



UNITE NEUROSCIENCES

SMB3



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

Département de neurosciences  
fondamentales

## Unité Neurosciences

*APP 5 – Nerfs crâniens : Mr Vieusseux*

## Les fascicules de neurosciences

Par les enseignants et les étudiants de l'unité

## **Éditeurs**

Prof. Jozsef Z. Kiss  
Dr. Charles Quairiaux

## **et les responsables de l'unité Neurosciences**

Pr. Alan Carleton  
Dr. Logos Curtis  
Pr. Nathalie Ginovart  
Pr. Denis Jabaudon

## **Contributeurs**

### **les étudiants du Neuroclub :**

Tiago Guedes Almeida  
Omar Boudal  
Ernest Damachi  
Donia Dellagiovanna  
Elisabeth Galantay  
Daniel Hemsteg  
Romane Laoust  
Adrien Kristiansen  
Lisa Montero  
Léonie Paloméras  
Mahaut Pache  
Nefeli Stefanidou  
Lea Teigeler  
Alexandre Ventouras  
Arthur Watkins  
Ramzi Farchoukh  
Paul Murger  
Najeeb Ahmed Bhuiyan  
Mohamed Abdul Allah El Mezri

Burçe Göksu  
Clarisse Alamartine  
Keanu Dällenbach  
Samy Damès

### **les tuteurs de l'unité Neurosciences :**

Dr. Laurence Bayer  
Pr. Camilla Bellone  
Dr. Colette Boëx  
Pr. Sami El Boustani  
Dr. Vanessa Fleury  
Dr. Joël Fluss  
Dr. Angelica Perez Fornos  
Pr. Christian Korff  
Pr. Patrice Lalive d'Epinay  
Dr. Aurélien Lathuilière  
Pr. Shahan Momjian  
Pr. Christian Lüscher  
Dr. Camille Piguet

# ÉNONCÉ

## Problème aigu

Gaspard Vieusseux, 53 ans, employé au service d'entretien des TPG, est occupé au nettoyage d'un tram lorsqu'il a brutalement l'impression que tout bouge autour de lui. Il est pris de violentes nausées et se sent instable. Le malaise persiste 15 minutes et ses collègues appellent une ambulance.

Vous voyez le patient à son arrivée à l'hôpital. La tension artérielle est à 170/90 mm Hg et le patient vous indique qu'il est traité pour une hypertension. M. Vieusseux est orienté et collaborant, mais gêné par des vertiges et des nausées. La pupille gauche est en myosis et il présente une légère ptose palpébrale gauche qui vous évoque un syndrome de Claude Bernard-Horner.

Au vu de ces anomalies cliniques, vous décidez de procéder à un examen neurologique détaillé. Vous notez en outre :

- Un réflexe cornéen absent à gauche
- Un nystagmus spontané battant vers la droite qui persiste pendant la fixation visuelle
- Une hypoesthésie thermo-algésique de la partie gauche du visage ; la sensibilité tactile fine est normale
- Un voile du palais asymétrique avec déviation de la luette vers la droite
- Un réflexe nauséeux diminué
- Une voix un peu rauque
- Au niveau des voies longues, vous constatez une hypoesthésie thermo-algésique sur l'hémicorps droit. La sensibilité tactile fine et la proprioception sont normales.

## Évolution

Au bout d'une heure, les symptômes régressent spontanément et quelques heures plus tard, l'examen neurologique s'est normalisé.

- *Topographie : Quel(s) structure(s) et système(s) sont affectés ?*
- *Étiologie : Quelle pourrait être la nature de cette atteinte ?*
- *Examens complémentaires : Que proposez-vous ?*
- *Prise en charge médicale : Que proposez-vous ? Quel est le degré d'urgence ?*

# OBJECTIFS

**Les étudiants doivent comprendre les termes suivants :**

Ptose palpébrale, myosis, mydriase, anisocorie, syndrome sensitif dissocié, syndrome alterne.

**Tronc cérébral et nerfs crâniens :**

- L'anatomie du tronc cérébral et ses divisions principales : mésencéphale, pont, bulbe et leurs subdivisions.
- Dans ces divisions : les noyaux des nerfs crâniens, les voies ascendantes et descendantes et leurs décussations.
- Le trajet des nerfs crâniens depuis leurs noyaux jusqu'à leurs cibles.
- Les fonctions de chacun de ces nerfs et les signes cliniques résultant de leur atteinte.
- Les nerfs associés au système parasympathique et le trajet de la voie sympathique.
- Les troubles du contrôle sympathique et parasympathique de la pupille.
- Les réflexes du tronc cérébral : pupillaire, cornéen, oculo-céphalique, vestibulo-oculaire, et nauséeux. Pour chaque réflexe, connaître les arcs afférent et efférent.
- La vascularisation du tronc, en particulier : artères vertébrales et basilaire ainsi que leurs branches principales.
- Le syndrome de Claude Bernard-Horner : étiologie, mécanisme, présentation clinique.
- Le concept d'accident ischémique transitoire et son étiologie.
- Le syndrome de Wallenberg : signes cliniques et bases anatomiques.

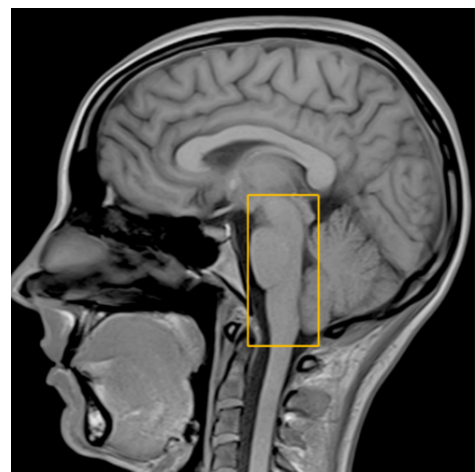
# Table des matières

|          |                                                                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>Le tronc cérébral.....</i></b>                                                                      | <b>6</b>  |
| 1.1      | Principales caractéristiques .....                                                                        | 6         |
| 1.2      | Subdivisions .....                                                                                        | 7         |
| 1.2.1    | Base :.....                                                                                               | 7         |
| 1.2.2    | Tegmentum :.....                                                                                          | 7         |
| 1.2.3    | Tectum : .....                                                                                            | 8         |
| 1.3      | Anatomie de surface du tronc cérébral et émergence des nerfs crâniens.....                                | 8         |
| 1.3.1    | Mésencéphale.....                                                                                         | 9         |
| 1.3.2    | Pont (pons, protubérance annulaire).....                                                                  | 9         |
| 1.3.3    | Bulbe rachidien (moelle allongée) .....                                                                   | 10        |
| 1.4      | Composition du tronc cérébral .....                                                                       | 11        |
| 1.4.1    | SUBSTANCE GRISE.....                                                                                      | 11        |
| 1.4.2    | Substance Blanche : synthèse sur les grandes voies traversant le tronc cérébral.....                      | 17        |
| 1.5      | Coupes transversales « génériques » du tronc cérébral .....                                               | 19        |
| <b>2</b> | <b><i>Les nerfs crâniens .....</i></b>                                                                    | <b>21</b> |
| 2.1      | Classification fonctionnelle : NC moteurs, sensoriels et mixtes.....                                      | 22        |
| 2.2      | Les voies sensorielles en relation avec des nerfs crâniens.....                                           | 23        |
| 2.3      | Les voies motrices en relation avec des nerfs crâniens.....                                               | 28        |
| 2.4      | Contrôle des noyaux moteurs de nerfs crâniens .....                                                       | 28        |
| 2.5      | Rappels des symptômes associés à une lésion de motoneurones .....                                         | 29        |
| 2.6      | Localisation intra-axiale et extra-axiale des lésions impliquant les nerfs crâniens ou leur contrôle..... | 30        |
| 2.7      | Fonctions et sémiologie des nerfs crâniens.....                                                           | 31        |
| <b>3</b> | <b><i>Accident ischémique transitoire (AIT) .....</i></b>                                                 | <b>44</b> |
| <b>4</b> | <b><i>Accidents vasculaires du tronc cérébral .....</i></b>                                               | <b>45</b> |
| 4.1      | Vascularisation du tronc cérébral .....                                                                   | 45        |
| 4.2      | Syndromes vasculaires du tronc cérébral.....                                                              | 48        |
| 4.2.1    | Aperçu général.....                                                                                       | 48        |
| 4.2.2    | Déterminer la localisation d'une lésion dans le TC : la règle de 4.....                                   | 48        |
| 4.2.3    | Syndrome alterne .....                                                                                    | 52        |
| 4.2.4    | Le syndrome de Wallenberg (syndrome médullaire dorsolatéral) : .....                                      | 54        |
| 4.2.5    | Le syndrome de Claude Bernard Horner : .....                                                              | 56        |
| <b>5</b> | <b><i>Lexique.....</i></b>                                                                                | <b>57</b> |
| <b>6</b> | <b><i>Références bibliographiques principales .....</i></b>                                               | <b>57</b> |

# 1 Le tronc cérébral

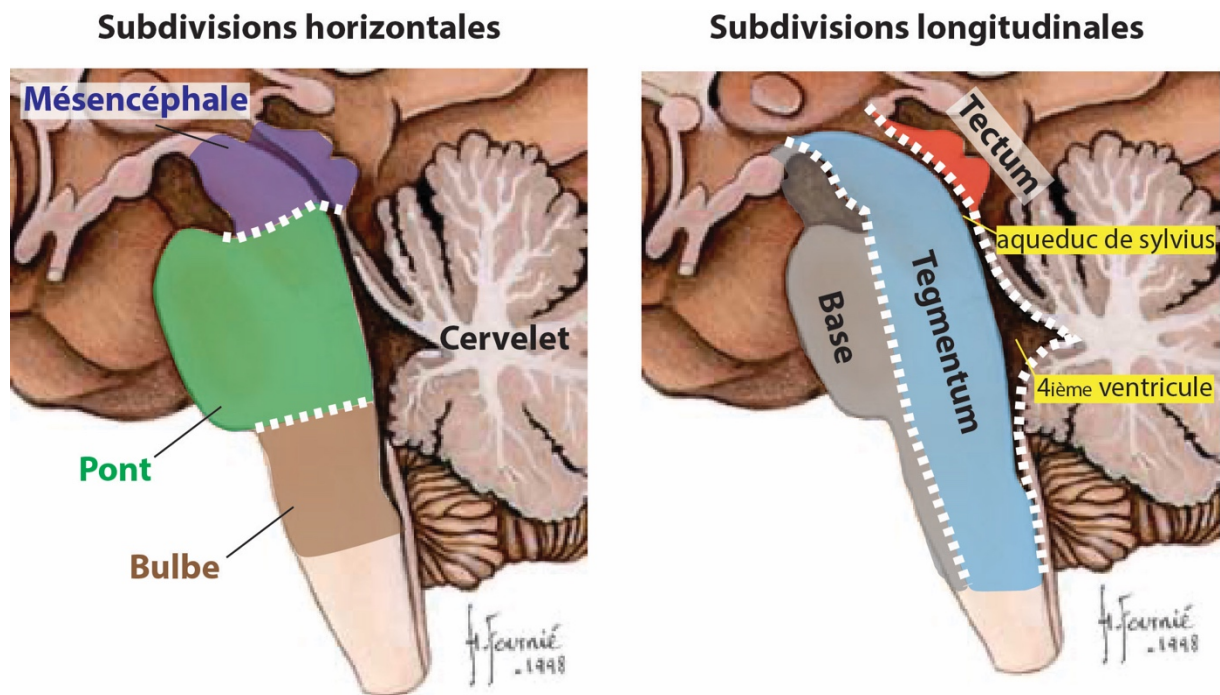
## 1.1 Principales caractéristiques

- Le tronc cérébral est la partie la plus caudale et la portion phylogénétiquement la plus ancienne de l'encéphale.
- Il est situé dans la **fosse crânienne postérieure** (Fig. 1)
- On distingue horizontalement **3 subdivisions** : le mésencéphale, le bulbe et le pont (Fig. 2)
- Il peut être subdivisé longitudinalement en **4 zones (sous-compartiments)** : la base, le tegmentum, l'espace liquidien (Aqueduc de Sylvius et 4<sup>ème</sup> ventricule) et le tectum (point 1.2 et Fig.2)
- Tous **les nerfs crâniens** à l'exception du I (nerf olfactif) et du II (nerf optique) sortent du tronc cérébral et leur(s) noyau(x) se trouvent dans le tegmentum.
- En plus de ses connections propres avec les autres régions du SNC, le tronc cérébral est également traversé par toutes les grandes voies ascendantes (sensitives) et descendantes (motrices) qui relient le cortex et le thalamus à la moelle épinière (**« voies longues »**).
- Du fait de la forte concentration de noyaux de nerfs crâniens et du passage de ces voies ascendantes et descendantes, une lésion au niveau du tronc cérébral peut entraîner des signes cliniques variés et sévères.
- Le **syndrome alterne** est un signe commun de lésion du tronc cérébral ; des signes d'atteinte d'un ou plusieurs nerfs crâniens du côté de la lésion, et de l'autre côté de la lésion des signes d'atteinte d'une ou plusieurs voies longues.
- Le tronc cérébral contient la formation réticulée qui abrite entre autres des centres autonomes de régulation de l'activité cardiaque, circulatoire et respiratoire, ainsi que du cycle veille-sommeil. Les lésions du tronc cérébral peuvent ainsi conduire à un **état de conscience altéré (coma)** et à des **dysfonctions viscérales**.
- Le tronc cérébral est relié au cervelet par 3 paires de pédoncules cérébelleux (substance blanche) qui servent à véhiculer des informations entre le cervelet et les autres parties du cerveau. Une lésion du tronc cérébral peut ainsi entraîner **une ataxie** (trouble de la coordination des mouvements).  
(Voir APP 6).



**Fig. 1 :** Le Tronc cérébral dans la fosse postérieure. From Neurosci.Unige

## 1.2 Subdivisions



**Fig. 2 :** Subdivisions horizontales (d'après les vésicules embryonnaires) et longitudinales (ventro-dorsales) du tronc cérébral en coupe sagittale. Remarquez que le tectum (« toit ») est surtout notable au niveau mésencéphalique. *De Neurosci. Unige.*

### 1.2.1 Base :

Contient les faisceaux corticaux moteurs descendants : corticopontiques, corticobulbaires (ou corticonucléaires, c-à-d du cortex aux noyaux des nerfs crâniens) et corticospinaux (voir APP 2)

- **Au niveau mésencéphalique** : faisceaux corticopontiques, corticobulbaires et corticospinaux, formant ensemble les **péduncules cérébraux**.
- **Au niveau pontique** : faisceaux corticopontiques, corticobulbaires et corticospinaux ainsi que les noyaux pontiques (leur présence explique que la base est la plus large à ce niveau).
- **Au niveau bulbaire** : contient essentiellement les fibres corticospinales qui forment les pyramides et les fibres corticobulbaires pour les noyaux des nerfs crâniens les plus caudaux.

### 1.2.2 Tegmentum :

Matière grise et blanche entre la base et la zone des espaces liquidiens (aqueduc de Sylvius et 4<sup>ème</sup> ventricule)

Contient :

- Tous les noyaux des nerfs crâniens III à XII
- Les voies sensorielles ascendantes (pour le tronc cérébral et le thalamus)
- La formation réticulée
- Les structures associées au cervelet

- Les voies motrices descendantes originaires des centres moteurs du tronc cérébral

### 1.2.3 Tectum :

Forme le « toit » des espaces liquidiens, dorsalement à l'aqueduc de Sylvius et au 4<sup>e</sup> ventricule

- **Au niveau mésencéphalique** : collicules supérieurs et inférieurs
- **Au niveau pontique** : voile médullaire supérieur (substance blanche et glie)
- **Au niveau bulbaire** : voile médullaire inférieur (substance blanche et glie)

NB : Le tectum ne comporte pas de noyaux de nerfs crâniens ni de formation réticulée et de voies sensorielles ou motrices longues.

## 1.3 Anatomie de surface du tronc cérébral et émergence des nerfs crâniens

Le NC I se rattache au télencéphale, alors que le NC II se connecte au diencephale. Les NC III à XII émergent ensuite successivement de haut en bas de la face ventrale du tronc cérébral (sauf le IV qui sort dorsalement). L'anatomie de surface du tronc cérébral permettant de localiser les niveaux d'émergence des NC (illustrée en figure 3 et 4) sera étudiée en détail au cours des séances de travaux pratiques.

### Face ventrale du tronc cérébral

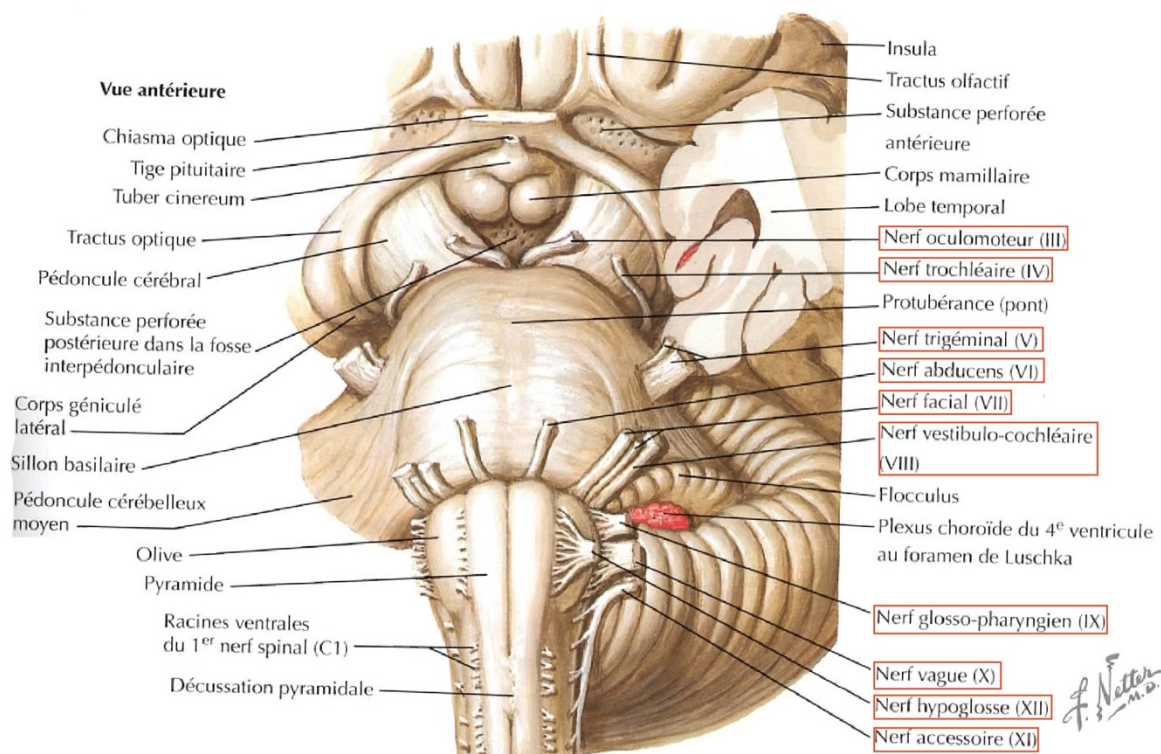
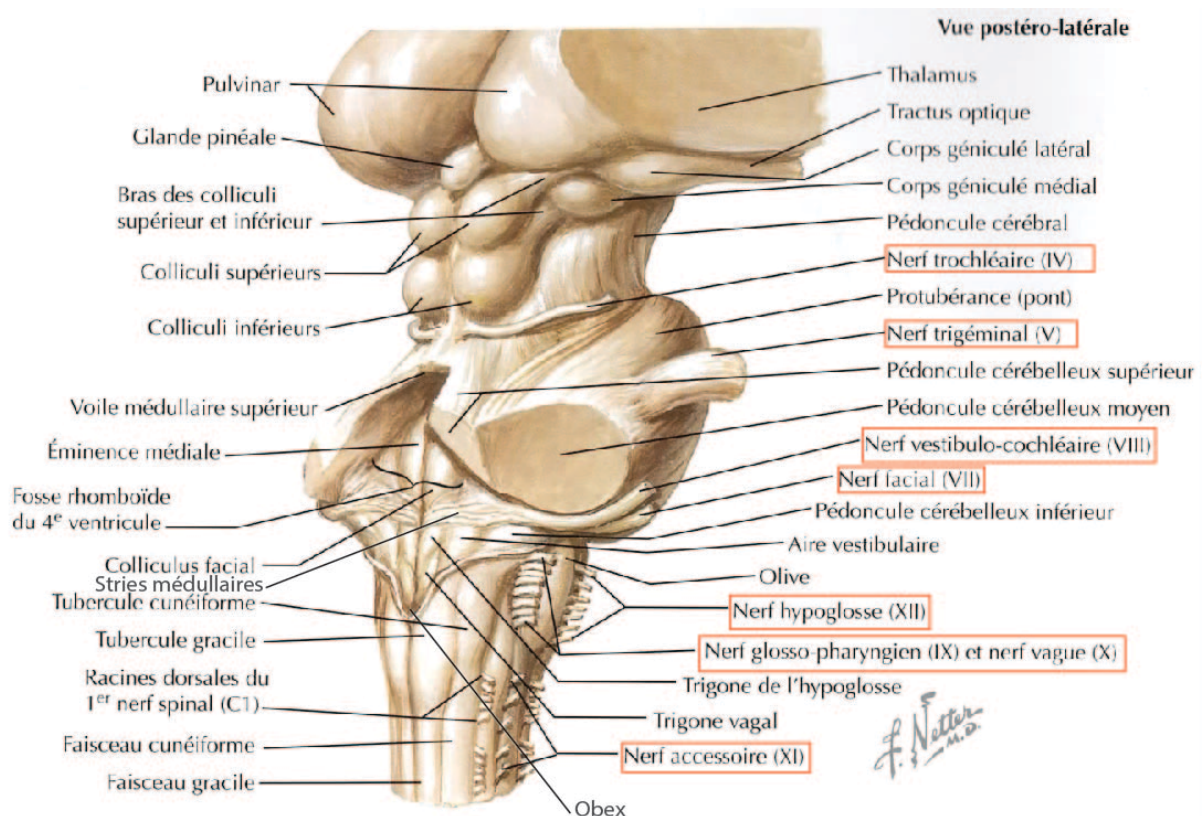


Fig. 3 : Adaptée de *Atlas de Neuroanatomie, Netter 2ed*

## Face dorsale du tronc cérébral



**Fig. 4 :** Le cervelet a été retiré sur le schéma afin de mieux distinguer la face dorsale, faisant apparaître le plancher du 4<sup>ème</sup> ventricule. Adapté de Atlas de Neuroanatomie, Netter 2ed

### 1.3.1 Mésencéphale

Le mésencéphale est oblique en haut et en avant et représente le segment le plus court du tronc cérébral, environ 2 cm de long. La face dorsale est marquée par 4 protubérances (corpus quadrigemina) : 1) les 2 collicules supérieurs qui agissent dans l'attention visuelle, le suivi d'objets en mouvement et certains réflexes; 2) les 2 collicules inférieurs qui reçoivent les signaux de l'oreille interne et les relaient vers d'autres parties du cerveau. Sur la face ventrale, le mésencéphale présente deux volumineuses colonnes de fibres descendantes : les pédoncules cérébraux ou crus cérébri. Entre les deux pédoncules cérébraux, on trouve un espace triangulaire appelé espace perforé postérieur répondant à la citerne interpédonculaire.

### 1.3.2 Pont (pons, protubérance annulaire)

Le pont se trouve entre le mésencéphale et le bulbe. Comme le cervelet, il dérive du métencéphale. Il présente une partie ventrale, volumineuse (la base), traversée par de nombreuses fibres transversales (les fibres ponto-cérébelleuses) et descendantes (faisceaux moteurs en provenance du cortex). Le pont est limité en bas par le sillon medullo-pontique (ou ponto-médullaire) et en haut par le sillon ponto-mésencéphalique qui le sépare des pédoncules cérébraux. Il se prolonge latéralement et en arrière par les pédoncules cérébelleux moyens (brachium pontis) qui pénètrent dans le cervelet. Sa face antérieure présente sur la ligne médiane une dépression longitudinale appelée sillon basilaire et dans

lequel on trouve l'artère basilaire. Au niveau du tiers supérieur de la surface antéro-latérale du pont émergent les racines du nerf trijumeau (NC V). Sa face postérieure est formée par la toile choroïdienne du 4e ventricule et le voile médullaire supérieur.

### 1.3.3 Bulbe rachidien (moelle allongée)

Le bulbe rachidien, dérivé du myélencéphale, semble prolonger la moelle épinière. Il conserve la forme générale de cette dernière mais comme légèrement étirée (« allongée »). Sa limite inférieure correspond à la décussation pyramidale, juste au-dessus de l'émergence de la première racine cervicale. La limite supérieure du bulbe rachidien correspond au sillon médullo-pontique. Il se porte obliquement en haut et en avant.

On trouve sur sa **face antérieure** la fissure médiane ventrale (sillon médian antérieur) qui prolonge celle de la moelle. De chaque côté de la fissure, les pyramides bulbaires prolongent en haut les cordons antérieurs de la moelle. Dans la partie supérieure du bulbe, deux bourrelets ovoïdes verticaux, les olives inférieures (olives bulbaires) se placent en dehors des pyramides bulbaires. A ce niveau, le sillon latéral ventral se subdivise en sillons pré-olivaire et rétro-olivaire.

Le sillon médullo-pontique devient plus profond latéralement et forme la fossette latérale. Cette région est située au centre de l'angle pontocérébelleux.

Sur la face dorsale, le bulbe a un aspect en Y et comporte un segment médian dans la continuité de la moelle et deux bras orientés vers les hémisphères cérébelleux correspondants. L'angle de divergence des pédoncules cérébelleux inférieurs est marqué par un pont de substance grise, l'obex.

**La face dorsale** du bulbe peut être divisée en deux parties :

1) Caudalement, la partie inférieure, extra ventriculaire : on y retrouve la prolongation des cordons postérieurs de la moelle épinière et de ses sillons dorsaux. Un sillon médian postérieur : c'est la continuation du sillon médian postérieur de la moelle épinière. Il se prolonge jusqu'à l'obex du quatrième ventricule. Il sépare les cordons dorsaux gauches et droits et deux formations nucléaires : le tubercule gracile en dedans et le tubercule cunéiforme en dehors.

2) Rostralement, la partie supérieure, ventriculaire : les deux cordons postérieurs de la moelle allongée s'écartent l'un de l'autre et se continuent en formant les pédoncules cérébelleux inférieurs, unis par le voile médullaire, recouverts de la pie mère et la toile choroïde du 4e ventricule. Les pédoncules cérébelleux inférieurs délimitent un espace triangulaire à base supérieure : c'est la portion bulbaire de la cavité du 4ème ventricule.

**Émergence (origine apparente) des nerfs crâniens :**

- Télencéphale : I
- Diencephale : II
- Sillon rétro-olivaire : XI, X, IX
- Sillon pré-olivaire : XII
- Sillon médullo-pontique (médial), juste au-dessus de la pyramide bulbaire: VI
- Angle ponto-cérébelleux (sillon médullo-pontique latéral): VII, VIII.
- Pont, surface antéro-latérale : V
- Face postérieure du mésencéphale au-dessous du colliculus inférieur : IV, celui-ci contourne ensuite le pédoncule puis on le voit apparaître en face antérieure.
- Fosse inter pédonculaire : III

## 1.4 Composition du tronc cérébral

### 1.4.1 SUBSTANCE GRISE

#### 1.4.1.1 Les noyaux de nerfs crâniens du tronc cérébral

**Les catégories fonctionnelles des nerfs crâniens :** Les catégories fonctionnelles des fibres des nerfs crâniens comprennent les mêmes 4 catégories que les nerfs rachidiens (sensorielles et motrices pour les divisions somatique et autonome), auxquelles s'ajoutent 3 catégories supplémentaires qui innervent les organes sensoriels et la musculature striée de l'arc pharyngé dans la tête et la région cervicale. Autre différence majeure avec les nerfs rachidiens : les NC ne sont pas tous mixtes, ils ne comprennent pas tous des fibres sensorielles et des fibres motrices.

Parmi les 7 catégories de fibres des NC, on retrouve donc :

- Les 4 catégories identiques aux nerfs rachidiens :

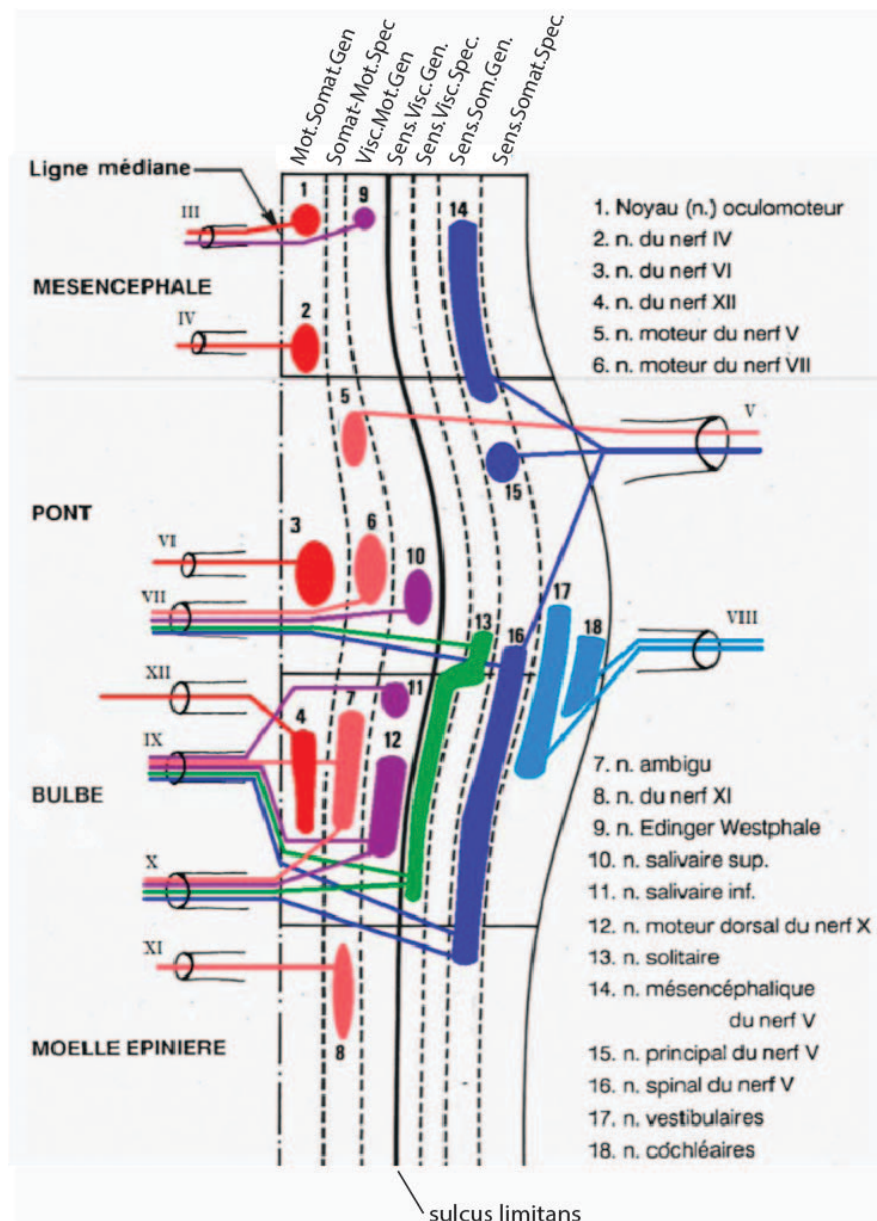
1. des fibres **efférentes somatomotrices : Motrices Somatiques Générales (MSG)** qui innervent les muscles striés, se développant à partir des somites.
2. des fibres **efférentes viscérales (autonomes) : Végétatives Motrices Générales (VMG, parasympathiques)** qui alimentent les muscles lisses ou les glandes.
3. des fibres **afférentes viscérales : Sensorielles Viscérales Générales (SVG)** qui médient les sensations viscérales et la chémoréception d'organes de la tête et du corps et contribuent à la régulation de la pression artérielle et d'autres fonctions corporelles.
4. des fibres **afférentes somatosensorielles : Sensorielles Somatiques Générales (SSG)** qui assurent les afférences tactiles, algésiques, de démangeaison, de température, ainsi que proprioceptives du corps.

- Les 3 catégories spécifiques des NCs :

5. des fibres **afférentes somatiques spéciales : Sensorielles Somatiques Spéciales (SSS)** qui innervent l'œil via le nerf II (vision) et la cochlée et le labyrinthe de l'oreille interne via le nerf VIII (audition et équilibre).
6. des fibres **afférentes viscérales spéciales : Sensorielles Viscérales Spéciales (SVS)** qui innervent les papilles gustatives et circulent dans les nerfs VII, IX et X.
7. des fibres **efférentes Somato-Motrices Spéciales (SMS), ou motrices branchiomériques**, qui innervent les muscles striés qui dérivent non des somites mais du mésoderme de l'arc pharyngé, via les nerfs VII, IX, X et XI.

## Les 7 colonnes de noyaux de nerfs crâniens du tronc cérébral :

A ces 7 catégories de fibres correspondent 7 colonnes de noyaux de NC. L'organisation de ces noyaux du tronc cérébral suit le même principe que celle de la moelle épinière. Les noyaux moteurs des nerfs crâniens correspondent à la corne antérieure de la moelle et contiennent des corps cellulaires de motoneurones tandis que les noyaux sensoriels représentent les sites de terminaison des fibres sensorielles et contiennent notamment les corps cellulaires de neurones de second ordre des voies sensorielles ; ils sont équivalents à la corne postérieure. Les noyaux des nerfs crâniens du tronc sont tous localisés dans le tegmentum et s'organisent en **7 colonnes** selon les catégories fonctionnelles discutées ci-dessus : 3 colonnes de noyaux moteurs médialement et 4 colonnes de noyaux sensoriels latéralement, séparées par le *sulcus limitans* (Fig.5). Notez que les colonnes des noyaux viscéraux sont situées entre les colonnes somatiques.



**Fig. 5 :** Schématisation des colonnes des noyaux de NC dans le tegmentum du tronc cérébral en vue dorsale, classées en 7 catégories fonctionnelles.

### 1.4.1.2 Autres noyaux importants du tronc cérébral

- **Prétectum** (mésencéphale)

Le prétectum est la région de transition entre le tronc cérébral et le diencephale et est située juste au niveau rostral du colliculus supérieur. Il contient plusieurs petits noyaux, notamment impliqués dans le réflexe pupillaire.

- **Tectum mésencéphalique : collicules supérieurs** (voir APP3, système oculomoteur) **et collicules inférieurs** (Voir APP 4, système auditif), région dorsale du mésencéphale.

- **Substance grise périaqueducale** (mésencéphale)

La substance grise périaqueducale entoure l'aqueduc de Sylvius, dorsalement aux noyaux des nerfs III et IV du tegmentum du mésencéphale. A l'interface entre le diencephale et tronc cérébral, elle reçoit des connexions des voies sensorielles ascendantes, essentiellement celles transmettant les stimuli douloureux (voie antérolatérale, tractus spinomésencéphalique, APP 1), ainsi que des voies limbiques descendantes (notamment en provenance de l'amygdale, voir APP 10). Fonctionnellement, la substance grise périaqueducale est impliquée dans le contrôle de la douleur, dans un large éventail de réponses comportementales, notamment émotionnelles et dans le contrôle du système autonome (régulation cardiovasculaire, vocalisation, miction, réactions de défense, comportement sexuel et maternel).

- **Substance noire** (mésencéphale)

La substance noire (substantia nigra) est située dans le mésencéphale ventral et constitue le tissu majeur entre les pédoncules cérébraux et les noyaux rouges. Vers l'âge de 15 à 18 ans, il devient fortement pigmenté en raison de la présence de neuromélanine, un produit métabolique de la dopamine. Elle contient une population mixte de neurones et se divise en deux parties : la pars compacta dont les neurones dopaminergiques projettent vers le striatum et la pars reticulata, située ventralement à la pars compacta, qui contient un groupe de neurones non pigmentés essentiellement GABAergiques projetant vers le thalamus et les collicules supérieurs. Ces deux noyaux interviennent dans le contrôle moteur, bien que de manières très différentes, comme nous le verrons dans l'APP7.

- **Noyau rouge** (mésencéphale)

Noyau le plus volumineux du mésencéphale, il est traversé par les faisceaux des pédoncules cérébelleux supérieurs (ou brachium conjonctivum), dont certains axones se terminent dans ce noyau, tandis que d'autres atteignent les noyaux antérieurs du thalamus (voir APP 6). Les racines du nerf oculomoteur en route vers la fosse interpédonculaire traversent aussi le noyau rouge, sans y faire de synapse. Au sein du noyau rouge, une partie magnocellulaire caudale peut être différenciée d'une partie parvocellulaire. Le noyau rouge reçoit ses principales afférences du cortex cérébral et du cervelet et envoie des axones efférents à l'olive inférieure (depuis la partie parvocellulaire) et à la moelle épinière (depuis la partie magnocellulaire), formant ainsi le tractus rubrospinal (APP 2).

- **Les noyaux parabrachiaux** (pont, mésencéphale)

De chaque côté du pont supérieur et du mésencéphale, le complexe des noyaux parabrachiaux médial et latéral entoure le pédoncule cérébelleux supérieur (aussi appelé brachium conjonctivum, d'où le

nom de ces noyaux) et est subdivisé en plusieurs sous-noyaux. Ils reçoivent de multiples afférences sensorielles viscérales depuis le noyau solitaire et son tractus et projettent en direction du thalamus, de l'hypothalamus, d'autres noyaux du tronc cérébral et de la moelle épinière. En plus de leur fonction de relais des informations gustatives, les noyaux parabrachiaux agissent comme centre d'intégration pour la régulation de diverses fonctions en liaison avec le système nerveux autonome mais également avec le système limbique, telles que le contrôle du niveau d'éveil, la thermorégulation, le taux de glucose, la douleur et le plaisir.

- **Noyaux pontiques (pont)**

Les noyaux pontiques sont organisés en îlots neuronaux disséminés dans la base du pont et séparés par le passage des nombreuses fibres du tractus cortico-spinal. Les fibres corticopontiques, qui circulent dans les pédoncules cérébraux en entourant médialement et latéralement les tractus corticospinal et corticonucléaire dans chaque pédoncule, se terminent sur ces noyaux pontiques où elles font synapse. Conservant la même topographie que leurs afférences, la majorité des axones efférents des noyaux pontiques (90 % chez le singe) passent du côté controlatéral et voyagent dans le pédoncule cérébelleux moyen avant d'atteindre les noyaux et le cortex cérébelleux médial sous forme de fibres moussues (voir APP 6).

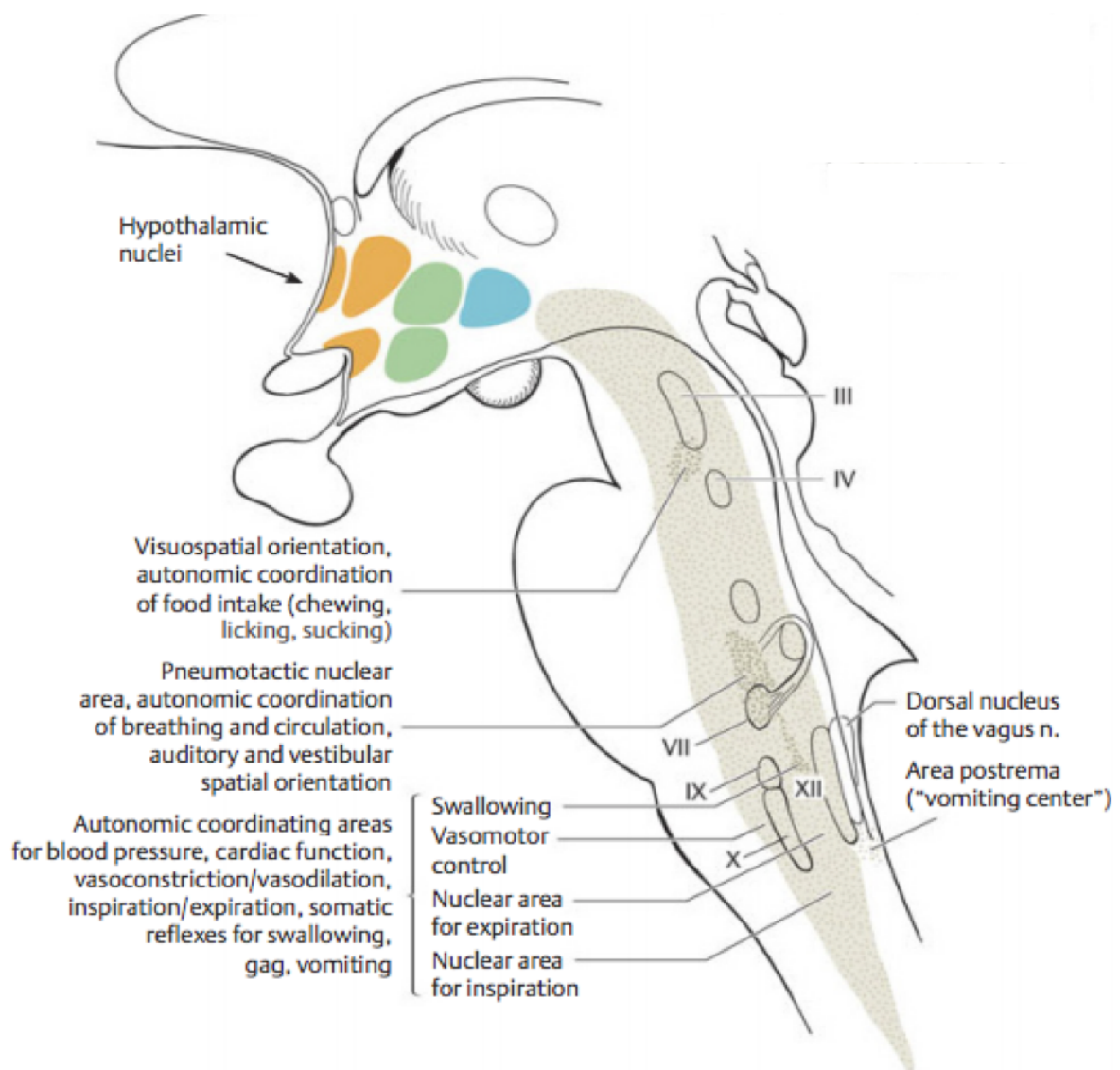
- **Olive inférieure (bulbe)**

Le complexe nucléaire de l'olive inférieure se trouve bilatéralement dans la partie ventrale du bulbe dans une position latérale par rapport aux pyramides. L'olive inférieure projette sur le cervelet via le tractus olivocérébelleux qui traverse la ligne médiane, passe dans le pédoncule cérébelleux inférieur et se projette sous forme de fibres grimpantes vers les noyaux cérébelleux et le cortex cérébelleux. L'olive inférieure, seule source des fibres grimpantes, module l'activité de la fonction cérébelleuse de coordination des mouvements volontaires précis (voir APP 6). Les principales afférences de l'olive inférieure émergent du noyau rouge, du prétectum et du colliculus supérieur.

- **La formation réticulée (mésencéphale, pont, bulbe)**

La « formation réticulée » (ou formation réticulaire, FR) désigne un réseau plus ou moins dense d'amas de neurones qui forment les centres régulateurs de nombreuses fonctions vitales (activité cardiaque, circulatoire, respiratoire) et qui interviennent de manière cruciale dans la régulation du niveau de conscience et du cycle veille-sommeil (surtout pour la partie mésencéphalique de la formation réticulée) ainsi que dans certains mouvements.

Ces amas cellulaires et leurs réseaux de fibres s'étalent sur toute la longueur du tronc cérébral et « remplissent », tel un filet (reticulum en latin), les espaces entre les noyaux de nerfs crâniens, les olives et les voies ascendantes et descendantes (Fig.6). La FR reçoit des afférences multiples de la moelle épinière, des noyaux des nerfs crâniens, du cervelet et des hémisphères cérébraux et projette des efférences sur toutes ces différentes structures.



**Fig. 6 :** Formation réticulée (gris foncé) et quelques-uns de ses centres principaux pour la régulation du système autonome. Les positions de certains noyaux de nerfs crâniens et de l'area postrema sont illustrées. (Duus'topical Diagnosis in Neurology (chap.4))

### La formation réticulée contient 3 principaux sous-systèmes majeurs :

- **Le système réticulé activateur ascendant (SRAA ; ARAS : *Activating Reticular Ascending System* en anglais)** connecte le tronc cérébral au cortex. Il est composé de plusieurs noyaux de la FR situés dans le pont et le mésencéphale et projette vers les centres supérieurs, principalement via le thalamus et l'hypothalamus, pour activer de larges zones du cortex cérébral et assurer la régulation de l'éveil ainsi que des transitions veille-sommeil. En particulier, les neurones synthétisant la noradrénaline (locus coeruleus), la sérotonine (noyau du raphé), la dopamine (VTA) et l'acétylcholine (cellules de la FR pontique) sont impliqués dans le maintien de la conscience.
- **Le tractus réticulospinal descendant** (ventral et latéral) fait partie des voies motrices du tronc cérébral (voir APP2) et relie le tronc cérébral à la moelle épinière. Il intervient dans le maintien du tonus, de l'équilibre et de la posture, en particulier pendant les mouvements du corps, en modulant les motoneurones de la moelle épinière par l'intermédiaires des interneurones.
- **Les noyaux et voies autonomes de la formation réticulée.** Les noyaux de la FR impliqués dans la régulation des fonctions autonomes sont disséminés dans le pont et le bulbe et reçoivent des informations des nerfs crâniens, par exemple les informations du sinus carotidien via les nerf IX et X, et de l'hypothalamus. Ils envoient des projections vers les noyaux des nerfs crâniens et la moelle épinière. Ils interviennent notamment dans la régulation de la pression artérielle, du rythme cardiaque, de la respiration, de la salivation, de la déglutition (impliqués dans le réflexe pharyngé) et de la motilité gastro-intestinale.

**NB :** Il ne faut pas confondre les amas de neurones de la formation réticulée avec les noyaux des nerfs crâniens mais il faut savoir que ces centres régulateurs interviennent dans la régulation des fonctions décrites ci-dessus en modulant l'activité des nerfs crâniens via des connexions avec leurs noyaux.

#### 1.4.1.3 Un organe circumventriculaire : l'area postrema

**Le bulbe** abrite l'un des 8 huit organes circumventriculaires, que nous aborderons également dans l'APP6 :

**L'area postrema.** Immédiatement rostrale à l'obex, elle apparaît comme un renflement apparié de chaque côté du plancher du quatrième ventricule. Les organes circumventriculaires se caractérisent par leurs contacts étroits avec les espaces sanguins et le liquide céphalo-rachidien. Leur barrière hématoencéphalique très perméable rend possible les échanges avec le compartiment vasculaire et donc leurs fonctions chémo-sensorielle et sécrétoire. Ils possèdent un épendyme modifié, un réseau glial prononcé et une vascularisation dense avec de larges espaces périvasculaires et des capillaires sanguins fenestrés qui provoquent l'ouverture de la barrière hémato-encéphalique à ces endroits. Les neurones des organes circumventriculaires sont donc capables d'accéder aux médiateurs humoraux circulants dans le sang.

L'area postrema sert de déclencheur chimique pour le réflexe de vomissement. Les fibres nerveuses efférentes issues de l'area postrema se terminent dans le noyau vagal moteur dorsal voisin et le noyau du tractus solitaire, dans les neurones noradrénergiques de la moelle ventrolatérale caudale, le noyau

ambigu, les noyaux parabrachiaux, ainsi que dans les noyaux cérébelleux (noyaux fastigii). La majorité de ces connexions sont réciproques ; des afférences supplémentaires à l'area postrema proviennent de l'hypothalamus.

### 1.4.2 Substance Blanche : synthèse sur les grandes voies traversant le tronc cérébral

Toutes les informations provenant du corps et rejoignant le cerveau antérieur ou le cervelet (et vice-versa) passent par le tronc cérébral.

- **Voies descendantes**

Parmi les voies descendantes, on retrouve (pour une description détaillée de ces voies, voir les autres APP) :

- Voies corticospinales : cf APP2
- Voies corticobulbaires: cf APP2
- Faisceau longitudinal médial (FLM) qui s'étend de l'extrémité rostrale de la formation réticulaire à la moelle épinière. Il contient des fibres fortement myélinisées du noyau interstitiel rostral du faisceau longitudinal médial, du noyau interstitiel de Cajal, ainsi que des noyaux oculomoteurs et vestibulaires, qui forment d'importantes connexions ascendantes et descendantes pour la coordination des mouvements oculaires.

**NOTE CLINIQUE : L'atteinte du FLM cause une ophtalmoplégie internucléaire, détaillée dans l'APP4.**

- Voies corticopontiques, très développées chez l'homme. Les fibres corticopontiques proviennent à la fois des zones motrices et non motrices et se terminent dans les noyaux de la base pontique. Les neurones des noyaux pontiques, à leur tour, envoient leurs fibres via le pédoncule cérébelleux moyen vers le côté controlatéral, mais avec des collatérales faisant également saillie vers le côté ipsilatéral. La fonction de ce système ponto-cérébelleux consiste à contrôler les processus moteurs (voir APP6).
- Voie rubrospinale (APP2)
- Voie tectospinale (APP2)
- Voie vestibulospinale (APP2)
- Voie hypothalamospinale : fibres descendantes du système sympathique qui traversent le tegmentum dans le quadrant dorsolatéral du tronc (cf. Symptômes du syndrome de Horner lors de l'AVC de la fossette latérale du bulbe).

- **Voies ascendantes**

- Systèmes lemniscaux (APP 1)
- Tractus spinothalamique (APP 1)
- Voies spinocérébelleuses (APP 6)
- Voies auditives (APP 4)

- **Voies cérébelleuses (APP 6)**

- **Le pédoncule cérébelleux supérieur (brachium conjunctivum)** est la voie de sortie des informations des noyaux cérébelleux vers le thalamus et le noyau rouge. Seul le tractus spinocérébelleux antérieur utilise le pédoncule cérébelleux supérieur comme voie d'entrée vers le cervelet.
- **Le pédoncule cérébelleux inférieur (corps restiforme)** contient des fibres réciproques vestibulo-cérébelleuses et réticulo-cérébelleuses, des fibres spinocérébelleuses, et les fibres grimpantes issues de l'olive inférieure.
- **Le pédoncule cérébelleux moyen (brachium pontis)** est formé par les fibres moussues ponto-cérébelleuses.

Nous étudierons ces voies plus en détails dans l'APP 6.

Le **tableau 2** résume les niveaux de décussation des principales voies traversant le tronc cérébral :

| Voie                                           | Niveau de décussation                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Spinothalamique (système antérolatéral)</b> | <b>Moëlle épinière</b> , via la commissure blanche ventrale (1-2 segments au-dessus du niveau de l'entrée du neurone de 1 <sup>er</sup> ordre, voir <b>syndrome de Brown-Séquard</b> )                                              |
| <b>Lemniscate (colonnes dorsales)</b>          | <b>Bulbe</b> (les axones des neurones des noyaux graciles et cunéiformes décussent en bas du bulbe, en montant vers le thalamus)                                                                                                    |
| <b>Corticospinale (latérale)</b>               | <b>Transition bulbe-moëlle épinière</b> (décussation des pyramides)                                                                                                                                                                 |
| <b>Corticobulbaire (=corticonucléaire)</b>     | <b>Tronc cérébral</b> (Certains noyaux moteurs de NC reçoivent une innervation bilatérale, d'autres seulement controlatérale)                                                                                                       |
| <b>Composante motrice d'un nerf crânien</b>    | Pas de décussation <b>HORMIS pour le NC IV</b> (voir TP de neuroanatomie)                                                                                                                                                           |
| <b>Trigémino-thalamique</b>                    | Les afférences thermoalgésiques des NC (V, VII, IX et X) rejoignent le noyau trigéminal spinal ipsilatéral. De là, les neurones de 2 <sup>ème</sup> ordre décussent et projettent sur le thalamus controlatéral.                    |
| <b>Lemnisque trigéminal</b>                    | Les afférences mécanocéptives non douloureuses des NC (V, VII, IX et X) rejoignent le noyau trigéminal principal dans le pont. De là, les neurones de 2 <sup>ème</sup> ordre décussent et projettent sur le thalamus controlatéral. |
| <b>Voie viscérosensitive</b>                   | Les afférences viscérosensitives (IX et X) rejoignent la portion caudale du noyau solitaire. De là, des                                                                                                                             |

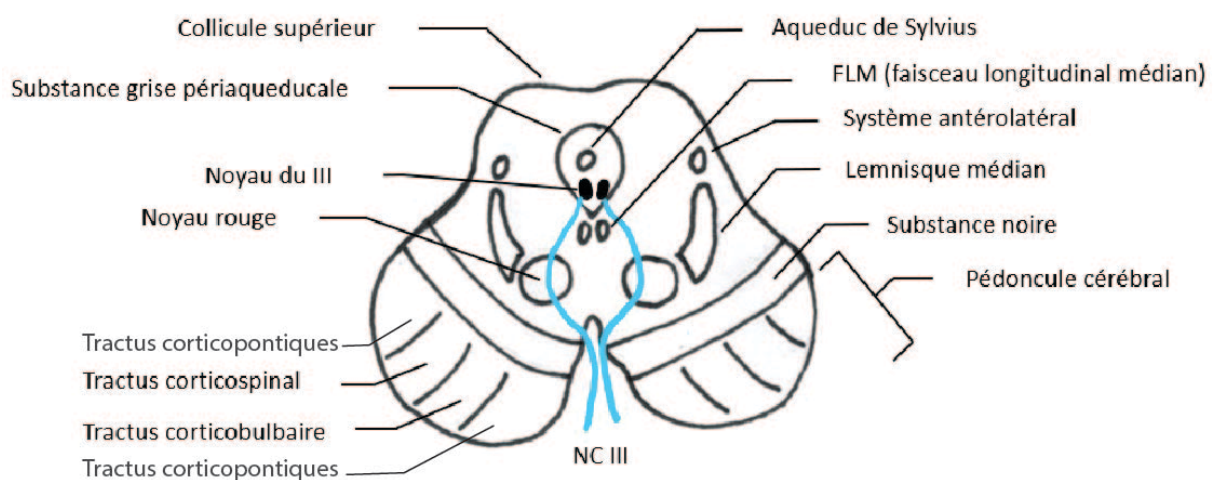
|                                               |                                                                             |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                                               | neurones projettent sur le thalamus, leurs axones <u>ne décussent pas</u> . |
| <b>Composante sensitive d'un nerf crânien</b> | Pas de décussation                                                          |

## 1.5 Coupes transversales « génériques » du tronc cérébral

Le contenu détaillé des différentes sections du tronc cérébral sera abordé dans le TP de neuroanatomie correspondant. Pour l'heure, il s'agit d'acquérir les bases pour déterminer rapidement à quelle hauteur du tronc cérébral se situe une coupe transversale donnée et les structures principales qu'on peut y retrouver.

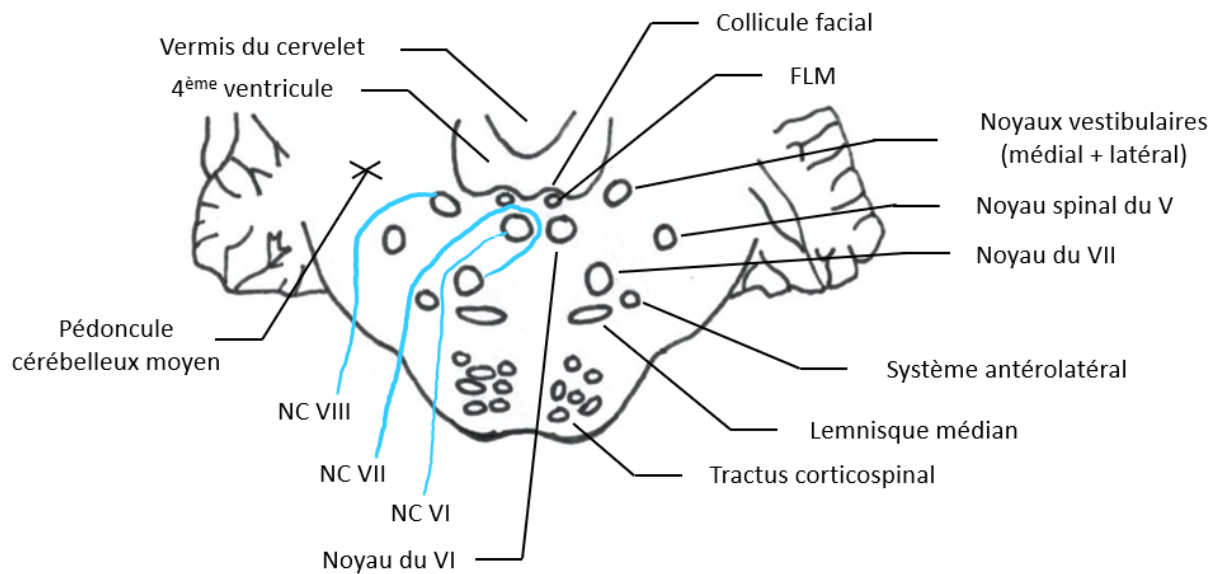
**NB :** Comme vous le verrez dans le TP de neuroanatomie sur les nerfs crâniens, si une section du tronc cérébral (coupe IRM, CT, histologique, etc.) est effectuée de manière oblique (et non pas parfaitement transversale), il peut être possible d'observer sur la même coupe des éléments provenant de différentes subdivisions horizontales du tronc cérébral (mésencéphale, pont, bulbe), en particulier pour les coupes réalisées dans les zones de transition entre ces subdivisions.

### Mésencéphale :



**Fig.7 :** Schéma d'une coupe transversale du mésencéphale et de ses principales structures. From Neurosci.Unige

### Pont :

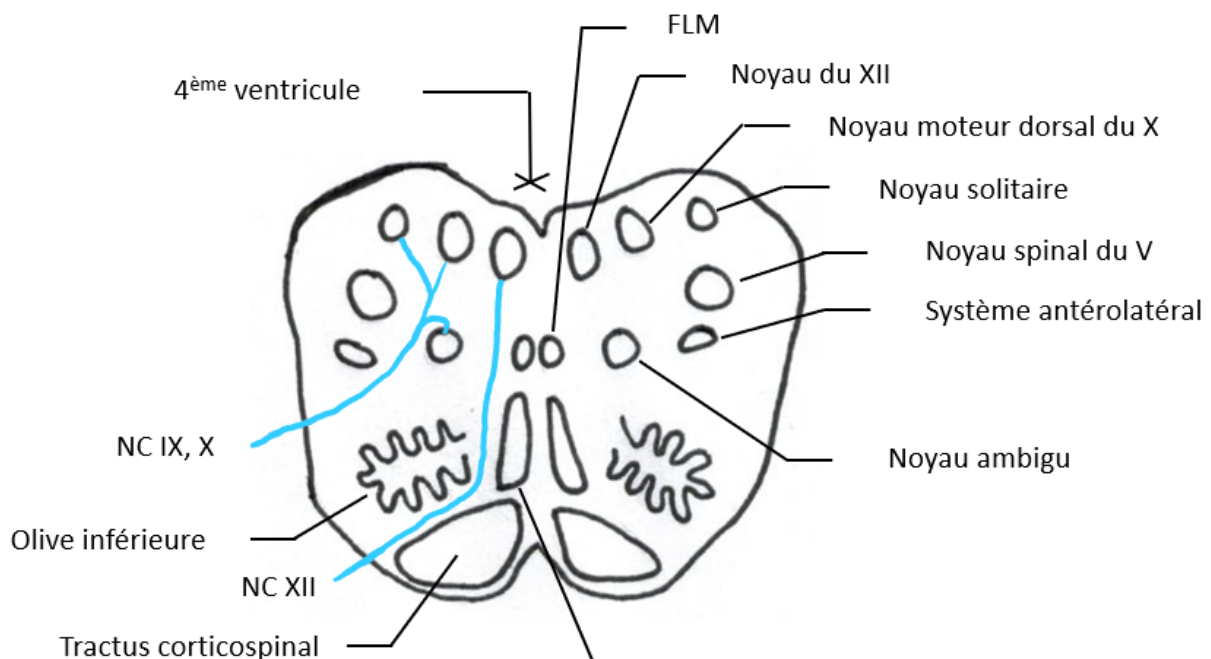


**Fig. 8 :** Schéma d'une coupe transversale du pont et de ses principales structures. From Neurosci.Unige

Notez que le 4<sup>ème</sup> ventricule est visible dorsalement sur les coupes transversales du pont ainsi que sur les coupes passant par le bulbe rostral.

### Bulbe :

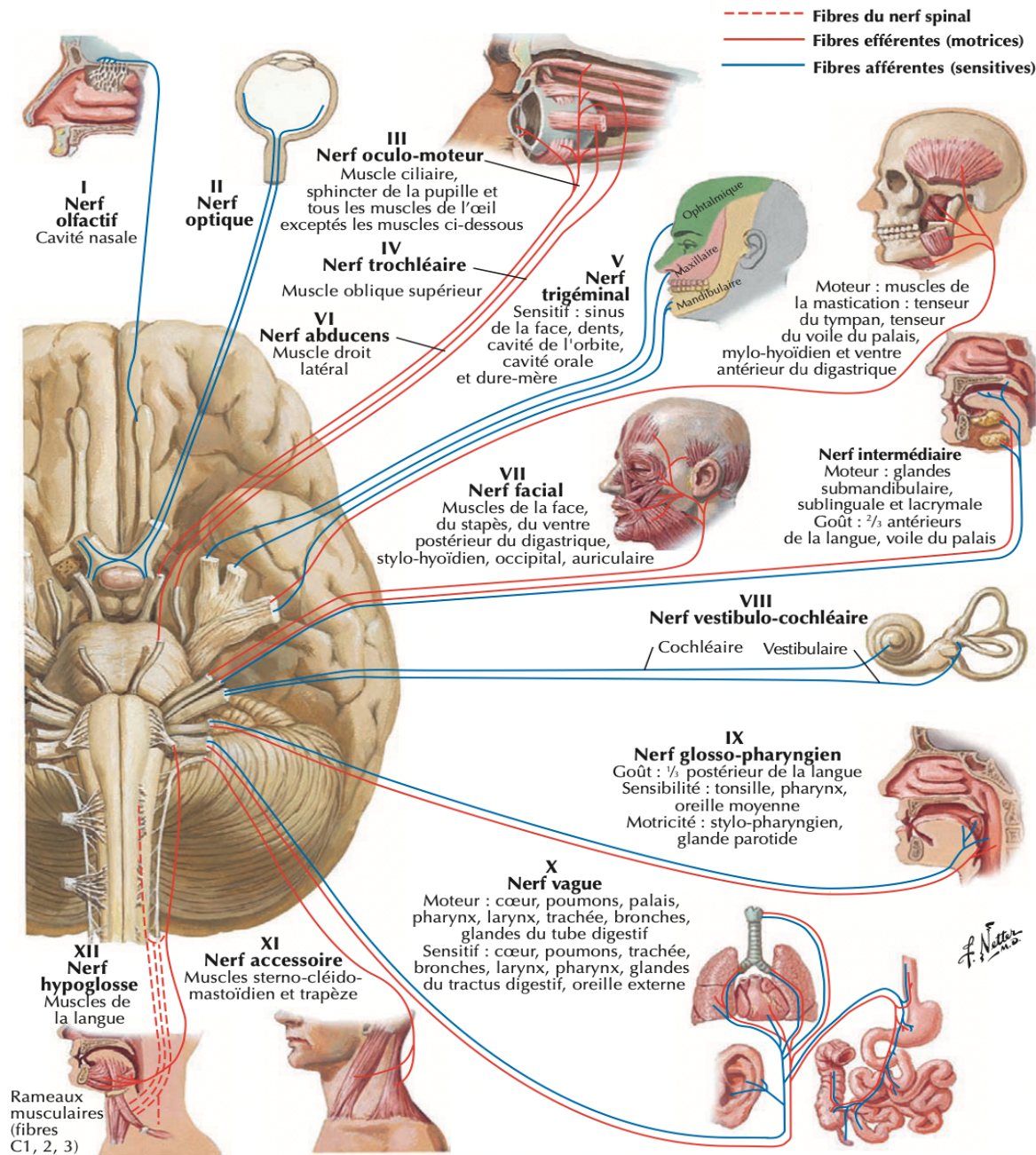
Le bulbe est facilement reconnaissable par la présence des noyaux olivaires inférieurs.



**Fig. 9 :** Schéma d'une coupe transversale du pont et de ses principales structures. From Neurosci.Unige

## 2 Les nerfs crâniens

L'anatomie détaillée des nerfs crâniens sera abordée dans le TP3 de neuroanatomie. Dans ce cahier, nous allons nous concentrer sur leurs fonctions et dysfonctions possibles.



**Fig. 10 : Les 12 NCs et leurs fonctions. In Netter 7<sup>e</sup> édition**

Rappelons qu'il existe 12 paires de nerfs crâniens, dont 10 sont reliés au tronc cérébral, les NC III à XII, le NC I étant directement relié aux hémisphères cérébraux et le NC II au thalamus. Les noyaux des NC sont sensoriel ou moteur ; en fonction des noyaux auxquels ils sont connectés, les NC seront soit moteurs, soit sensitifs soit mixtes.

## 2.1 Classification fonctionnelle : NC moteurs, sensoriels et mixtes

| Purement sensoriels      |                  |                   |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| NC                       | Fibres nerveuses | Fonctions         |
| I Olfactif               | SVS              | Olfaction         |
| II Optique               | SSS              | Vision            |
| VIII Vestibulocochléaire | SSS              | Ouïe et équilibre |

| Purement moteurs |                  |                                                                                                                  |
|------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NC               | Fibres nerveuses | Fonctions                                                                                                        |
| III Oculomoteur  | MSG              | Mouvement des yeux (contrôle de tous les muscles extraoculaires, hormis l'oblique supérieur et le droit latéral) |
|                  | VMG              | Parasympathique : constriction pupillaire (muscle sphincter pupillaire) et accommodation (muscle ciliaire)       |
| IV Trochléaire   | MSG              | Mouvement des yeux (muscle oblique supérieur)                                                                    |
| VI Abducens      | MSG              | Mouvement des yeux (muscle droit latéral)                                                                        |
| XI Accessoire    | SMS              | Mouvement de la tête et des épaules (muscles sternocléidomastoïdiens et trapèzes) par la branche spinale         |
|                  | SMS              | Phonation (muscles du palais mou, pharynx, larynx) par la branche crânienne (=branche aberrante du vague)        |
| XII Hypoglosse   | MSG              | Mouvements de la langue                                                                                          |

| Mixtes        |                  |                                                                                                                                                |
|---------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NC            | Fibres nerveuses | Fonctions                                                                                                                                      |
| V Trijumeau   | SSG              | Sensations du scalp, 2/3 antérieurs de la dure mère, cornée, conjonctive, face, sinus paranasaux, dents, gencives, 2/3 antérieurs de la langue |
|               | SMS              | Mastication (muscles temporaux, masséter, ptérygoïdes médians et latéraux)                                                                     |
| VII           |                  |                                                                                                                                                |
| Facial        | SMS              | Expressions faciales (muscles de la mimique, peaucier du cou, ventre postérieur du digastrique, stylohyoïdien)                                 |
| Intermédiaire | SVS              | Goût 2/3 antérieurs de la langue                                                                                                               |
| Intermédiaire | SVG              | Sensations viscérales de l'oreille moyenne, cavité nasale et palais mou                                                                        |
| Intermédiaire | SSG              |                                                                                                                                                |

|                   |     |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Intermédiaire     | VMG | Sensations générales du méat auditif externe et d'une zone derrière l'oreille<br><br>Parasympathique : lacrymation (glandes lacrymales), sécrétions muqueuses (glandes nasales et palatines), salivation (glandes sous-mandibulaires et sous-linguales) |
| IX Glossopharyngé | SVS | Goût 1/3 postérieur de la langue                                                                                                                                                                                                                        |
|                   | SVG | Sensations viscérales de l'oreille moyenne, pharynx, langue et glomus carotidien                                                                                                                                                                        |
|                   | SSG | Sensations générales du 1/3 postérieur de la langue, palais mou, pharynx supérieur, conduit auditif                                                                                                                                                     |
|                   | VMG | Parasympathique : salivation (glande parotide)                                                                                                                                                                                                          |
|                   | SMS | Déglutition (muscles stylopharyngiens et constricteurs du pharynx)                                                                                                                                                                                      |
| X Vague           | SVS | Goût épiglote                                                                                                                                                                                                                                           |
|                   | SVG | Sensations viscérales du thorax et des viscères abdominales, ainsi que du corps carotidien                                                                                                                                                              |
|                   | SSG | Sensations générales d'une zone derrière l'oreille, méat acoustique externe, partie postérieure des méninges (compartiment sous-tentorial)                                                                                                              |
|                   | VMG | Parasympathique : sécrétions de glandes, régulation cardiovasculaire et trachéobronchopulmonaire, péristaltisme                                                                                                                                         |
|                   | SMS | Phonation (muscles du pharynx et du larynx)                                                                                                                                                                                                             |

**Tableau 3** : Résumé des fonctions des NCs et des fibres associées

## 2.2 Les voies sensorielles en relation avec des nerfs crâniens

Comme pour les nerfs rachidiens, les voies sensitives (générales, viscérales et spéciales) passant par les NC du tronc cérébral sont généralement composées de 3 types de neurones sensoriels en série :

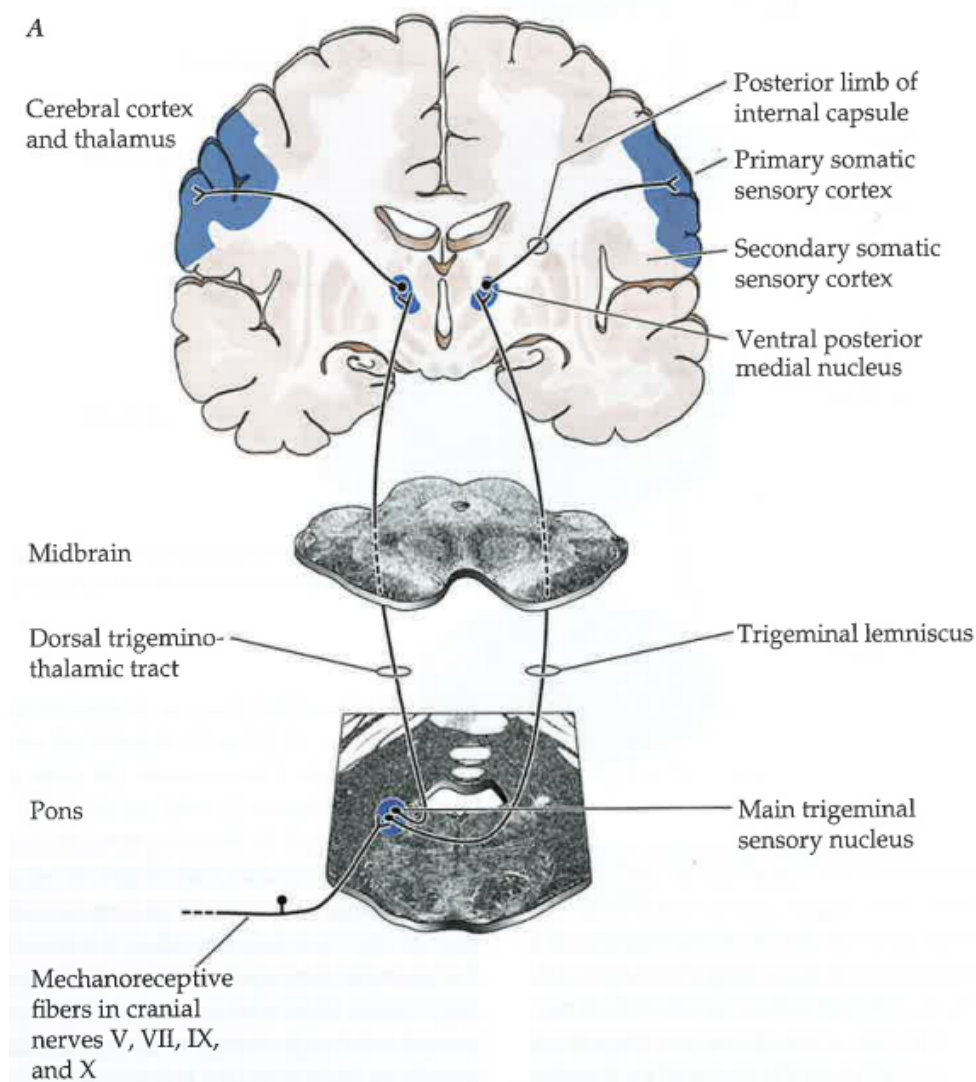
- Les **neurones sensoriels de 1<sup>er</sup> ordre** : possèdent habituellement leurs corps cellulaires dans un **ganglion sensoriel (en dehors du SNC)** et projettent sur les noyaux sensoriels de nerfs crâniens. Leurs axones forment donc les composantes sensorielles des NC.
- Les **neurones sensoriels de 2<sup>ème</sup> ordre** : possèdent leurs corps cellulaires dans le **tronc cérébral**, à l'intérieur d'un **noyau sensoriel de nerfs crâniens**. Dans leur majorité, leurs axones décussent (croisent la ligne médiane) avant de rejoindre le thalamus, mais certaines voies sont plus complexes, comme déjà décrit pour les voies auditives.

- Les **neurones sensoriels de 3<sup>ème</sup> ordre** : possèdent leurs corps cellulaires dans le **thalamus** et projettent sur un cortex sensoriel primaire.

Les composantes sensorielles d'un nerf crânien (hormis pour le NC I et le NC II) consistent donc en l'axone du neurone sensoriel de 1<sup>er</sup> ordre.

### Voie du lemnisque trigéminal : trajet de la voie de la sensibilité tactile

1. Les neurones sensitifs de 1<sup>er</sup> ordre assurant les afférences somatosensorielles (NC V, VII, IX et X) font synapse dans le **noyau trigéminé principal**.
2. Depuis le noyau trigéminé principal, les neurones sensitifs de 2<sup>ème</sup> ordre projettent sur le **noyau ventro-postéro-médian** du **thalamus**. Ces neurones décussent au niveau du pont.
3. Depuis le noyau **VPM** du **thalamus**, les neurones sensitifs de 3<sup>ème</sup> ordre projettent sur le **cortex somatosensoriel primaire** en passant par le bras postérieur de la capsule interne. Le **cortex somatosensoriel secondaire** et le **cortex pariétal postérieur** reçoivent la majorité de leurs afférences depuis le cortex somatosensoriel primaire.



**Fig. 11 : Voie pour la sensibilité tactile de la tête. In Martins (4th ed.)**

**NB :** La voie des informations proprioceptives de la mâchoire est différente. Les neurones sensitifs primaires possèdent leurs corps cellulaires directement dans le noyau mésencéphalique trigéminé et non dans un ganglion sensoriel périphérique comme pour les autres neurones somatosensoriels et projettent sur le noyau trigéminé principal et le noyau trigéminé spinal. Les neurones sensitifs primaires projettent aussi sur le noyau trigéminé moteur qui médie le réflexe massétérein.

#### NOTE CLINIQUE :

Le réflexe massétérein ([https://youtu.be/zZFur6a\\_ba8](https://youtu.be/zZFur6a_ba8)) peut être augmenté en cas de lésion supranucléaire du faisceau cortico-pontique. En cas d'hyperréflexie des membres supérieurs, il est important de le tester pour situer le niveau de la lésion. Si l'hyperréflexie n'est pas présente au niveau massétérein, la lésion se situe distalement au noyau moteur du V. Ce réflexe est typiquement augmenté dans la sclérose latérale amyotrophique (SLA).

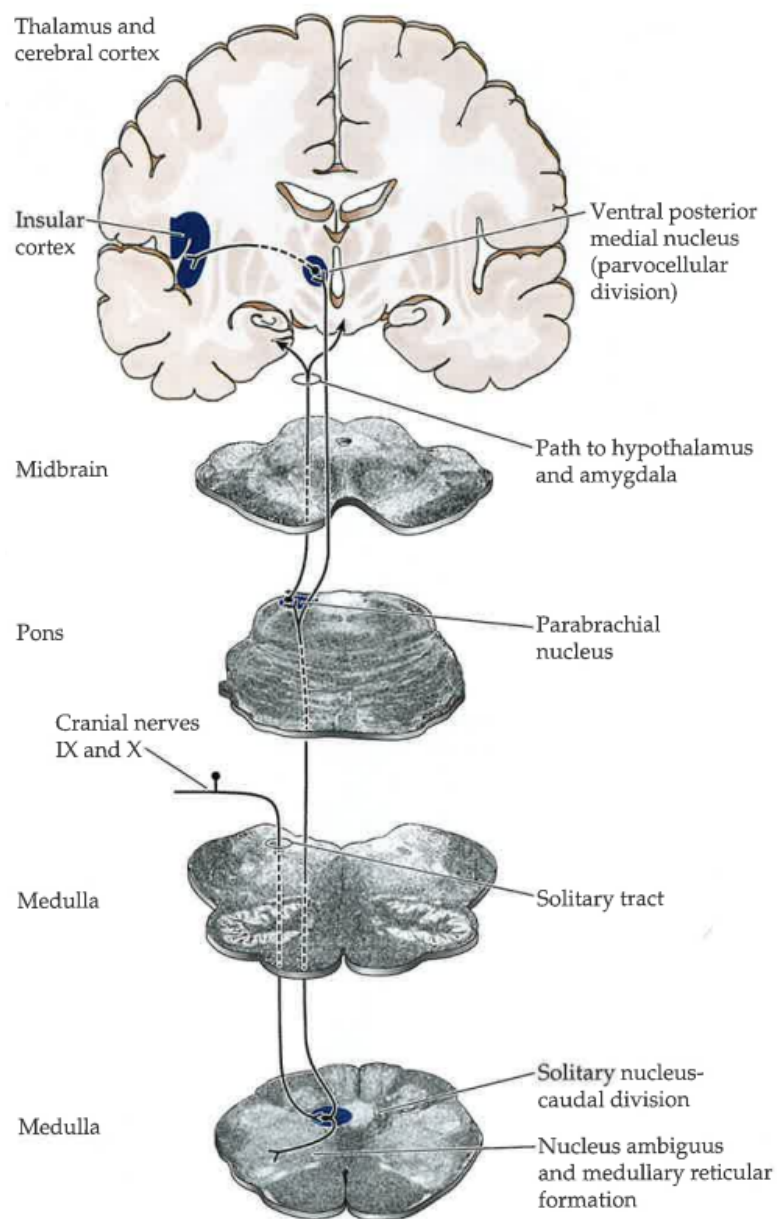
#### Voie trigémino-thalamique : trajet des afférences thermoalgésiques

1. Les neurones sensitifs de 1<sup>er</sup> ordre assurant les afférences thermoalgésiques et de démangeaisons (NC V, VII, IX et X) font synapse sur le **noyau trigéminé spinal** (3 parties : oral, interpolaire et caudal, situé essentiellement dans le bulbe et la partie caudale du pont, voir fig.12).
2. Les neurones sensitifs de 2<sup>ème</sup> ordre projettent depuis ce noyau sur les **noyaux VPM, ventro-médio-postérieur** et **dorsomédian** du **thalamus**. Leurs axones décussent dans le tronc cérébral.
3. Les neurones sensitifs de 3<sup>ème</sup> ordre du noyau **VPM** projettent sur le **cortex somatosensoriel primaire**, ceux du **VMP** projettent sur le **cortex insulaire** et ceux du **DM** sur le **gyrus cingulé antérieur**.



## Voie viscérosensorielle : trajet des afférences viscérosensorielles

1. Les neurones sensitifs primaires assurant les afférences viscérosensorielles (NC IX et X) projettent sur la **partie caudale du noyau solitaire**.
2. Les neurones sensitifs secondaire qui partent de ce noyau projettent sur différentes structures (sans décusser) :
  - Pour une prise de conscience des informations viscéro-sensorielles, telles que la sensation de ventre plein ou de nausée, il existe une projection ascendante vers le noyau **VPM**. De là, des neurones tertiaires projettent sur le **cortex insulaire**.
  - Les afférences nécessaires à divers réflexes ainsi qu'à la régulation de fonctions autonomes (comme la motilité gastrointestinale ou la régulation de la pression artérielle), rejoignent le **noyau parabrachial**, duquel des neurones tertiaires projettent ensuite sur **l'hypothalamus**, **l'amygdale** et le noyau **VPM**.



**Fig. 13 : Voies viscérosensorielles (In Martins (4th ed.))**

## 2.3 Les voies motrices en relation avec des nerfs crâniens

**Les voies motrices volontaires (somatiques et branchiomériques) sont composées de 2 types de motoneurones :**

- **Les motoneurones supérieurs** : leurs corps cellulaires sont localisés dans le **cortex moteur** et leurs axones projettent via le **tractus corticobulbaire** sur les noyaux moteurs de nerfs crâniens. La plupart des voies motrices (mais pas toutes) qui projettent sur le tronc cérébral le font de manière bilatérale (connexion avec des motoneurones inférieurs des deux côtés du tronc cérébral).
- **Les motoneurones inférieurs** : leurs corps cellulaires sont localisés dans les **noyaux moteurs de nerfs crâniens (ou la partie supérieure de la moelle épinière cervicale)**.

Les axones des motoneurones inférieurs forment la composante motrice des nerfs crâniens.

**Les voies motrices autonomes (sympathiques et parasympathiques) sont habituellement composées de 3 types de neurones :**

- **Les motoneurones supérieurs** : possèdent leurs corps cellulaires dans l'hypothalamus et projettent soit au niveau du tronc cérébral ou de la moelle sacrale (système parasympathique), soit au niveau de la moelle thoracique (système sympathique).
- **Les motoneurones préganglionnaires** : possèdent leurs corps cellulaires dans le tronc cérébral ou la moelle épinière et projettent sur des ganglions soit intramuraux (système parasympathique), soit paravertébraux ou prévertébraux (système sympathique).
- **Les motoneurones postganglionnaires** : possèdent leurs corps cellulaires dans un des types de ganglions précédemment mentionnés et projettent sur les structures et organes cibles.

## 2.4 Contrôle des noyaux moteurs de nerfs crâniens

Les noyaux des **colonnes motrices somatiques squelettiques** et **branchiomériques** qui innervent les muscles du visage, de la langue, de la mâchoire, du larynx et du pharynx sont contrôlés par les aires motrices corticales : le cortex moteur primaire, l'aire motrice supplémentaire, le cortex prémoteur et l'aire motrice cingulaire. Les représentations motrices crâniennes se projettent vers les différents noyaux moteurs du tronc cérébral par l'intermédiaire du **tractus corticobulbaire**.

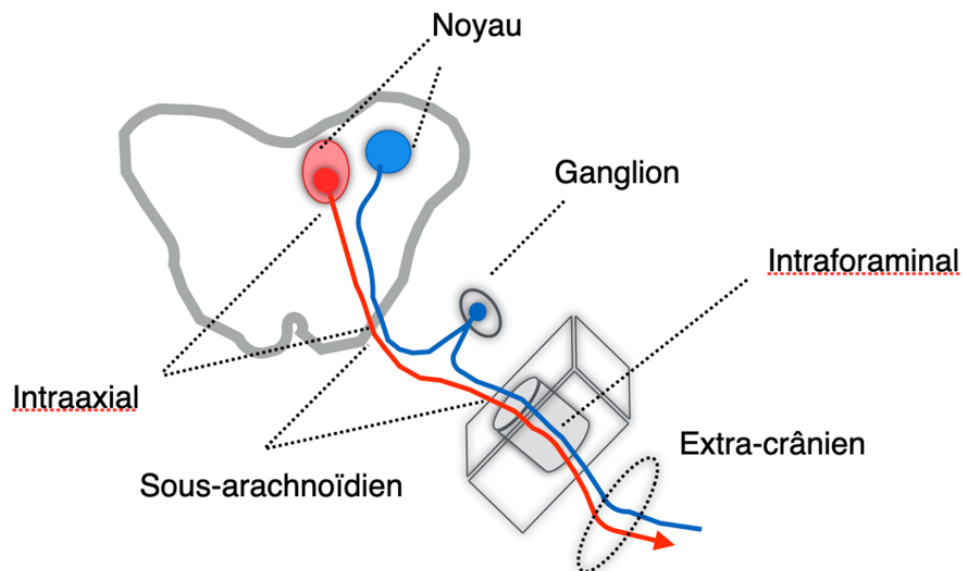
De toutes les aires motrices corticales, c'est le cortex moteur primaire qui fournit le plus grand nombre d'axones au tractus corticobulbaire. Les corps cellulaires de ces axones du cortex moteur primaire sont situés dans la couche V du cortex moteur primaire. Leurs axones passent par le genou de la capsule interne, à proximité mais en position plus rostrale que les fibres corticospinales. Leurs axones se terminent dans les noyaux moteurs de NC du tronc cérébral, de manière bilatérale dans presque tous les cas sauf pour la partie inférieure du noyau facial, dont les motoneurones innervent les muscles de la partie inférieure du visage et qui reçoivent des projections uniquement contralatérales depuis le cortex moteur primaire (voir Fig.21). Les croisements se font successivement lorsque les fibres quittent le tractus au niveau de chacun des noyaux. Les muscles innervés par les noyaux moteurs

V, partie supérieure du VII, IX, X, XI, XII, recevant des projections bilatérales du tractus corticobulbaire, ne s'affaiblissent pas après une lésion unilatérale du cortex moteur, de la capsule interne ou d'une autre partie de la voie corticobulbaire. La projection du côté intact est suffisante pour un contrôle quasi normal de la production de force. Ce n'est cependant pas le cas pour les muscles qui ne reçoivent qu'une projection controlatérale. Dans ces cas, la faiblesse révèle l'atteinte unilatérale. Cette relation entre la latéralité du contrôle cortical et la latéralité des signes moteurs après une atteinte unilatérale est similaire à celle du système corticospinal.

## 2.5 Rappels des symptômes associés à une lésion de motoneurones

| Motoneurone supérieur | Motoneurone inférieur              |
|-----------------------|------------------------------------|
| Parésie               | Parésie                            |
| Hypertonie spastique  | Hypotonie                          |
| Hyperréflexie         | Hyporéflexie                       |
|                       | Atrophie rapide du muscle concerné |
|                       | Fasciculations                     |

## 2.6 Localisation intra-axiale et extra-axiale des lésions impliquant les nerfs crâniens ou leur contrôle



**Fig. 14** : Les segments des nerfs crâniens  
From Neurosci.unige.

### Lésions intra-axiales : en central

- **Supranucléaire** : lésion d'une voie descendante vers un noyau de nerf crânien. Par exemple dans la SLA ou lors d'un AVC.
- **Nucléaire** : lésion du noyau d'un nerf crânien (III-XII). Par exemple lors d'un AVC.
- **Fasciculaire (axonale)** : lésion de fibres nerveuses partant d'un nerf crânien AVANT leur sortie du TC. Par exemple lors d'une maladie démyélinisante ou un AVC.

### Lésions extra-axiales : en périphérie

- **Sous-arachnoïdienne** : par exemple radiculite.
- **Intraforaminale** : par exemple traumatique ou tumorale compressive.
- **Extra-crânienne** : par exemple traumatique.

## 2.7 Fonctions et sémiologie des nerfs crâniens

### NC I : Nerf olfactif

#### Fonction:

Olfaction

#### L'essentiel de l'organisation neuronale

Les neurones olfactifs primaires (neurones bipolaires) sont situés dans l'épithélium olfactif et comportent des récepteurs aux molécules odorantes. Leurs axones traversent la lame criblée pour rejoindre le bulbe olfactif.

Au niveau du bulbe, les neurones olfactifs primaires font synapse sur des neurones secondaires. Ceux-ci projettent ensuite sur plusieurs régions cérébrales (cortex pyriforme, amygdale, tuber olfactif, voir plus de détails dans le TP de neuroanatomie).

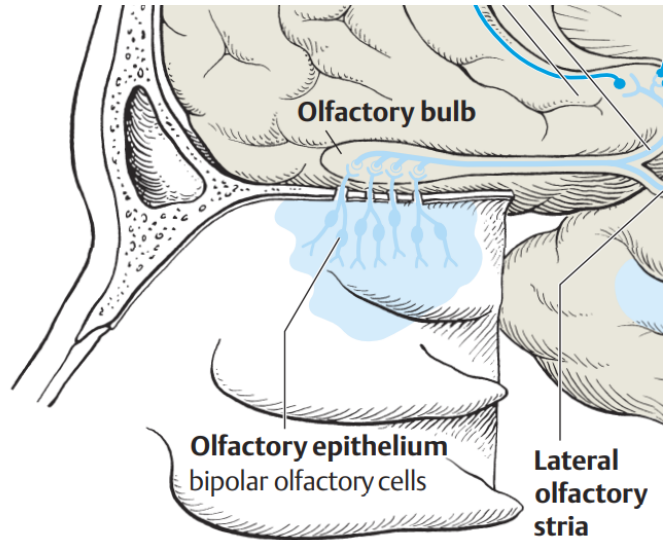


Figure 15 : Nerf olfactif  
*in Duus (4<sup>th</sup> ed.)*

#### Perturbations de l'olfaction

- **Quantitatives** : l'**hyposmie** (diminution de l'odorat) et l'**anosmie** (absence d'odorat) sont toujours dues soit à une atteinte périphérique du nerf olfactif, c'est-à-dire des neurones olfactifs primaires (par exemple, à cause d'une rhinite, d'un traumatisme ou d'effets secondaires de médicaments), soit à une atteinte centrale des seconds neurones dans le bulbe et/ou le tractus olfactif (le méningiome du sillon olfactif est une cause classique).
- **Qualitatives** : peuvent consister en une **cacosmie** désagréable (par exemple, une odeur fécale) ou en une **hyperosmie** (odeur anormalement intense). Ils sont généralement dus à un dysfonctionnement central, comme dans l'épilepsie du lobe temporal.

### NC II : Nerf optique

Voir l'APP3 sur le système visuel

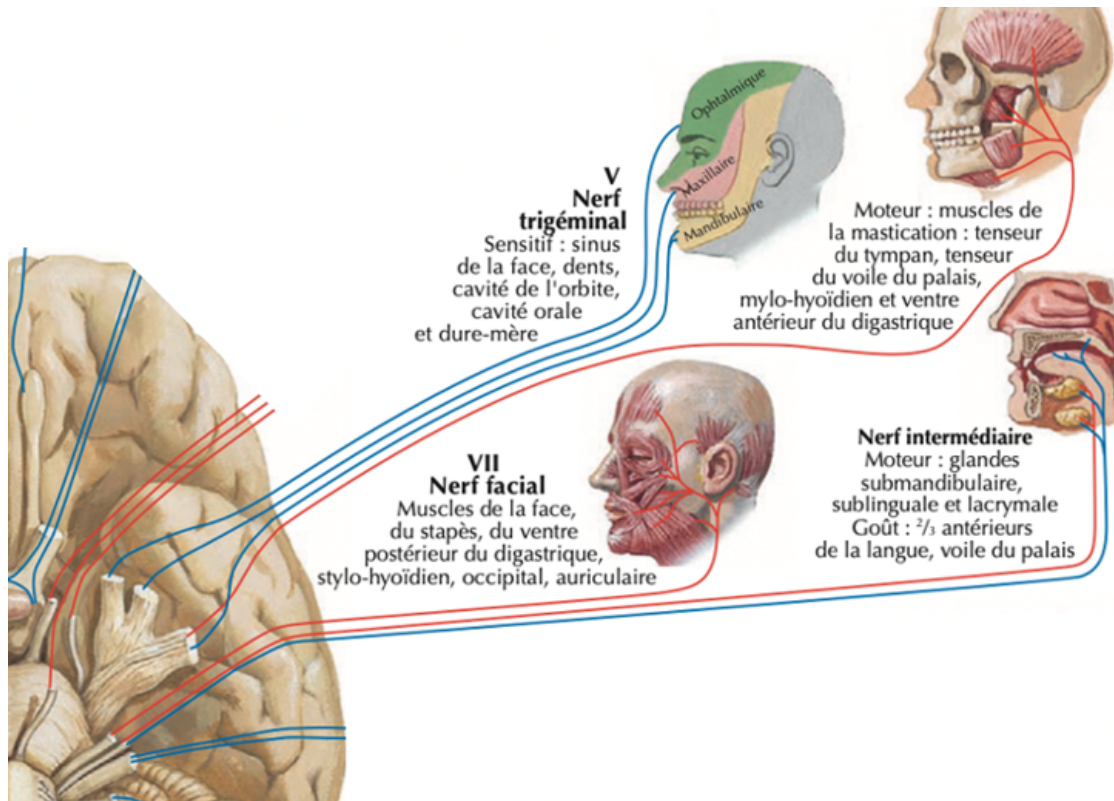
### NC III (oculomoteur), IV (trochléaire) et VI (abducens)

Voir l'APP3 sur le système oculomoteur

## NC V et VII : innervation motrice, sensitive et parasympathique de la face

Deux nerfs crâniens assurent la plus grande partie de l'innervation motrice, sensitive et parasympathique de la face :

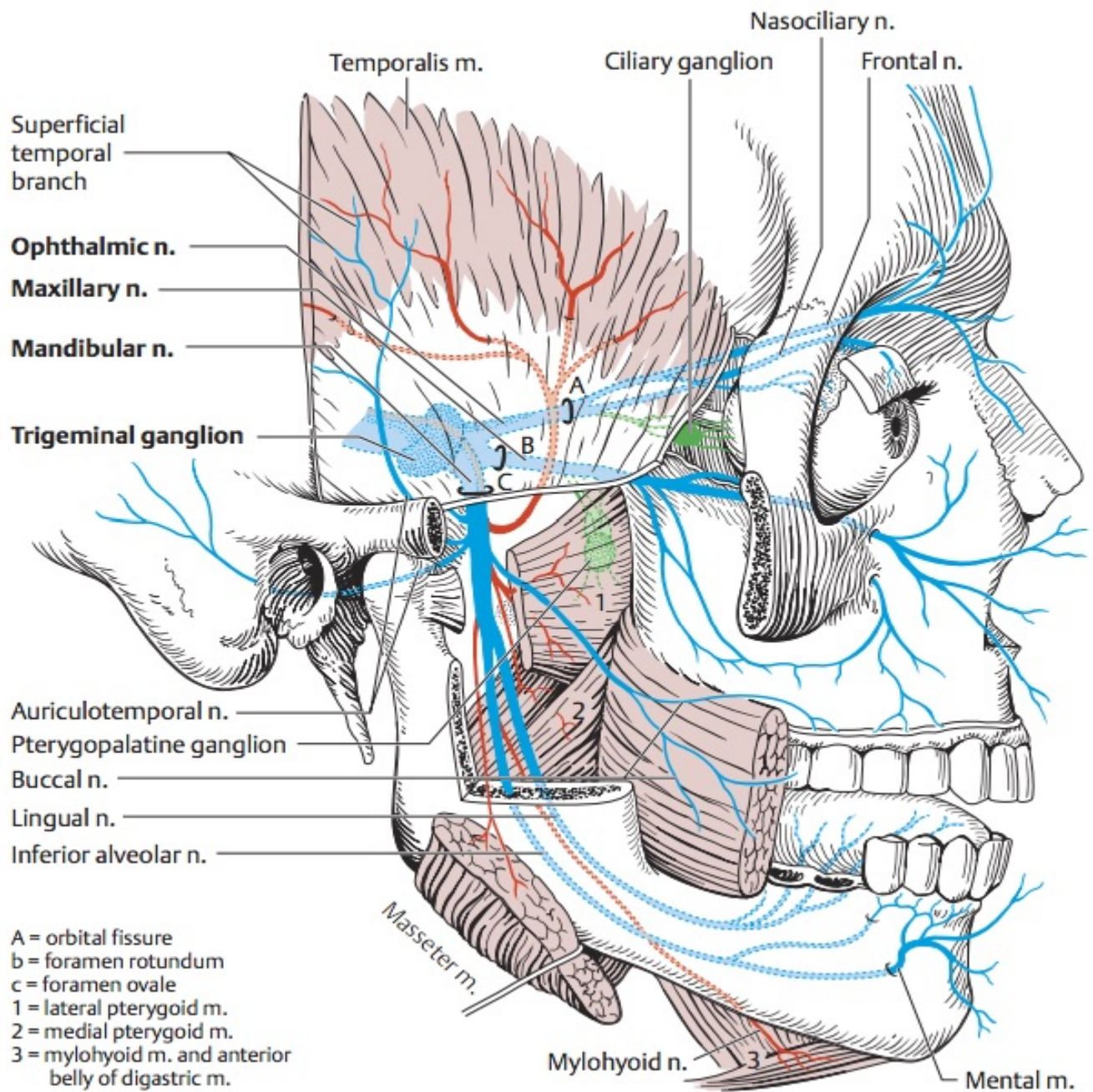
- Le nerf trijumeau (NC V), qui possède une composante plus importante (portion majeure) constituée de fibres sensorielles pour le visage, et une composante plus petite (portion mineure) constituée de fibres motrices pour les muscles de la mastication.
- Le nerf facial (NC VII), qui est principalement responsable de l'innervation motrice des muscles de la mimique, d'une grande partie du goût et de l'innervation des glandes.



**Fig. 16 : NC V et VII**  
Figure adaptée du Netter 7<sup>e</sup> édition

## NC V : Nerf trijumeau

Le nerf trijumeau possède 3 branches qui projettent vers les différentes zones du visage : le **nerf ophtalmique (V1)**, le **nerf maxillaire (V2)** et le **nerf mandibulaire (V3)**

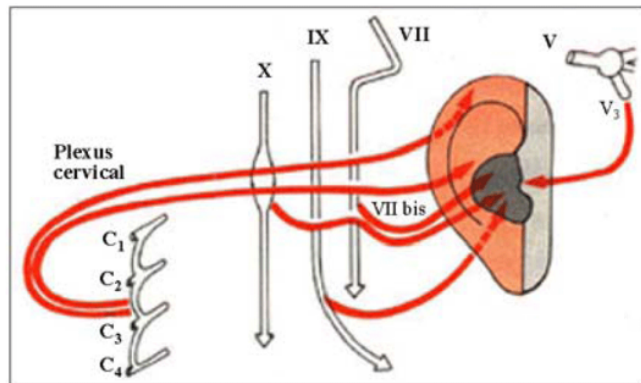


**Fig.17** : Les 3 branches du nerf V  
in Duus'topical Diagnosis in Neurology

## Fibres sensibles du nerf V

Le ganglion trigéminal (également appelé ganglion de Gasser) contient les corps cellulaires des neurones pseudo-unipolaires du nerf V, dont les processus périphériques se terminent par des récepteurs du toucher, de la pression, de la discrimination tactile, de la douleur et de la température, et dont les processus centraux se projettent vers le noyau sensoriel principal du nerf trijumeau (pour le toucher et la discrimination) et vers le noyau spinal du nerf trijumeau (pour la douleur et la température). Le noyau mésencéphalique du nerf trijumeau est particulier : il contient les corps cellulaires des neurones proprioceptifs de la mâchoire, en quelque sorte "déplacés" dans le tronc cérébral, au lieu de se trouver dans le ganglion avec les corps cellulaires des autres neurones sensoriels du nerf V.

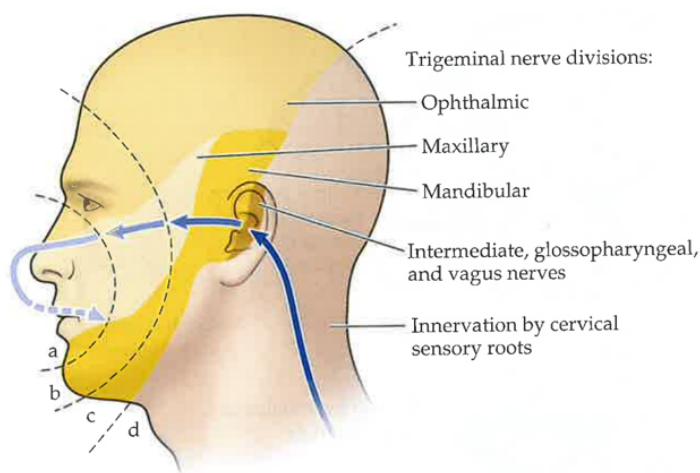
En plus de la peau de la face et d'une grande partie du scalp, les muqueuses de la bouche, du nez et des sinus paranasaux tirent également leur innervation somatosensorielle du nerf trijumeau, tout comme les dents et la majeure partie de la dure-mère (dans les fosses crâniennes antérieure et moyenne). A noter que si la partie antérieure du conduit auditif externe et une partie de la membrane tympanique sont innervées par le nerf trijumeau, la sensibilité somesthésiques des autres parties du conduit auditif et du tympan sont innervées par des branches des nerfs VII, IX et X (voir figures 18-19).



**Fig. 19** : Innervation sensitive de l'oreille externe.  
*From campus.cerimes.fr*

Les fibres somatosensorielles tactiles du trijumeau se terminent dans le noyau sensoriel principal du nerf trijumeau, qui est situé dans la partie dorsolatérale du pont (dans une position analogue à celle des noyaux de la colonne postérieure dans la moelle). Les axones des neurones de 2<sup>ème</sup> ordre décussent et montent dans le lemnisque médian (la partie du lemnisque médial qui contient les fibres

céphaliques est parfois appelée lemnisque trigéminal) jusqu'au noyau VPM du thalamus controlatéral. Les fibres servant à la sensation de douleur et de température se déplacent caudalement dans le tractus spinal du nerf trijumeau et se terminent dans le noyau spinal du nerf trijumeau, dont la partie la plus basse s'étend jusque dans la moelle épinière cervicale. Ce noyau est le prolongement supérieur de la corne postérieure des segments cervicaux supérieurs. Les neurones de 2<sup>ème</sup> ordre sortant du noyau spinal rejoignent également pour la plupart le thalamus controlatéral.



**Figure 18** : Dermatomes du nerfs V et innervation multiple de l'oreille externe (*In Martins (4th ed.)*)

**IMPORTANT:** Contrairement aux dermatomes spinaux (chevauchement important), les dermatomes trigéminaux se chevauchent très peu.

### **Fibres motrices du nerf V**

La portion mineure du nerf V (fibres motrices ; **SMS**) innerve les muscles masséter, temporal et ptérygoïdien médial et latéral, ainsi que le tenseur du voile du palais, le tenseur tympanique, le muscle mylohyoïdien et le ventre antérieur du muscle digastrique.

Les noyaux moteurs (et, à travers eux, les muscles de la mastication) sont sous l'influence de centres corticaux qui se projettent vers eux par l'intermédiaire du tractus corticobulbaire. Cette voie supranucléaire est principalement croisée, mais il existe également une importante projection ipsilatérale. Cela explique le fait qu'une interruption unilatérale de la voie supranucléaire du trijumeau n'entraîne pas de faiblesse notable des muscles de la mastication.

Les impulsions proprioceptives des muscles de la mastication et du palais dur sont transmises par le nerf mandibulaire (V3). Ces impulsions font partie d'un mécanisme de rétroaction pour le contrôle de la force de fermeture de la mâchoire.

### **Lésions du nerf trijumeau**

- **Lésion des fibres motrices :** faiblesse flasque du muscle de la mastication. L'interruption unilatérale de la voie corticobulbaire du trijumeau ne produit pas de faiblesse notable des muscles de la mastication grâce aux projections corticales bilatérales vers le noyau moteur du V.
- **Lésions des fibres somatosensorielles :**
  - Abolition du réflexe cornéen, des réflexes d'éternuement et d'aspiration.
  - **Névralgie du trijumeau idiopathique (aussi appelée essentielle) :** douleur faciale paroxystique lancinante ressemblant à un éclair (« tic douloureux ») liée le plus souvent à une compression du nerf (par un vaisseau sanguin, une tumeur, etc.)
  - **Névralgie du trijumeau symptomatique (aussi appelé secondaire) :** la cause la plus fréquente est la sclérose en plaques (démyélinisation des fibres nerveuses intra-axiale), les autres causes sont les lésions dentaires, les sinusites, les fractures osseuses et les tumeurs de l'angle ponto-cérébelleux, du nez ou de la bouche.

## NC VII : Nerf facial (moteur) et Nerf intermédiaire

Le nerf VII est composé du nerf facial proprement dit, ainsi que d'un nerf plus fin appelé le nerf intermédiaire.

### Fonction :

#### **Nerf facial (moteur) :**

- Contrôle des muscles de l'expression faciale, du muscle peaucier du cou, du stylohyoïdien, ainsi que du digastrique.

#### **NB :**

- Le noyau moteur du nerf facial participe à un certain nombre **d'arcs réflexes**, en particulier le **réflexe cornéen** et le **réflexe stapédien**.
- L'ouverture de l'œil (paupières) est principalement médiée par le NC III (muscle releveur de la paupière supérieure), alors que sa fermeture est assurée par le NC VII (muscle orbiculaire des paupières).

#### **Nerf intermédiaire :**

- Contrôle des glandes nasales et lacrymales, ainsi que des glandes sublinguales et sous-mandibulaires (parasymphatique).
- Perception du goût sur les 2/3 antérieurs de la langue.
- Afférences somatosensorielles de l'oreille externe, d'une portion du conduit auditif et de la surface externe de la membrane tympanique.

### Lésions motrices du VII et paralysie faciale

Les muscles du front reçoivent leur innervation supranucléaire des deux hémisphères cérébraux (Cf. Fig. 20), mais les muscles de la mimique de la partie inférieure du visage ne sont innervés que de manière unilatérale, principalement par le cortex précentral controlatéral (moteur primaire, M1).

- Si les voies **supranucléaires** descendantes sont interrompues d'un seul côté, par exemple par un infarctus cérébral, la paralysie faciale qui en résulte épargne les muscles du front : le patient peut encore lever les sourcils et fermer les yeux avec force. Ce type de paralysie faciale est appelé **paralysie faciale centrale**.
- En revanche, dans le cas d'une **lésion nucléaire** ou **périphérique**, tous les muscles de la mimique du côté de la lésion sont affaiblis. On peut donc distinguer la paralysie faciale centrale de la paralysie faciale nucléaire ou périphérique par leurs différentes apparences cliniques.

Remarques complémentaires : Les noyaux moteurs du nerf facial sont innervés non seulement par le cortex primaire mais aussi par le cortex cingulaire et l'hypothalamus, qui joue un rôle majeur dans les expressions faciales liées aux émotions. Les troubles de la mimique peuvent aussi avoir d'autres origines que des atteintes des voies supranucléaires ou périphériques. En effet, en cas de troubles des ganglions de la base, on peut observer une hypomimie ou une amimie (par exemple, dans la maladie de Parkinson) ou encore divers syndromes dyskinétiques affectant les muscles de l'expression faciale (Voir APP 6).

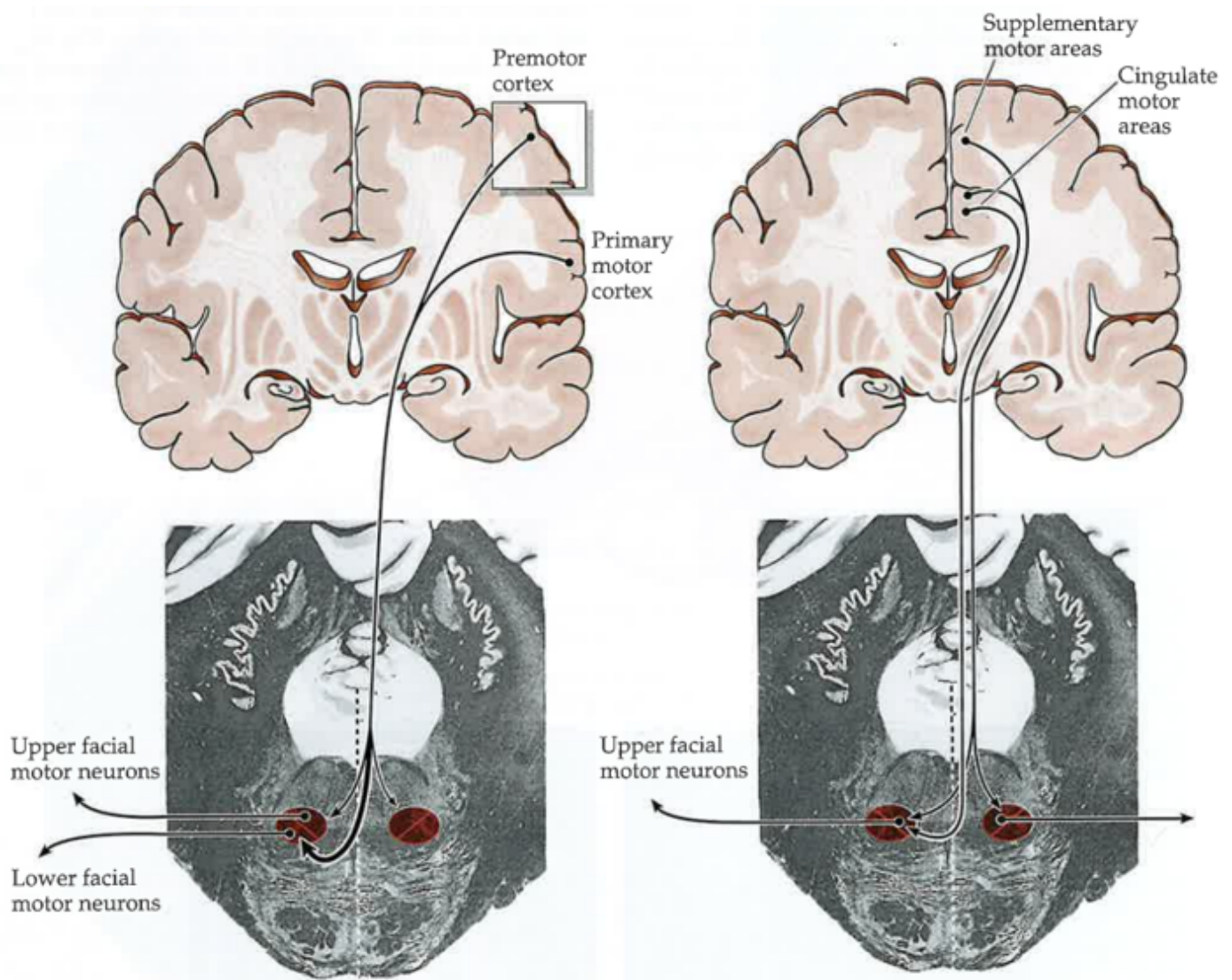


Figure 20 : Contrôle cortical des motoneurones inférieurs du noyau moteur facial.  
in Martins (4th ed., chap 11)

**Les motoneurones innervant la partie supérieure du visage reçoivent une innervation :**

- Bilatérale modérée du cortex moteur primaire et du cortex prémoteur
- Bilatérale du cortex cingulaire moteur et l'aire motrice supplémentaire

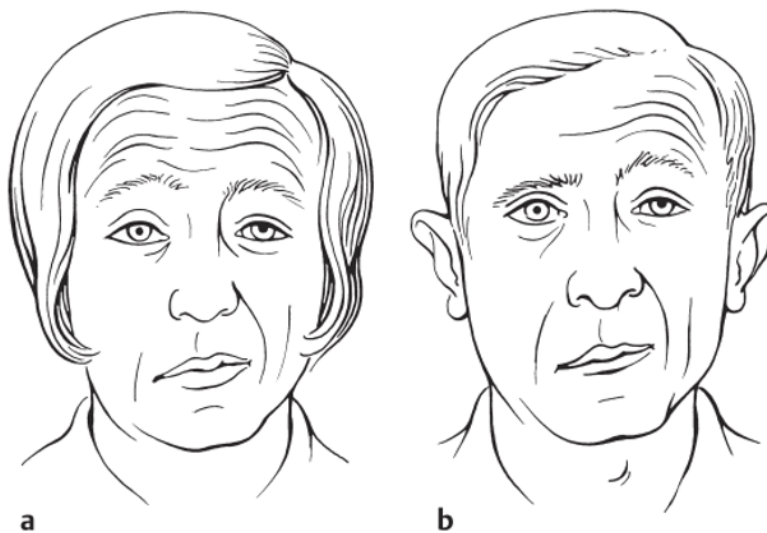
**Les motoneurones innervant la partie inférieure du visage reçoivent une innervation :**

- Controlatérale importante du cortex moteur primaire et du cortex prémoteur
- Controlatérale du cortex cingulaire et de l'aire motrice supplémentaire

Une lésion unilatérale du cortex moteur primaire, de la capsule interne ou des fibres corticales descendantes - qui est une lésion du motoneurone supérieur - produit des effets différents sur le contrôle volontaire des muscles faciaux supérieurs et inférieurs. Après une telle lésion centrale touchant le motoneurone supérieur, les muscles faciaux supérieurs conservent le contrôle volontaire. Un patient présentant une telle lésion peut froncer son front de manière symétrique. En revanche, les

muscles faciaux inférieurs controlatéraux au côté de la lésion s'affaiblissent. Cela se manifeste par une diminution du sillon nasogénien et par la chute du bas du visage du côté affecté. Un patient présentant une telle lésion, lorsqu'on lui demande de sourire, le fera de manière asymétrique. De façon surprenante, si le patient est amené à sourire de façon émotionnelle, par exemple en entendant une blague particulièrement drôle, il peut être capable de le faire de façon symétrique. Cette distinction implique un contrôle différentiel des muscles faciaux volontaires et émotionnels. Elle s'expliquerait par le fait que les motoneurones innervant la partie inférieure du visage reçoivent également une innervation du cortex cingulaire, non affecté dans la lésion du cortex M1, impliquée dans les expressions faciales liées aux émotions (Voir figure 21).

Une lésion du nerf facial ou de son noyau moteur entraîne une paralysie des muscles faciaux sur l'ensemble du visage ipsilatéral (paralysie ipsilatérale de toute l'hémiface) ; c'est un cas fréquent dans la paralysie de Bell (voir ci-dessous), atteinte idiopathique ou d'origine virale du nerf facial. Il s'agit d'une lésion ou d'une déficience motrice du motoneurone inférieur.



- a** Central facial palsy: the forehead muscles are not affected.
- b** Peripheral facial palsy: the forehead muscles are involved along with the rest of the face on the affected side.

**Fig.21** : Paralysie faciale centrale et périphérique  
Tirée du Duus (figure 4.34, p.170)

**NB** : Une atteinte du VII peut également affecter le réflexe stapédien, ce qui entraîne une hyperacousie. La salivation, le goût et la sécrétion lacrymale peuvent aussi être affectés.

### **Paralysie idiopathique du nerf facial (paralysie de Bell)**

Ce trouble est le plus courant affectant le nerf facial et se manifeste chez environ 25 personnes sur 100 000 par an. Sa cause est encore inconnue. Elle se caractérise par une parésie flasque de tous les muscles de l'expression faciale (y compris les muscles frontaux), ainsi que par d'autres manifestations dépendant du site de la lésion. Le diagnostic différentiel est important en cas de paralysie faciale d'apparition aiguë, car tous les cas ne sont pas idiopathiques : 10 % sont dus à un VZV (virus de la varicelle-zona) otique, 4 % à une otite moyenne et 2 % à des tumeurs de différents types (tumeurs parotidiennes, neurinome, etc.).

## NC VIII : Nerf vestibulocochléaire

Voir l'APP4 sur le système vestibulocochléaire

## Système vagal : Nerfs glossopharyngé (IX) et Vague (X)

Le nerf glossopharyngien partage tellement de fonctions avec le nerf vague (X), ainsi qu'avec le nerf intermédiaire du NC VII (et la partie crânienne du nerf accessoire, NC XI) qu'ils peuvent être décrits ensemble comme un seul "système vagal". Ces nerfs sont des nerfs mixtes (sensoriels et moteurs) et certains de leurs composants proviennent de noyaux communs du tronc cérébral (le noyau ambigu et le noyau solitaire).

### Fonctions :

- **IX :**
  - Contrôle des muscles stylopharyngés et pharyngés
  - Contrôle de la glande parotide (salivation, noyau salivaire inférieur, parasymphatique)
  - Goût (1/3 postérieur de la langue)
  - Afférences viscérosensorielles du 1/3 postérieur de la langue et du pharynx (intervient dans le réflexe pharyngé)
  - Afférences somatosensorielles de l'oreille moyenne et de la trompe d'eustache
- **X :**
  - Contrôle des muscles du pharynx et du larynx
  - Contrôle parasymphatique thoracique et des viscères abdominaux (noyau dorsal du vague)
  - Afférences sensorielles viscérales de la cavité abdominale
  - Goût (au niveau de l'épiglotte)
  - Afférences somatosensorielles du canal auditif et de la dure mère (fosse postérieure)

### Pathologies

#### **Lésion du IX :**

- **Les lésions isolées du nerf glossopharyngien sont rares ;** les nerf vague et accessoire sont généralement également impliqués.
- Les causes de lésions du nerf glossopharyngé comprennent la fracture basilaire du crâne, la thrombose du sinus sigmoïde, les tumeurs de la partie caudale de la fosse postérieure, les anévrismes des artères vertébrales ou basilaires, les lésions iatrogènes (causées, par exemple, par des interventions chirurgicales), la méningite et la névrite.

- La névralgie du glossopharyngé est beaucoup moins fréquente que la névralgie du trijumeau ; comme cette dernière, elle se caractérise par une douleur intense et paroxystique. Les crises douloureuses commencent généralement de façon soudaine dans le pharynx, le cou, les amygdales ou la langue, et durent quelques secondes ou minutes.

### Syndrome par suite d'une lésion unilatérale du X

- Le réflexe nauséeux (ou réflexe pharyngé ou GAG reflex) est diminué par la parésie du palais mou et des muscles du pharynx, innervés par le X. L'altération de ce réflexe peut également être due à la lésion du nerf IX (arc afférent du réflexe).
- Le palais mou pend du côté de la lésion. La parésie du muscle constricteur du pharynx entraîne le basculement du voile palatin du côté normal lorsque le patient effectue une phonation. La luette est déviée du côté sain à la phonation. La parole du patient est nasale car la cavité nasale ne peut plus être fermée par rapport à la cavité buccale.
- L'enrouement résulte de la parésie des cordes vocales, innervées par le nerf laryngé récurrent, qui s'accompagne d'une parésie des muscles internes du larynx, à l'exception du muscle cricothyroïdien.
- Dysphagie, parfois tachycardie et arythmie cardiaque

De nombreuses maladies peuvent provoquer une lésion vagale centrale, notamment les malformations (malformation de Chiari, syndrome de Dandy-Walker, etc.), les tumeurs, les hémorragies, les thromboses, les infections/inflammations, la sclérose latérale amyotrophique et les anévrismes. Les lésions vagales périphériques peuvent être causées par des névrites, des tumeurs, des perturbations glandulaires, des traumatismes et des anévrismes aortiques.

#### Box Recherche « Pour en savoir plus »

La stimulation du nerf vague (Vagus nerve stimulation ; VNS) est une option thérapeutique complémentaire dans l'épilepsie pharmacorésistante. Il a été démontré que le traitement chronique par VNS réduisait la fréquence des crises chez environ 50 % des patients testés. Par quels mécanismes la stimulation électrique du nerf vague (VNS) diminue-t-elle les crises épileptiques ? Le nerf vague, crucial pour le contrôle parasympathique des viscères thoraciques et abdominaux (efférences du noyau moteur dorsal du vague), est en fait un nerf mixte composé à près de 80% d'afférences sensorielles. À côté des afférences sensorielles somatiques et gustatives, le nerf vague contient surtout des afférences sensorielles venant du corps carotidien et des viscères thoraco-abdominaux, se rendant toutes vers le noyau du tractus solitaire (NTS). Ce serait la stimulation de ces afférences viscérales qui serait à l'origine de l'effet de la VNS sur l'activité cérébrale grâce à l'activation des projections multiples du NTS vers les étages supérieurs du cerveau. Les recherches actuelles se basent sur l'hypothèse que la VNS désynchroniserait les réseaux épileptiques via ce « réseau afférent vagal ».



## NC XI : Nerf accessoire

### **Fonctions :**

La branche spinale, par des motoneurones de la corne antérieure de la moelle :

- Contrôle les muscles sternocléidomastoïdiens
- Contrôle les muscles trapèzes

La partie crânienne du nerf XI sort du noyau ambigu, rejoint rapidement le nerf X et se destine à des muscles du larynx, du pharynx et du voile du palais. Parfois appelée « branche aberrante du vague », ses fonctions sont associées aux fonctions motrices du X.

### **Lésion centrale du XI :**

La partie spinale du nerf accessoire reçoit des impulsions centrales descendantes par l'intermédiaire des tractus corticobulbaires et corticospinaux. Ces impulsions proviennent principalement, mais pas exclusivement, de l'hémisphère cérébral controlatéral. Ainsi, une lésion centrale des voies descendantes entraîne parfois une faiblesse controlatérale des muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapézoïde, mais cette faiblesse n'est que partielle en raison de l'innervation ipsilatérale préservée et passe donc facilement inaperçue.

### **Lésion périphérique du XI :**

L'interruption unilatérale de la branche externe après sa sortie du foramen jugulaire a des effets différents sur les muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapézoïde : le muscle sterno-cléido-mastoïdien est paralysé (flasque) dans sa totalité, tandis que le muscle trapézoïde n'est affecté que dans sa moitié supérieure, car il reçoit également une innervation des nerfs spinaux des segments C2 à C4. Une lésion du nerf accessoire distal du muscle sterno-cléido-mastoïdien entraîne une faiblesse du muscle trapèze exclusivement ; de telles lésions surviennent parfois lors de biopsies des ganglions lymphatiques au niveau du bord postérieur du muscle sterno-cléido-mastoïdien. Il n'y a pas de déficit sensitif, car la partie spinale du nerf accessoire est purement motrice.

- En cas de faiblesse unilatérale du muscle sterno-cléido-mastoïdien, le patient a du mal à tourner la tête vers le côté opposé.
- En cas de faiblesse bilatérale, il est difficile de maintenir la tête droite ou de la relever en position couchée.
- La faiblesse du muscle trapèze entraîne une chute de l'épaule avec un déplacement de l'omoplate vers le bas et vers l'extérieur. L'élévation latérale du bras au-delà de 90° est entravée, car le muscle trapèze assiste normalement le muscle dentelé antérieur dans ce mouvement.
- Une simple inspection visuelle d'un patient présentant une paralysie du nerf accessoire révèle une atrophie du muscle sterno-cléido-mastoïdien ainsi qu'une épaule tombante.

## NC XII : Nerf hypoglosse

### Fonctions

Innervation des muscles de la langue, du muscle styloglosse, du muscle hyoglosse et du muscle génioglosse :

- Contrôle moteur de tous les muscles intrinsèques de la langue
- Contrôle moteur de  $\frac{3}{4}$  des muscles extrinsèques de la langue

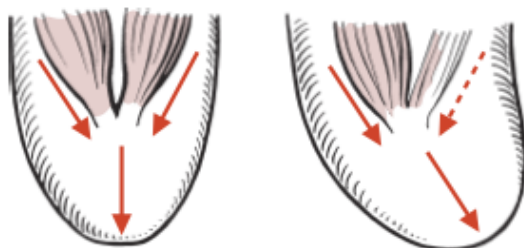
### Innervation supranucléaire du noyau du nerf hypoglosse

Les mouvements volontaires de la langue sont assurés par le tractus corticobulbaire. Le noyau du nerf hypoglosse reçoit ses afférences principalement de l'hémisphère cérébral controlatéral, bien qu'il y ait également des afférences ipsilatérales. Il reçoit également des signaux de la formation réticulaire, du noyau du tractus solitaire (goût), du mésencéphale (tractus tectospinal) et des noyaux trigéminés. Ces connexions participent aux réflexes de déglutition, de mastication, de succion et de léchage. Comme les muscles des deux côtés de la langue constituent une unité fonctionnelle et sont innervés par les deux hémisphères cérébraux (bien que principalement de façon controlatérale), une lésion supranucléaire unilatérale ne produit pas de déficit significatif de la motilité de la langue.

### Paralysie du nerf hypoglosse

En cas de paralysie unilatérale du nerf hypoglosse, la langue dévie généralement un peu vers le côté parétique en cas de mouvement de protrusion. Le muscle génioglosse est responsable de la protrusion. Si le muscle génioglosse d'un côté est faible, la force du muscle opposé prévaut et pousse la langue du côté de la lésion. En cas d'hémiplégie, le patient présente d'abord une dysarthrie de la parole, mais la déglutition n'est pas altérée. La paralysie supranucléaire bilatérale produit une dysarthrie et une dysphagie sévères (paralysie pseudobulbaire).

- Les lésions nucléaires affectant le nerf hypoglosse se manifestent généralement par une paralysie flasque bilatérale de la langue avec atrophie et fasciculations, car les noyaux des deux côtés sont si proches qu'ils sont généralement affectés ensemble. Dans les cas avancés, la langue repose mollement sur le plancher de la bouche et fascicule intensément. La parole et la déglutition sont profondément altérées. Les causes comprennent la paralysie bulbaire progressive, la sclérose latérale amyotrophique, la syringobulbie, la poliomyélite et les processus vasculaires.
- Les lésions périphériques du nerf hypoglosse ont les mêmes conséquences que les lésions nucléaires, mais la paralysie n'est généralement qu'unilatérale. Les causes comprennent les tumeurs, les infections/inflammations et les maladies vasculaires.



**Fig 22 : Déviation de la langue due à une parésie du muscle génioglosse gauche**  
*In Duus (chap.4)*

## Brève revue des différents réflexes associés aux nerfs crâniens

- **Cornéen** : le fait de toucher la cornée induit une fermeture réflexe des deux yeux (paupières). Afférence par le V et efférence par le VII.
- **Pupillaire** : Constriction physiologique bilatérale des pupilles par exposition à la lumière. On parle de réflexe direct concernant le myosis de l'œil éclairé et de réflexe consensuel pour le myosis de l'autre œil.  
Afférence par le II et efférence par le III (en passant d'abord par le pré-tectum et le noyau d'Edinger-Westphal).
- **Massétérin** : on tape le menton à l'aide d'un marteau réflexe et cela déclenche normalement une contraction réflexe du muscle masséter.  
L'afférence et l'efférence se font via le nerf V, plus précisément via la branche mandibulaire (V3).
- **Stapédien** : Apparaît lors de bruits forts (ou lorsque la personne vocalise). Induit une contraction des muscles stapédien et tenseur du tympan, conduisant à une rigidification de la chaîne des osselets et par conséquent à une atténuation de la transmission mécanique des ondes sonores.  
Afférence par le nerf VIII et efférence par le nerf VII pour le muscle stapédien (et par le V pour le tenseur du tympan).
- **Pharyngé** : Le réflexe pharyngé (aussi appelé réflexe nauséeux) est une contraction musculaire réflexe de l'arrière de la gorge, évoquée en touchant le palais, l'arrière de la langue, la zone autour des amygdales, la luette et l'arrière de la gorge. Ce réflexe empêche les objets de la cavité buccale de pénétrer dans la gorge, sauf dans le cadre d'une déglutition normale, et aide à prévenir l'étouffement.  
Afférence surtout par le IX et efférence par le X
- **Vomitif** : Généralement causé par une distension prononcée de l'estomac ou une irritation de sa muqueuse.  
Afférence et efférence par le nerf X
- **Vestibulo-oculaire** : Permet de stabiliser le regard lors d'un mouvement de rotation de la tête. Le mouvement des yeux se fait en sens opposé au mouvement de la tête.  
Afférence par le VIII du côté du mouvement de la tête et efférence par le VI controlatéral et le III homolatéral (en passant d'abord par le FLM).

**Les nerfs crâniens interviennent dans de nombreux autres réflexes, comme :**

Toux, éternuements, la succion chez les enfants

## 3 Accident ischémique transitoire (AIT)

### Généralités

- Les causes et symptômes des AIT et des AVC ischémiques sont identiques.
- Les AIT sont différents des AVC ischémiques en ce que les symptômes disparaissent généralement en l'espace d'1 heure et ne laissent aucune lésion cérébrale permanente.
- Le diagnostic repose sur les symptômes, mais une imagerie cérébrale est également effectuée.
- D'autres examens d'imagerie et de tests sanguins sont réalisés afin de diagnostiquer la cause de l'AIT.
- Il est recommandé de contrôler l'hypertension artérielle, les taux de cholestérol élevés, les taux élevés de sucre dans le sang et d'arrêter de fumer.
- Des médicaments pour rendre le sang moins susceptible de coaguler et parfois une intervention chirurgicale (endartériectomie carotidienne) ou une angioplastie avec pose d'un stent sont utilisés pour réduire le risque d'AVC après un AIT.
- L'AIT peut-être un signe prémonitoire d'un AVC ischémique imminent. Les patients qui ont fait un AIT sont exposés à un risque plus élevé d'AVC que ceux qui n'en ont pas fait. Le risque d'AVC est le plus élevé au cours des 24 à 48 heures suivant l'AIT. Reconnaître un AIT, en identifier la cause et la traiter peut contribuer à prévenir un AVC.
- Les AIT sont surtout observés chez les personnes d'âge moyen et plus âgées.

### Symptômes possibles

- Faiblesse ou paralysie soudaine d'un côté du corps (par exemple, la moitié du visage, un bras ou une jambe ou la totalité d'un côté)
- Perte de sensation subite ou sensations anormales d'un côté du corps
- Difficulté soudaine à parler (troubles de l'élocution)
- Confusion subite, avec des difficultés de compréhension du langage
- Obscurité subite, flou, ou perte de la vision, en particulier dans un œil
- Étourdissement soudain ou perte soudaine de l'équilibre et de la coordination

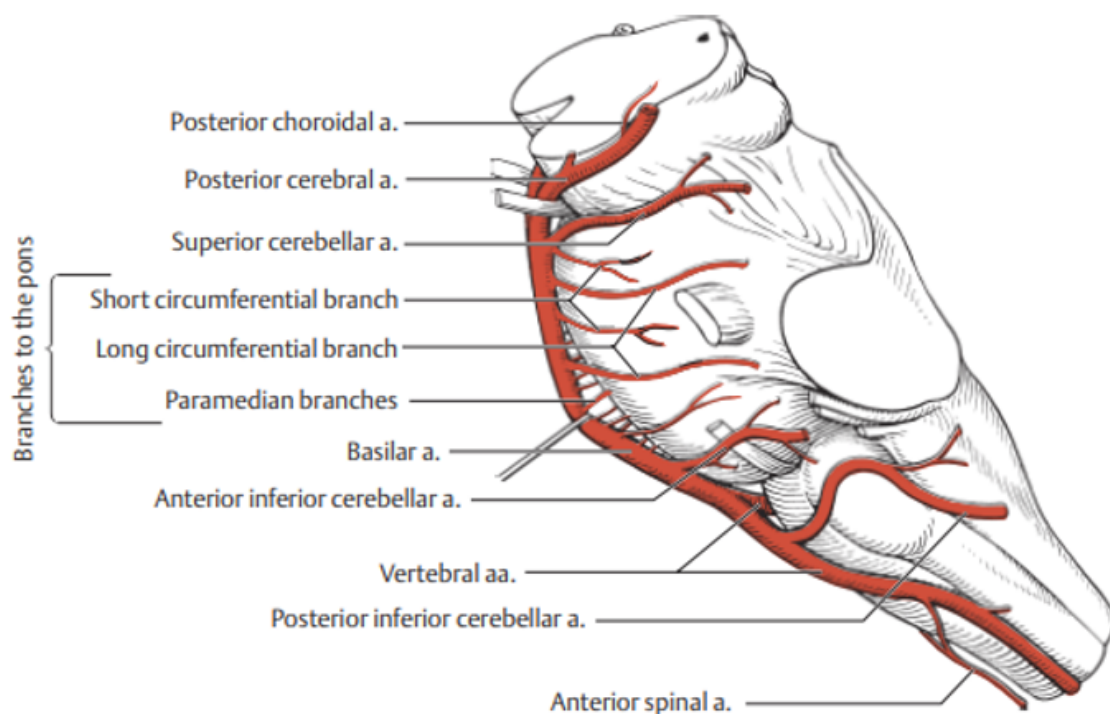
### Diagnostic

- Résolution rapide des symptômes
- Des imageries médicales, comme une tomodensitométrie (TDM) ou une imagerie par résonance magnétique (IRM) sont effectuées pour rechercher des éléments indiquant un AVC, un saignement et des tumeurs cérébrales. Un type d'IRM particulier, appelé IRM pondérée en diffusion, peut identifier les zones sévèrement altérées du tissu cérébral qui ne fonctionnent pas. L'IRM pondérée en diffusion peut souvent permettre aux médecins de différencier un AIT d'un AVC ischémique. Cependant, l'IRM pondérée en diffusion n'est pas toujours disponible.
- La détection d'un symptôme soudain qui est semblable à celui d'un AVC doit amener le patient à se rendre immédiatement aux urgences, et ce même si le symptôme est temporaire.

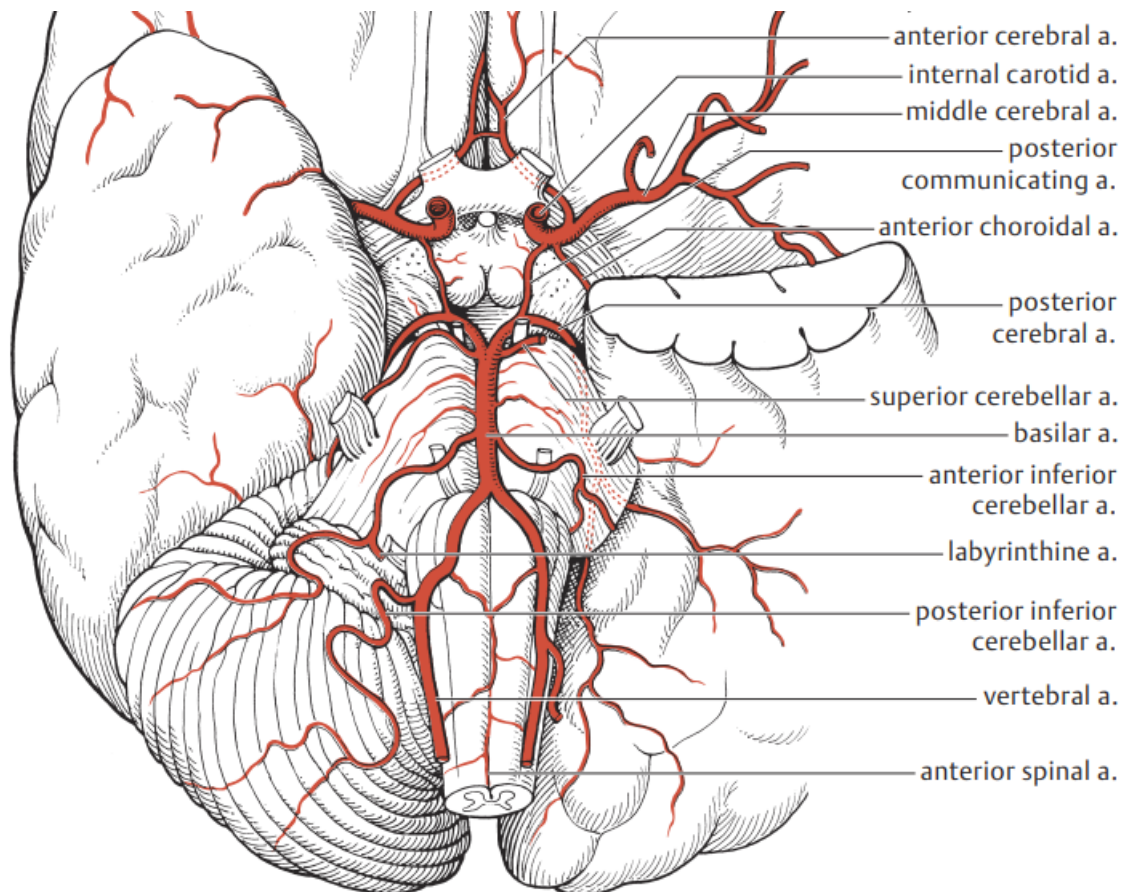
## 4 Accidents vasculaires du tronc cérébral

### 4.1 Vascularisation du tronc cérébral

- De manière grossière, on peut dire que la vascularisation des hémisphères cérébraux est principalement assurée par les carotides internes (circulation antérieure), alors que le tronc cérébral et le cervelet sont surtout vascularisés par les artères vertébrales (circulation postérieure). Les circulations antérieures et postérieures sont anastomosées à la base du crâne par une structure nommée le cercle de Willis. Les détails de la vascularisation cérébrale sont disponibles dans le cahier de vascularisation. *Brièvement*, les artères qui irriguent le tronc cérébral peuvent être classées en 3 catégories selon le territoire du tronc perfusé :
  - Les artères **paramédianes** → zone ventrale
  - Les artères **circonférentielles courtes** → zone latérale
  - Les artères **circonférentielles longues** → zone dorsale



**Fig. 23 :** Vascularisation du tronc cérébral, vue latérale  
*in Duus' topical Diagnosis in Neurology ( chap.4)*

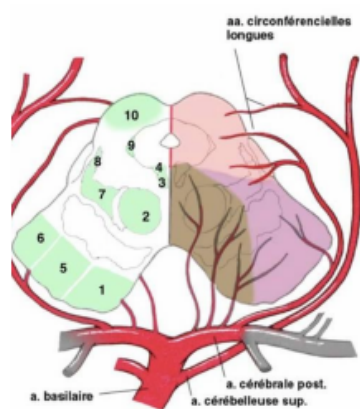


**Fig. 24 :** Vascularisation du tronc cérébral, vue ventrale  
*in Duus'topical Diagnosis in Neurology ( chap.4)*

## Territoires de vascularisation du tronc cérébral :

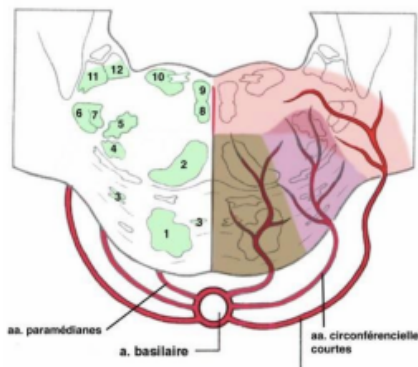
Les coupes suivantes sont tirées du TP5 de neuroanatomie et illustrent les territoires vasculaires des différentes artères irriguant le tronc cérébral et les principaux noyaux et tractus associés. RQ : la vascularisation par l'a.spinale antérieure telle que figurant dans le schéma est valable pour la partie caudale du bulbe, la partie ventrale du bulbe rostral est vascularisée par des artères paramédianes des artères vertébrales (voir figure 3.3. du Martin's, 5ed.).

### A) Mésencéphale



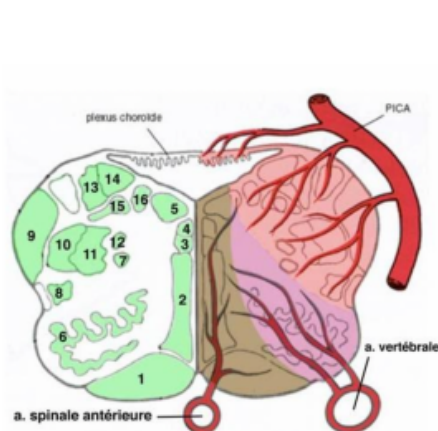
|                                                                 |                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACP (groupe postéromédial)</b>                               | 1. tractus corticopontique<br>2. noyau rouge<br>3. noyau du nerf III<br>4. noyau d'Edinger-Westphal                                       |
| <b>Artère cérébrale postérieure</b>                             | 5. tractus corticospinal<br>6. tractus corticopontique<br>7. lémisque médian                                                              |
| <b>Artère basilaire et artère cérébelleuse supérieure (SCA)</b> | 7. lémisque médian<br>8. système antérolatéral (fibres spinothalamiques)<br>9. noyau mésencéphalique du nerf V<br>10. collicule supérieur |

### B) Pont



|                         |                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Artère basilaire</b> | 1. tractus corticospinal<br>2. lémisque médian<br>3. noyaux pontiques                                                                                                                                            |
| <b>Artère basilaire</b> | 3. noyaux pontiques<br>4. système antérolatérale<br>5. noyau moteur du nerf VII                                                                                                                                  |
| <b>Artère basilaire</b> | 6. tractus spinal du nerf V<br>7. noyau spinal du nerf V<br>8. tractus tectospinal<br>9. faisceau longitudinal médian<br>10. noyau du nerf VI<br>11. noyau vestibulaire latéral<br>12. noyau vestibulaire médial |

### C) Bulbe



|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Artère spinale antérieure</b>                            | 1. tractus corticospinal<br>2. lémisque médian<br>3. tractus tectospinal<br>4. faisceau longitudinal médian<br>5. noyau hypoglosse                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Artère vertébrale</b>                                    | 5. noyau hypoglosse<br>6. olive inférieure                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Artère cérébelleuse inférieure et postérieure (PICA)</b> | 7. noyau ambigu<br>8. système antérolatéral<br>9. pédoncule cérébelleux inférieur<br>10. le tractus spinal du nerf V<br>11. le noyau spinal du nerf V<br>12. fibres descendantes du système sympathique<br>13. noyau vestibulaire inférieur<br>14. noyau vestibulaire médial<br>15. noyau solitaire et son tractus<br>16. noyau moteur dorsal du nerf X |

## 4.2 Syndromes vasculaires du tronc cérébral

### 4.2.1 Aperçu général

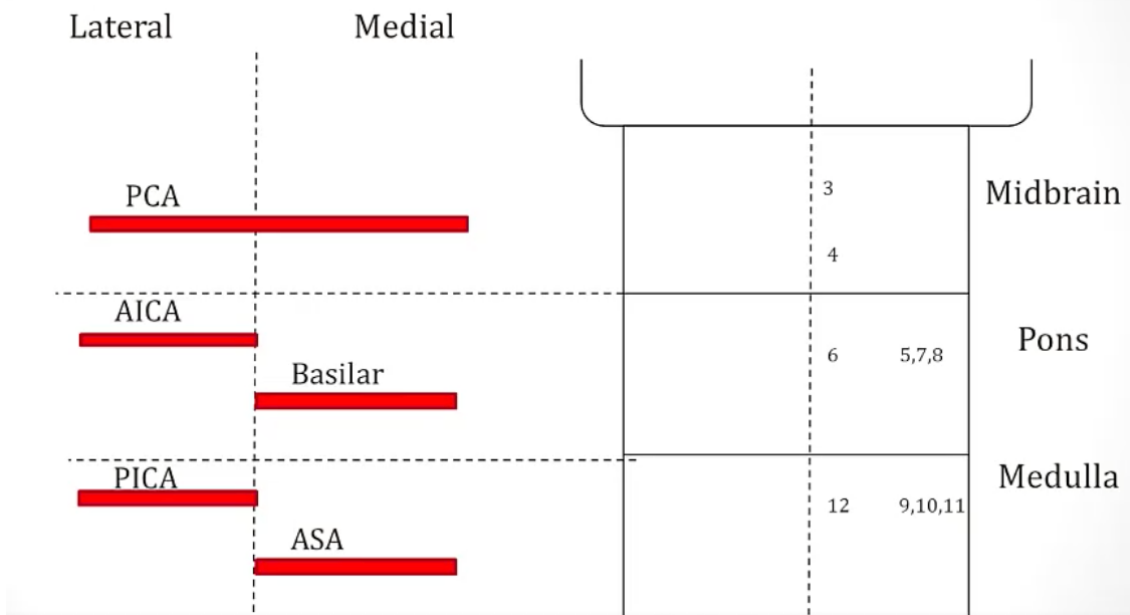
La connaissance des différents territoires d'irrigation du tronc cérébral ainsi que leur contenu (noyaux de nerfs crâniens, voies longues, etc.) est essentielle pour comprendre les syndromes vasculaires.

- La perfusion inadéquate de régions discrètes du tronc cérébral peut être transitoire ou permanente (entraînant une nécrose des tissus, c'est-à-dire un infarctus du tronc cérébral).
- L'infarctus est généralement dû à une occlusion artérielle. Il produit différents types de déficits cliniques, selon le vaisseau particulier qui a été occlus (syndromes vasculaires).
- Les noyaux et les fibres du tronc cérébral étant nombreux, disposés de manière compacte et ayant des fonctions très diverses, on peut observer une grande variété de syndromes vasculaires. L'infarctus dans la distribution vertébrobasilaire, comme dans la distribution carotidienne, est généralement dû à une embolie. Les embolies responsables peuvent provenir du cœur, de plaques athéromateuses dans les artères vertébrales ou d'une dissection artérielle avec thrombose secondaire.
- L'infarctus du tronc cérébral dans un certain nombre de localisations différentes se manifeste souvent cliniquement par une hémiparésie alterne (faiblesse croisée), qui se définit comme une combinaison de déficits des nerfs crâniens du côté de la lésion et de faiblesse de l'hémicorps opposé.

### 4.2.2 Déterminer la localisation d'une lésion dans le TC : la règle de 4

L'irrigation sanguine du tronc cérébral est telle qu'il existe des branches paramédianes et de longues branches circonférentielles (l'artère cérébelleuse inférieure antérieure (AICA), l'artère cérébelleuse inférieure postérieure (PICA) et l'artère cérébelleuse supérieure (SCA)). L'occlusion des branches paramédianes entraîne des **syndromes médians** (ou paramédians) **du tronc cérébral** et l'occlusion des branches circonférentielles entraîne des **syndromes latéraux du tronc cérébral**. Parfois, des syndromes latéraux du tronc cérébral sont observés en cas d'occlusion vertébrale unilatérale.

# Brainstem Blood Supply



**Fig. 25 :** Territoires d'irrigation des artères du tronc cérébral et localisation approximative des noyaux des nerfs crâniens selon l'axe rostro-caudal et médio-latéral

Afin de déterminer la localisation d'une lésion dans le tronc cérébral et de comprendre les conséquences cliniques d'une lésion dans une certaine zone du tronc cérébral, il est important de :

- Savoir où cheminent les différentes voies qui traversent le tronc cérébral et savoir à quel niveau elles décussent (indicatrice du niveau de la lésion selon l'axe médio-latéral).
- Connaître l'emplacement des différents noyaux de nerfs crâniens (indicateur du niveau de la lésion selon l'axe rostro-caudal).
- Une fois la zone lésée identifiée, on peut déterminer la ou les artères en cause en se référant aux territoires de vascularisation de celles-ci.

La règle de 4 est une méthode simple développée pour aider les "étudiants en neurologie" à se souvenir de l'anatomie du tronc cérébral et donc des caractéristiques des différents syndromes vasculaires du tronc cérébral.

**Selon la règle de 4 :**

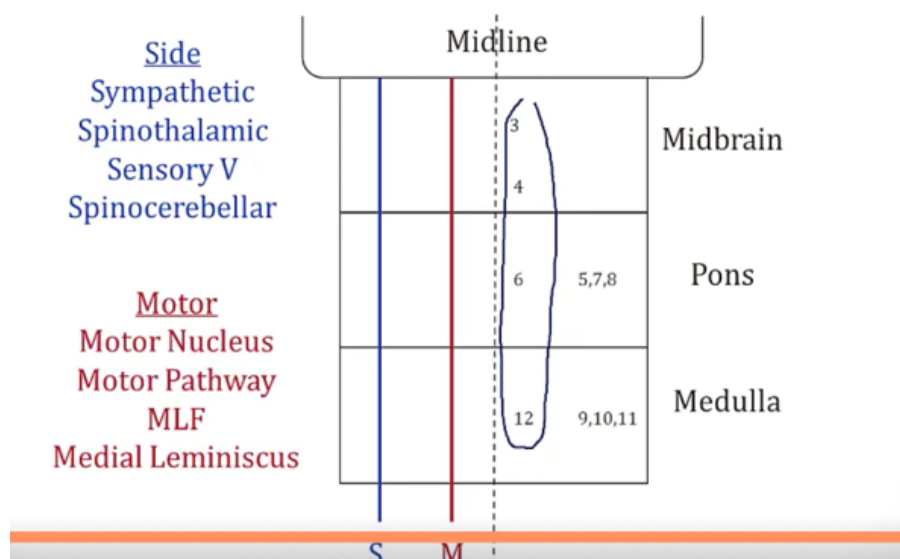
1. Il y a 4 structures **médianes** commençant par la lettre **M**
2. Il y a 4 structures **latérales** commençant par la lettre **S**
3. Il y a 4 nerfs crâniens dans le **bulbe**, 4 dans le **pont** et 4 **au-dessus du pont** (dont 2 dans le mésencéphale)

**Les 4 structures médianes (marquées M en rouge) et leurs déficits associés sont :**

1. **La voie motrice (tractus corticospinal) :** faiblesse controlatérale des bras et des jambes
2. **Le lemnisque médian :** perte controlatérale de la sensibilité tactile, vibratoire et proprioceptive dans les bras et les jambes
3. **Le FLM (faisceau longitudinal médian) :** ophtalmoplégie internucléaire ipsilatérale (défaut d'adduction de l'œil ipsilatéral vers le nez et nystagmus de l'œil opposé lorsqu'il regarde latéralement).
4. **Les noyaux moteurs et leurs nerfs :** perte ipsilatérale (III, VI ou XII) ou controlatérale (IV) du nerf concerné

**Les 4 structures latérales (marquées S en bleu) et leurs déficits associés sont :**

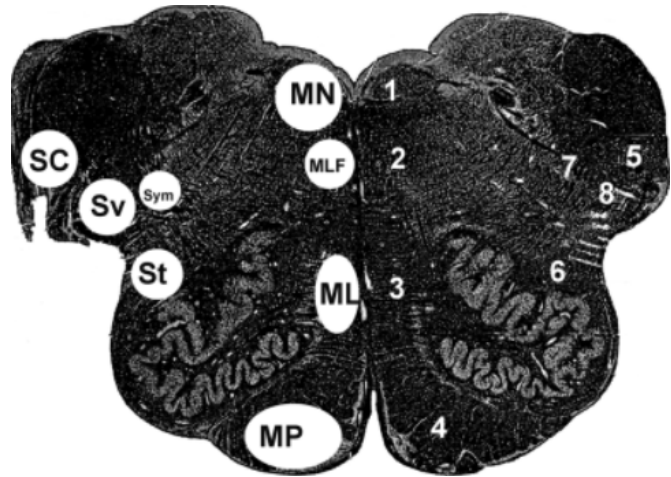
1. **La voie spinocérébelleuse :** ataxie ipsilatérale du bras et de la jambe
2. **La voie spinothalamique :** altération de la sensibilité thermo-algésique controlatérale du bras et de la jambe (et rarement du tronc)
3. **Le noyau sensitif du 5 :** altération ipsilatérale de la sensibilité (tactile et thermo-algésique) de la face
4. **La voie sympathique :** syndrome de Horner ipsilatéral (ptose, myosis, énophtalmie)



**Fig.26 :** Distribution des noyaux des nerfs crâniens dans le tronc cérébral ainsi que des faisceaux médians et latéraux

### Légende

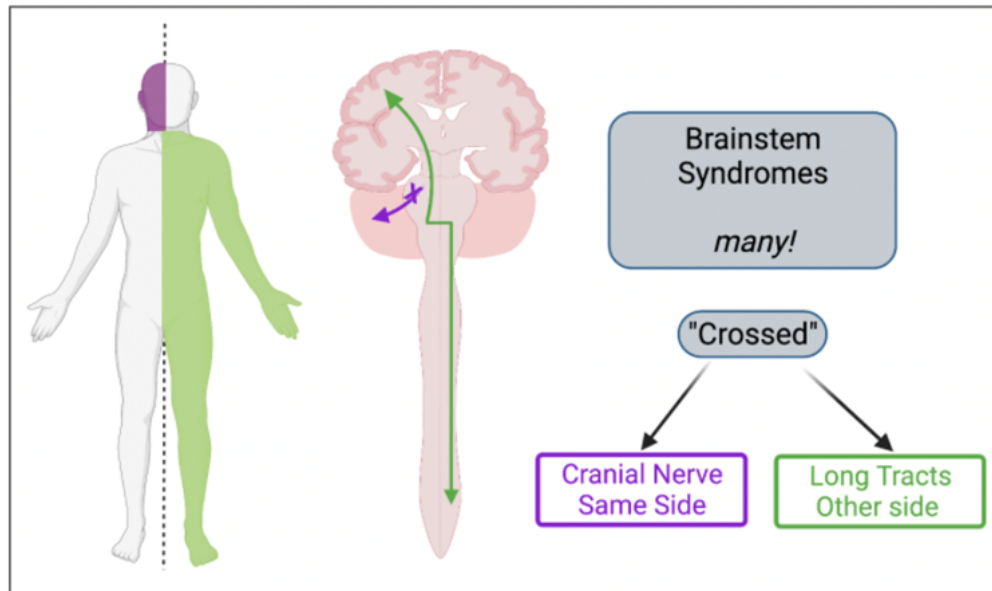
- 1\_MN : noyau moteur (III, IV, VI ou XII)
- 2\_MLF : faisceau longitudinal médian
- 3\_ML : lemnisque médian
- 4\_MP : voies motrices (tractus pyramidal)
- 5\_SC : tractus spinocérébelleux
- 6\_ST : tractus spinothalamique
- 7\_Sym : voie sympathique (hypothalamospinale)
- 8\_SV : noyau sensoriel du V



**Fig. 27** : illustration d'une coupe transversale du tronc cérébral au niveau du bulbe, mais le concept des 4 structures latérales et des 4 structures médianes s'applique également au pont, seules les 4 structures médianes concernent les syndromes vasculaires du mésencéphale.  
in *Internal Medicine Journal*, Volume: 35, Issue: 4, Pages: 263-266, First published: 06 April 2005,  
DOI: (10.1111/j.1445-5994.2004.00732.x)

### 4.2.3 Syndrome alterne

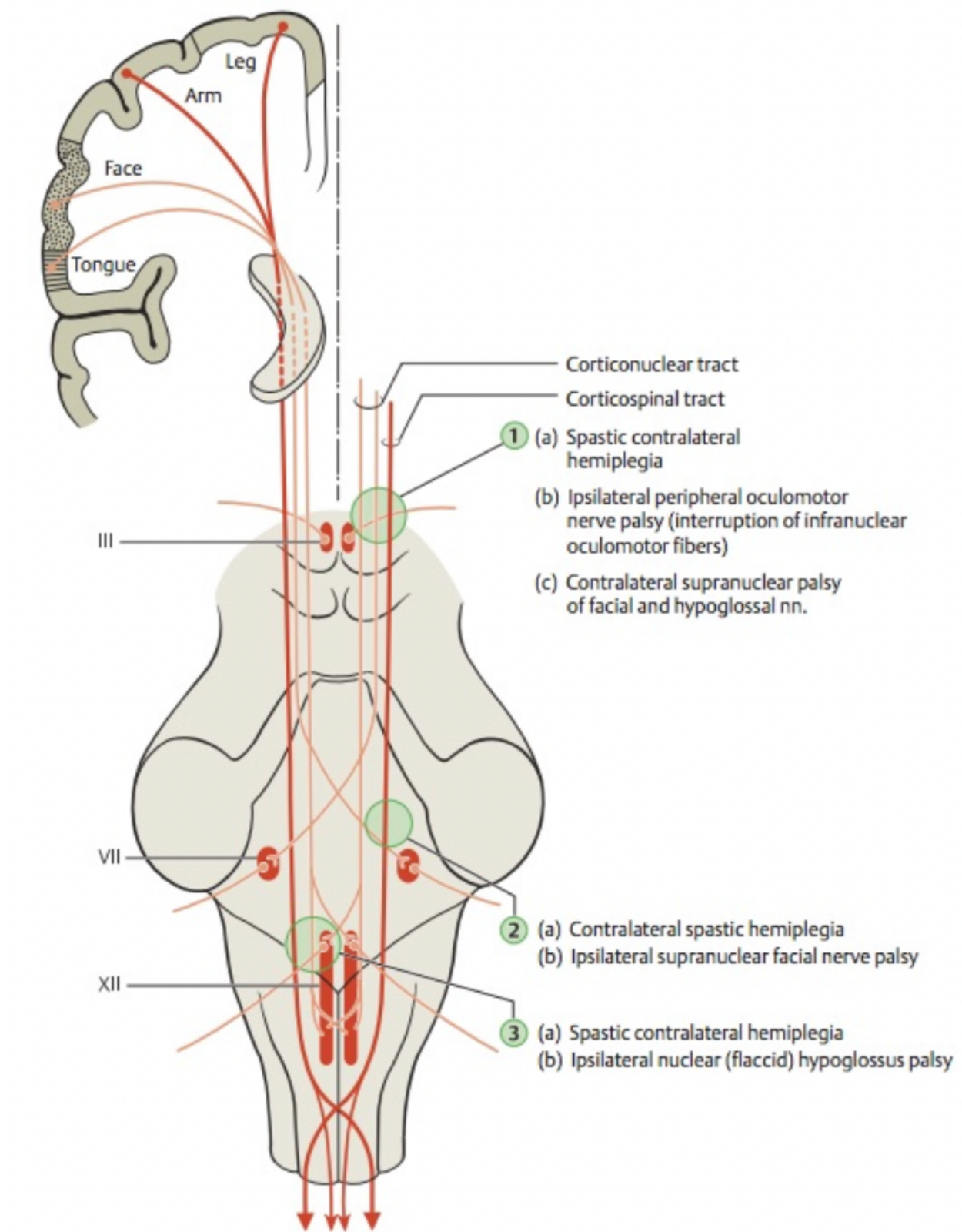
Un syndrome alterne se définit par la présence, du côté de la lésion, des signes d'atteinte d'un ou plusieurs nerfs crâniens, et de l'autre côté de la lésion par des signes d'atteinte d'une voie longue (pyramidale, sensitive ou cérébelleuse).



**Fig. 28 :** Illustration du concept de syndrome alterne (« crossed » deficits en anglais)  
Tirée de HSET

**NB :**

- Un syndrome alterne est TOUJOURS causé par une lésion du tronc cérébral
- L'infarctus du tronc cérébral dans un certain nombre de localisations différentes se manifeste souvent cliniquement par une hémiplégie alterne (faiblesse croisée), qui se définit comme une combinaison de déficits des nerfs crâniens du côté de la lésion et de faiblesse de l'hémicorps opposé. Une hémiplégie alterne est un syndrome alterne, mais un syndrome alterne n'est pas forcément une hémiplégie alterne.



**Fig. 29 :** Ce schéma indique 3 sites de lésions possibles induisant une hémiplégie alterne. In *Duus'topical Diagnosis in Neurology ( chap.4)*

#### 4.2.4 Le syndrome de Wallenberg (syndrome médullaire dorsolatéral) :

*Il doit être individualisé en raison de sa fréquence et surtout de sa gravité, puisqu'il met en jeu le pronostic vital pendant un temps, même s'il est généralement de pronostic favorable. C'est un syndrome alterne, bulbaire, résultant d'une lésion du territoire rétro-olivaire. Le plus souvent, il est dû à l'occlusion de l'artère de la fossette latérale du bulbe, branche de l'artère cérébelleuse postéro-inférieure (PICA), elle-même branche de l'artère vertébrale.*

*Il débute par un grand vertige, rotatoire avec nausées et vomissements, dû à une atteinte du noyau vestibulaire.*

**On observe (voir figures 34 et 35)**

**-du côté de la lésion :**

- Un nystagmus
- Un syndrome cérébelleux, avec ataxie majeure
- Un signe de Claude Bernard-Horner (voir plus bas)
- Une atteinte du V (hypo ou anesthésie faciale)
- Une paralysie du voile du palais. Celle-ci, due à une lésion du noyau ambigu, est à l'origine de fausses routes alimentaires, qui compromettent le pronostic vital, car pouvant être à l'origine d'une pneumopathie d'inhalation, si l'alimentation orale n'est pas totalement suspendue.
- Une perte de la sensibilité thermo-algésique de l'hémiface

**-du côté opposé à la lésion :**

- L'hémicorps est le siège d'un syndrome spinothalamique, avec anesthésie thermoalgique, épargnant la face (des séquelles douloureuses – brûlures – sont possibles).

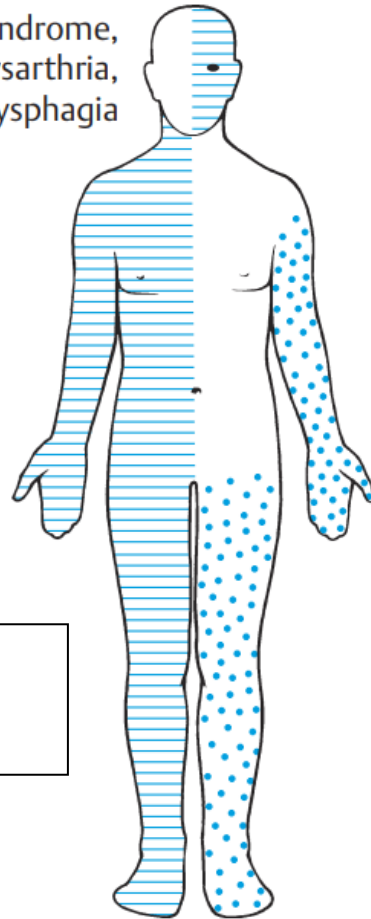
*Cette forme pure du syndrome de Wallenberg est en fait rarement observée. Le plus souvent, le syndrome est incomplet, ou bien des signes associés s'observent, comme par exemple une diplopie ou une hémiparésie.*

*Pour en savoir d'avantage sur les syndromes alternes : <https://www.cen-neurologie.fr/premier-cycle/semiologie-topographie/syndromes-du-tronc-cerebral>*

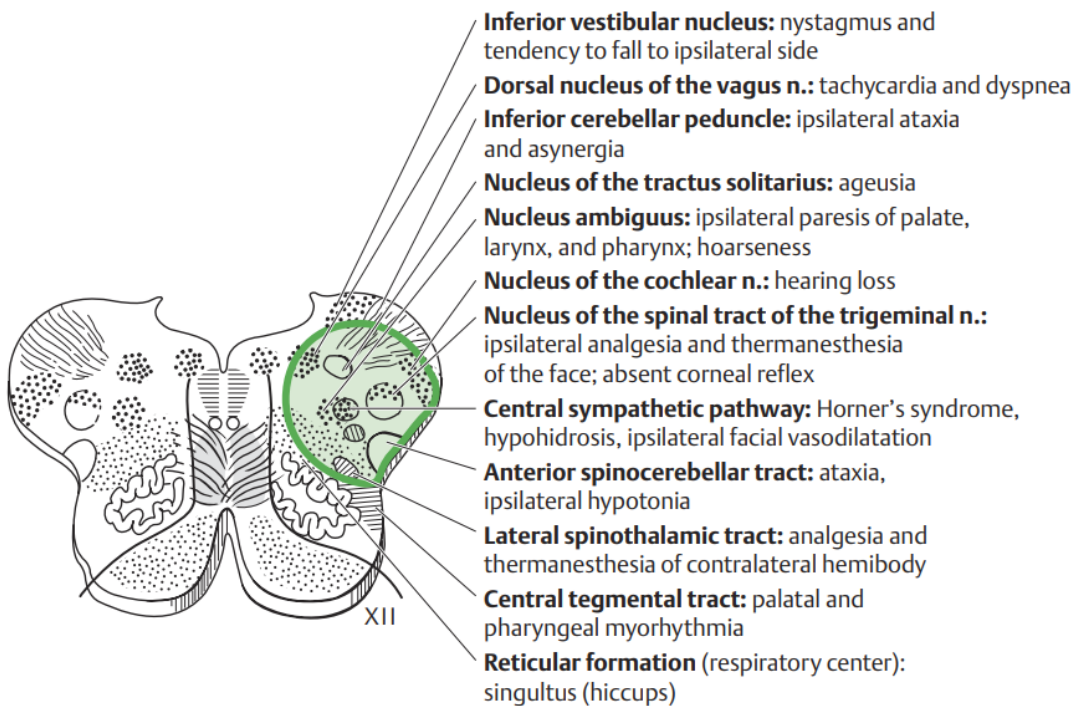
Horner's syndrome,  
nystagmus, dysarthria,  
dysphagia

Analgesia and  
thermanesthesia

Ataxia and  
asynergia



**Fig. 30 :** Illustration des symptômes d'un syndrome de Wallenberg complet  
in Duus'topical Diagnosis in Neurology (chap.4)



**Fig. 31 :** Illustration des structures lésées dans un syndrome de Wallenberg complet  
in Duus'topical Diagnosis in Neurology (chap.4)

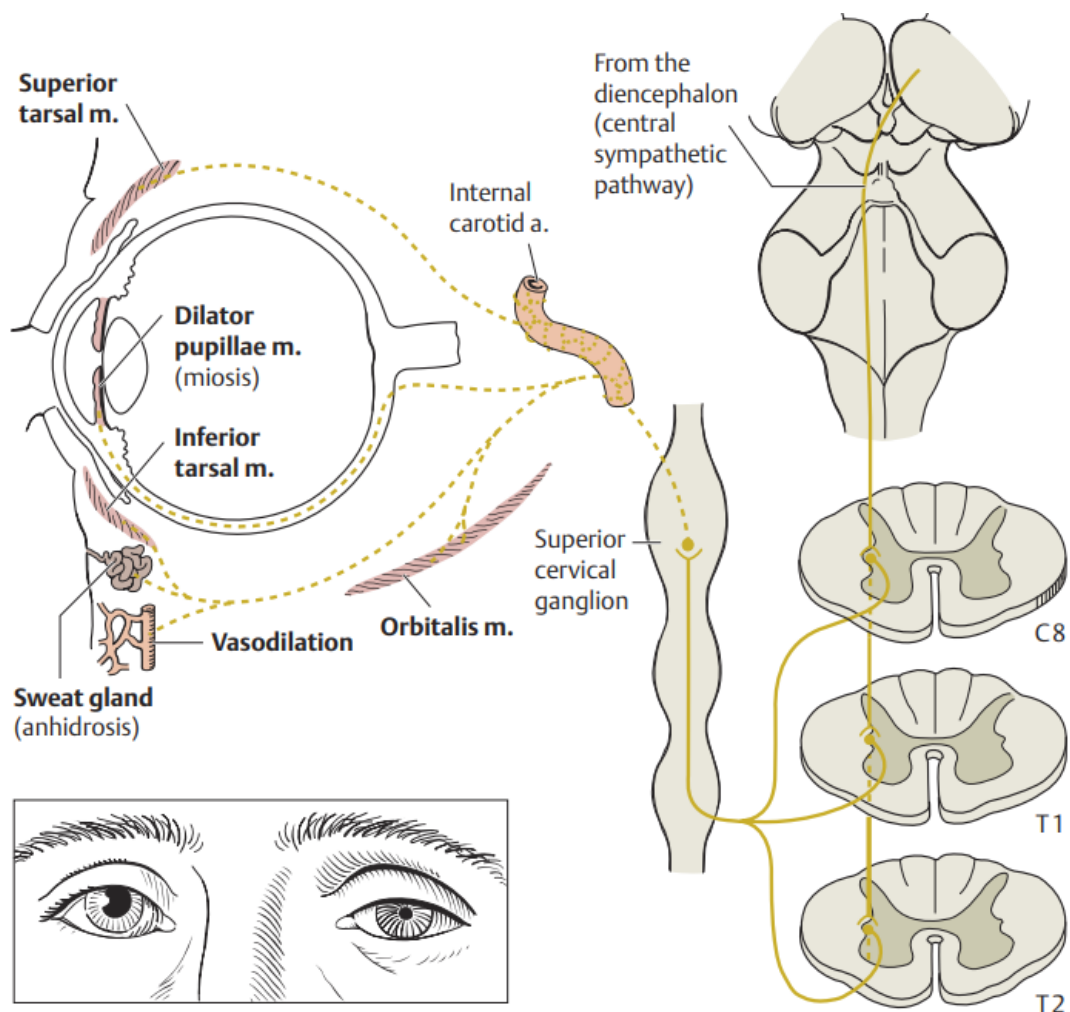
#### 4.2.5 Le syndrome de Claude Bernard Horner :

Le syndrome de Claude Bernard-Horner apparaît lorsque la voie cervicale sympathique reliant l'hypothalamus à l'œil est interrompue.

Il comprend une triade caractéristique :

- Un **ptosis** (perte de fonction du muscle tarsal supérieur)
- Un **myosis** (perte de fonction des muscles dilatateurs de la pupille)
- Une **énophtalmie**

Une anhidrose et une hyperhémie peuvent parfois aussi être observés. Tous ces symptômes apparaissent sur l'**hémiface ipsilatérale** au côté de la lésion de la voie sympathique. Une lésion à n'importe quel niveau de celle-ci peut induire un syndrome de Claude Bernard Horner.



**Fig. 36 :** Innervation sympathique de l'œil et syndrome de Claude-Bernard-Horner. Dans la région de l'œil, les efférences sympathiques innervent non seulement le muscle dilatateur de la pupille, mais aussi les muscles du tarse et le muscle orbitalis. L'innervation sympathique des glandes sudoripares du visage et de son système vasculaire (fibres vasoconstrictrices) est également représentée.  
*in Duus' topical Diagnosis in Neurology (chap.4)*

## 5 Lexique

- **Anisocorie** : inégalité de taille des deux pupilles
- **Myosis** : état de la pupille rétrécie par action sur le sphincter de l'iris avec conservation ou non de la réactivité à la lumière
- **Mydriase** : état de dilatation de la pupille
- **Ptose palpébrale** : chute de la paupière supérieure
- **Syndrome sensitif dissocié** : Atteinte de la voie spinothalamique sans atteinte de la sensibilité proprioceptive (ou inversement : atteinte de la sensibilité proprioceptive sans atteinte de la voie spinothalamique)
- **Syndrome alterne** : un syndrome alterne se définit par la présence, du côté de la lésion, des signes d'atteinte d'un ou plusieurs nerfs crâniens, et de l'autre côté de la lésion par des signes d'atteinte d'une voie longue, pyramidale, sensitive ou cérébelleuse

## 6 Références bibliographiques principales

Les différents paragraphes de ce document sont majoritairement directement issus de :

- E-learning HSET
- **Duus' Topical Diagnosis in Neurology**, Baehr M, Frotscher M, 2005
- **Neuroanatomy: text and atlas**, Martin JH. 5th ed. New York : McGraw Hill, 2021
- **Neuroanatomie 5<sup>e</sup> édition**, Gould, Brueckner-Collins, Fix, De Boeck Supérieur, 2017
- **Cranial nerves, Function and Dysfunction (third edition)** L. Wilson-Pauwels, P.A. Stewart, E. J. Akesson, S.D. Spacey, 2010
- The rule of 4 of the brainstem: a simplified method for understanding brainstem anatomy and brainstem vascular syndromes for the non-neurologist - Gates - 2005 - Internal Medicine Journal - Wiley Online Library
- Collège des Enseignants de Neurologie | (cen-neurologie.fr)
- Édition professionnelle du Manuel MSD (msdmanuals.com)
- Pour les définitions : Dictionnaire de l'Académie Nationale de Médecine
- Les cahiers de TP de neuroanatomie