une région fonctionnelle du gyrus fusiforme gauche (aire 22), spécialisée dans la reconnaissance des mots. Elle permet de traiter les lettres et les mots écrits pour transmettre les informations aux régions linguistiques d'ordre supérieur pour le traitement linguistique.

Cette région a été observée uniquement à gauche d'une région près du gyrus fusiforme environ 200 ms après la présentation du mot.

Sans que nous en ayons conscience, notre système visuel et notamment la VWFA réalise des calculs complexes au cours de la lecture:

- l'invariance pour la position, la taille et la forme des mots (deux quatre / DeUX QuatRe → malgré une forme différente entre le r minuscule et le R majuscule, notre conscience a appris à créer un appariement entre majuscule/minuscule.
- amplification de petites mais pertinentes différences: deux/doux
- sensibilité à l'agencement des composants: TREFLE / REFLET
- régularité orthographique

La VWFA s'active **immédiatement à la reconnaissance d'un mot** pour ensuite envoyer l'information au planum temporal.

### C ) Planum temporal

Le planum temporal (situé à la surface supérieure du lobe temporal) forme le cœur de l'aire de Wernicke.

L'aire de Wernicke permet d'établir les liens entre le mot et les concepts qui lui sont sémantiquement rattachés. Puis le mot acquiert un sens et est transféré grâce au faisceau arqué à l'aire de Broca qui va programmer les actes moteurs nécessaires à sa prononciation (modèle classique).

Ainsi cette "nouvelle" zone VWFA s'ajoute au modèle classique décrit précédemment, elle constitue la jonction entre le cortex visuel primaire et l'aire de Wernicke.

Ce modèle IRM est très récent et de nouveaux éléments décrivant les voies neurologiques de la lecture y sont décrits chaque année.

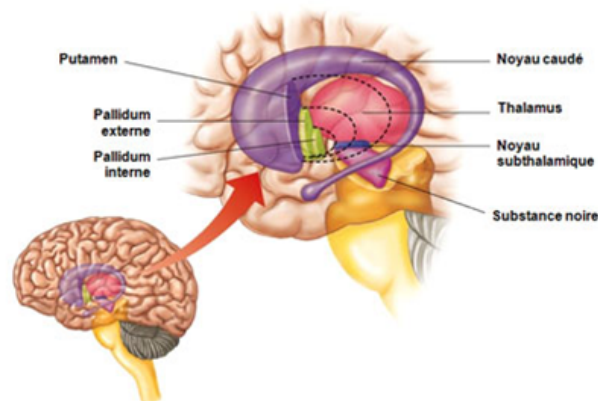
## IV) L'expression orale:

Une fois que le circuit de lecture est en place et que le cortex moteur primaire est actif, l'expression orale devient un phénomène pour l'instant peu étudié et peu connu. Les aires du langage, comme Broca et Wernicke, s'activent en premier pour élaborer le message verbal, suivi de mécanismes de régulation impliquant divers acteurs.

- 1) Les noyaux gris centraux
- 2) L'AMS (aire moteur supplémentaire)
- 3) Le CMP (cortex moteur primaire)
- 4) Le cervelet
- 5) Les poumons, le larynx et la musculature oro-faciale
- 6) La voie pyramidale

### **1) Les noyaux gris centraux (NGC) (ou ganglions de la base):**

Il s'agit d'un ensemble de structures cérébrales comprenant le noyau caudé, le putamen, le globus pallidus, le noyau sous thalamique et la substance noire. Ils servent à connecter toutes les aires corticales moteur à l'Aire Motrice Supplémentaire (**AMS**).



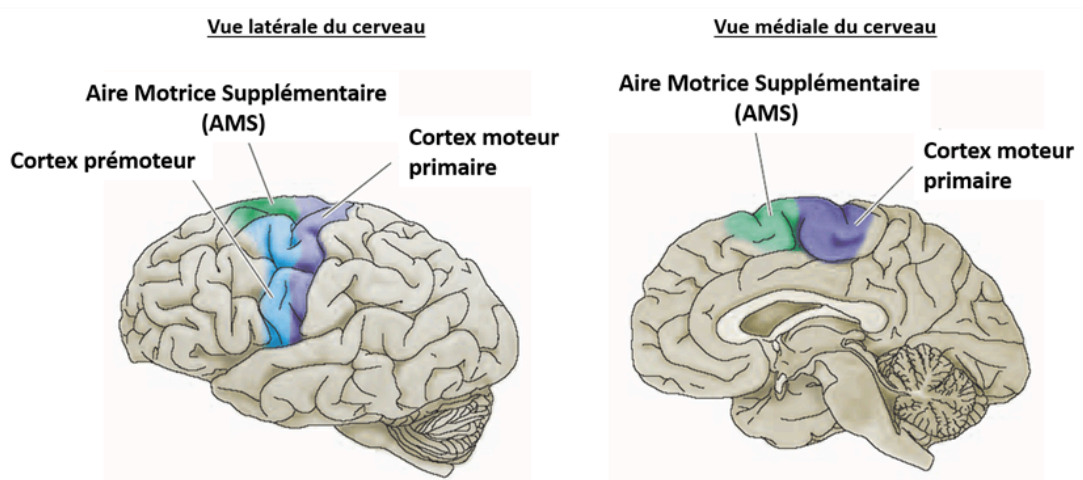
Ils servent aussi à empêcher les mouvements inutiles, ils vont ajuster les mouvements spatiaux et temporels sous le contrôle de boucles de régulation et de contrôle du mouvement. Les NGC sont interconnectés à travers un réseau dense de voies afférents et efférents excitatrices ou inhibitrices. D'un point de vue fonctionnel, l'ensemble de ce circuit faciliterait les mouvements volontaires et inhiberait les mouvements involontaires conflictuels.

## 2) L'Aire Moteur Supplémentaire:

Elle joue un rôle important dans la conceptualisation des mouvements et participe à la génération de la parole.

## 3) Le Cortex Moteur Primaire:

Il va envoyer l'information de ce qu'il a prévu comme planification musculaire aux noyaux gris centraux (striatum = noyau caudé et putamen). Puis les NGS vont renvoyer le mouvement simplifié au cortex qui entamera la boucle d'exécution du mouvement.



## 4) Le cervelet:

Le cervelet reçoit une portion d'informations provenant du cortex sensori-moteur qui renseigne sur l'intention du mouvement. Il renvoie ensuite au cortex moteur les caractéristiques requises pour exécuter ce mouvement, tels que la direction, la force et la durée nécessaires. Le cervelet travaille avec le cortex. Dans notre cas on parlera de l'aire somatosensorielle (aire 3) possédant l'homoncule moteur. Et aussi l'aire pariétale postérieure à l'arrière de l'aire somesthésique primaire.

- **A l'aller:** Les aires somatosensorielle et pariétale postérieure (appartenant au cortex moteur primaire) qui vont projeter leurs axones aux noyaux du pont (dans le tronc cérébral) (On parle de 20 millions d'axones). Puis vont se projeter des noyaux du pont jusqu'au cervelet.

- **Au retour:** Du cortex du cervelet jusqu'au thalamus puis jusqu'au cortex moteur primaire à nouveau. Le cervelet renvoie aux ganglions de la base et le thalamus qui envoie l'information au cortex moteur. Lors du mouvement, le cervelet et le cortex moteur primaire forment une boucle pour maintenir la planification temporelle correcte. (Si jamais on lésait le cervelet le patient aurait une **ataxie** = un ralentissement extrême des mouvements).

## 5) Les poumons, le larynx et la musculature orofaciale:

Ils présentent une innervation sensitive essentielle dont l'objectif est de réguler les informations motrices sous-tendant à la production de parole. Ils sont des acteurs clés de la génération de la parole mais le lien entre la commande volontaire de la parole et celle de l'exhalation est encore très flou.

## 6) La voie pyramidale:

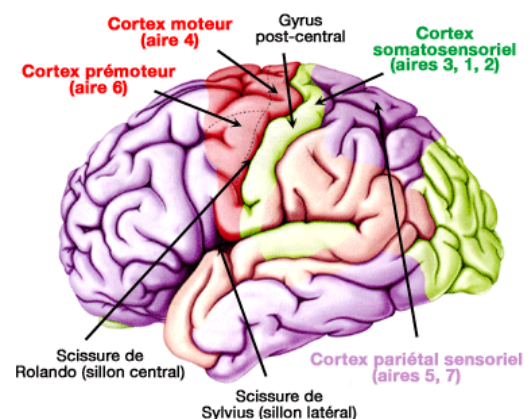
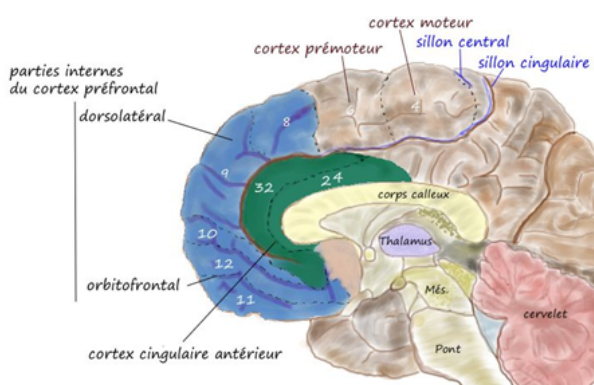
C'est la voie de la motricité volontaire, constituée de fibres nerveuses descendantes du cortex M1 en direction des effecteurs musculaires.

Elle est organisée en 2 principaux faisceaux:

- **faisceau cortico-bulbaire**
- **faisceau cortico-spinal**

Le faisceau cortico-bulbaire est le support de la motricité véhiculée par les 12 paires de nerfs crâniens et innervant les muscles de la tête et du cou, ceux impliqués dans l'innervation des organes de la parole sont principalement les V, VII, X, XI, XII.

Le faisceau cortico-spinal est le support d'une motricité concernant les nerfs spinaux/rachidiens qui sont le support de la sensibilité et de la motricité de certains muscles laryngés, du cou, du tronc, du thorax... servant à l'exhalation.



## **Résumé:**

Pour résumer, les neurones partent du cortex moteur primaire (**CMP**) pour aller au niveau des **noyaux crâniens** dans le pont. Parallèlement à cela, beaucoup d'échanges se réalisent entre le CMP et le cervelet. Ça permet une bonne temporalité de la contraction des muscles de la phonation.

Une fois l'information arrivée au niveau des noyaux crâniens dans le pont, les circuits neuronaux visent à la contraction des muscles impliqués dans la phonation. Ils empruntent les nerfs laryngés récurrents et supérieurs pour le rôle du larynx dans la phonation.

Il y aura aussi le rôle du **nerf hypoglosse** pour la participation de la langue à l'expression orale. L'action devient possible lorsque la boucle atteint un certain seuil d'activation.

## **V) CONCLUSION:**

La lecture à voix basse fait principalement intervenir les voies visuelles. La lecture à voix haute recouvre quant à elle un ensemble de compétences qui se reflète dans une organisation neuro-fonctionnelle complexe.

Les méthodes de neuro-imagerie ont permis de faire progresser nos connaissances sur l'architecture fonctionnelle de notre réseau cérébral et ainsi de nos fonctions de lecture et de langage. Ces connaissances du réseau neurofonctionnel physiologique sont indispensables pour le diagnostic mais aussi l'étude et le traitement de ses troubles et dysfonctions.

Pour résumer, lorsque nous entreprenons l'action de lire un texte, l'information visuelle débute au niveau de l'oeil. Après avoir traversé les différentes zones anatomiques de l'oeil, l'information visuelle va atteindre le protoneurone et deutoneurone situés dans la rétine qui va ensuite être transmis en influx nerveux jusqu'à la fibre optique. Puis l'information va arriver au niveau du cortex **visuel primaire (1)**.

En quelques millisecondes, la Visual Word Form Area (**VWFA**) **(2)** va reconnaître les mots pour les transmettre au niveau du **lobule pariétal inférieur (gyrus angulaire)** **(3)**. Celui-ci va ensuite envoyer les informations à l'**aire de Wernicke (4)** pour établir un lien entre le mot et les concepts qui lui sont sémantiquement rattachés. Le mot va ensuite acquérir un sens et sera transféré à l'**aire de Broca (5)** via le faisceau arqué.

Ensuite, les noyaux pyramidaux prennent le relais pour envoyer le message neural au **cortex moteur (6)**.

Par la suite, l'information partant du cortex moteur va se diviser en deux messages :

- Le premier va directement se diriger vers la partie pontique du tronc cérébral (7) où se trouvent les noyaux des nerfs crâniens. Puis l'information suivra les nerfs directement impliqués dans la contraction des muscles de la phonation (nerf hypoglosse, nerfs laryngés, ...)
- Le deuxième va se diriger vers le cervelet (7bis) avec lequel il va échanger des informations quant à la bonne temporalité de contraction des muscles de la phonation.

