



# LES MUSCLES EXTRAOCULAIRES

## AUTEURS

**Erica Fletcher** : Université de Melbourne

**Roger Anderson** : Université d'Ulster

## RÉVISION PAR LES PAIRS

**Thomas Freddo** : Université de Waterloo

## CONTENU DU CHAPITRE

1. Introduction
2. Les six muscles extraoculaires
3. Les actions des muscles extraoculaires
4. Structure histologique des muscles extraoculaires
5. Contrôle nerveux des mouvements oculaires

## INTRODUCTION

Prenez un instant pour réfléchir à la façon dont vous êtes en train de lire ce texte. Les fovéas de chacun de vos yeux sont organisées de manière à fournir une acuité visuelle maximale, mais pour en tirer le meilleur parti, vous devez continuellement ramener les cibles visuelles qui vous entourent en vision centrale. Afin de déplacer notre attention visuelle de manière graduelle ou soudaine, nous pouvons :

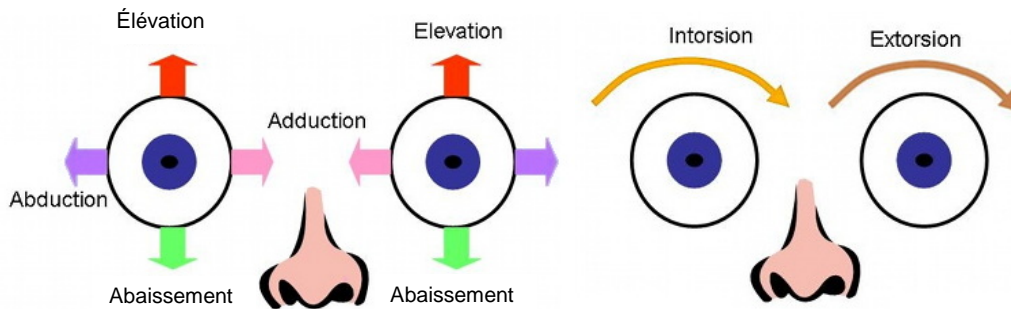
- tourner le corps entier (en gardant la tête et les yeux fixes), un peu comme un crabe ou un poisson ;
- tourner la tête, ce que font principalement les reptiles et les oiseaux ; ou
- bouger les yeux, à condition qu'ils bougent de manière synchronisée (mouvement conjugué du regard).

Le contrôle des mouvements oculaires implique différentes régions du système nerveux central (SNC) et les structures de l'orbite que nous avons rencontrées précédemment. Il existe une hiérarchie des systèmes de contrôle, comprenant les régions situées à l'intérieur du cortex cérébral, des noyaux gris centraux et du colliculus supérieur, qui communiquent avec les centres oculomoteurs du tronc cérébral. Ces centres régulent à leur tour directement le débit des nerfs crâniens moteurs somatiques qui activent les muscles de nos orbites. Ce chapitre fournit un aperçu de la structure et de la fonction des muscles extraoculaires, ainsi que des centres cérébraux impliqués dans le contrôle du mouvement oculaire.

## SIX MOUVEMENTS, SIX MUSCLES

L'œil humain est très mobile, bien qu'il soit relativement retenu par son attache au nerf optique en arrière. Quelle que soit sa direction, un mouvement se décompose en trois axes orthogonaux ; il est par conséquent possible de différencier six mouvements rotatoires de base. Il existe six muscles qui font directement bouger l'œil, mais seulement deux d'entre eux correspondent chacun à une seule et même action.

Mouvements principaux : Il existe pour chaque axe une paire de mouvements opposés. Afin de comprendre la terminologie, il faut imaginer chaque mouvement comme étant relatif au nez.



**Figure 8.1 :** Mouvements des yeux dans six directions différentes.

Les mouvements horizontaux sont l'adduction (en direction du nez) ou l'abduction (en direction opposée au nez), et les mouvements verticaux sont l'élévation et l'abaissement. Les mouvements de torsion sont, par convention, l'intorsion (la partie supérieure se tourne en direction du nez) et l'extorsion (la partie supérieure se tourne en direction opposée au nez).

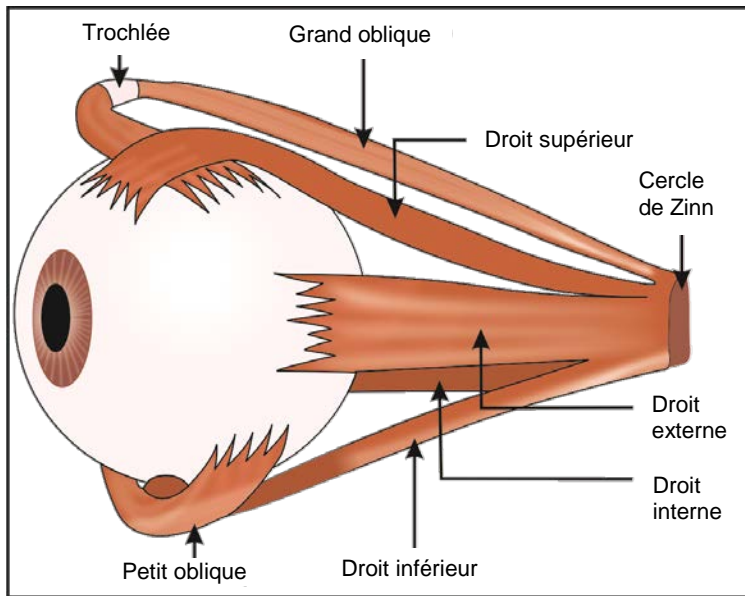
## LES SIX MUSCLES EXTRAOCULAIRES

Il existe quatre muscles droits, disposés uniformément autour du globe. Ils proviennent tous du cercle artériel du nerf optique (cercle de Zinn), qui se situe à proximité du sommet de l'orbite. Ainsi, chacun d'eux exerce une traction dans une direction relativement identique à celle du nerf optique. Les actions des deux muscles obliques, plus complexes, sont expliquées ci-après.

Les six muscles extraoculaires sont (Figure 8.2) :

- Le droit supérieur
- Le droit inférieur
- Le droit externe
- Le droit interne
- Le grand oblique
- Le petit oblique

Dans ce module, ces noms sont abrégés comme suit : DS, DInf, DE, DInt, GO et PO. Dans un mouvement oculaire type, une action coordonnée et simultanée est exercée par différents muscles (ainsi qu'un relâchement délibéré par les muscles antagonistes).



**Figure 8.2** : Les six muscles extraoculaires à l'origine des mouvements oculaires (œil gauche)

## LES ACTIONS DES MUSCLES EXTRAOCULAIRES

La compréhension des mouvements oculaires réside dans l'observation de la disposition des six muscles situés à l'intérieur de l'orbite, et pour chacun d'entre eux, la direction de sa traction, relative à l'insertion sur le globe. Les caractéristiques principales sont :

- 1) Les mouvements oculaires verticaux résultent de la coordination existant entre les quatre muscles. (C'est-à-dire : DS, DInf, GO et PO.)
- 2) Chacun de ces quatre muscles posséderait des actions distinctes, appelées actions primaire, secondaire et tertiaire.
- 3) L'action générale du muscle varie souvent selon la position de l'œil, en raison des différentes contributions des actions non primaires.

L'innervation des six muscles extraoculaires s'effectue de la manière suivante : le nerf moteur abducens (6<sup>e</sup> nerf) innerve le droit externe, le nerf trochléaire (4<sup>e</sup> nerf) innerve le grand oblique, et le nerf oculomoteur (3<sup>e</sup> nerf) innerve les quatre muscles restants : DS, DInt, DInf et PO. Il peut être utile de s'en rappeler comme suit : DE6, GO4, et 3.

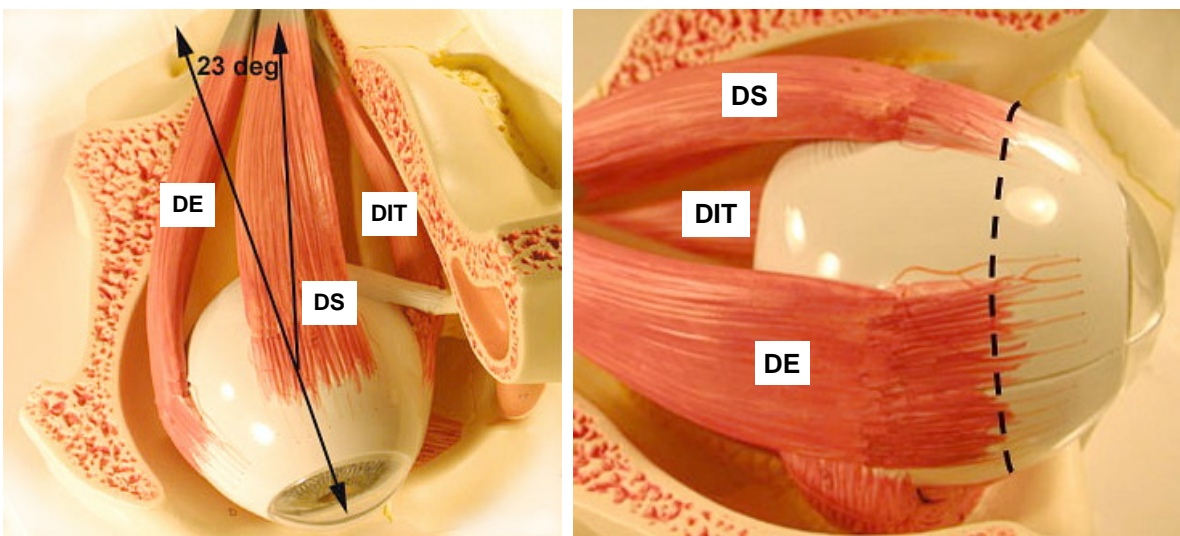
Pour apprendre la géométrie, imaginez l'œil comme un globe terrestre, avec la cornée située au pôle Nord. Vous remarquerez que les quatre muscles droits s'insèrent tous à la même « latitude » dans l'hémisphère Nord (Voir Figure 8.3).

Les mouvements oculaires horizontaux sont contrôlés entièrement par les muscles droits internes et externes. Le muscle droit interne amène l'œil en adduction (mouvement vers la ligne médiane), tandis que le droit externe l'amène en abduction.

Le DE passe devant le cercle de Zinn pour percer la capsule de Tenon et s'insérer à 6,9 mm en arrière du limbe. Le ligament large externe limite son action. L'innervation s'effectue par le 6<sup>e</sup> nerf crânien (nerf abducens).

Le DInt est attaché à la dure-mère du nerf optique au niveau du cercle de Zinn. Il traverse la capsule de Tenon et s'insère à 5,5 mm en arrière du limbe. Le ligament large interne limite son action. L'innervation s'effectue par division inférieure du nerf crânien III.

Pour les mouvements oculaires verticaux, le droit supérieur et le petit oblique s'associent pour provoquer l'élévation, tandis que le droit inférieur et le grand oblique s'associent pour provoquer l'abaissement. Dans un premier temps, ces actions des muscles droits seront étudiées en détail, puis la raison pour laquelle le droit oblique agit différemment sera expliquée (p. ex. pourquoi le DS s'élève alors que le GO s'abaisse).



**Figure 8.3 :** Anatomie et insertion des muscles de l'orbite

Évidemment, le muscle droit supérieur s'insère dans la partie supérieure de l'œil. Il s'agit du muscle droit le plus long ; il est attaché à la dure-mère du nerf optique au niveau du cercle de Zinn. Il passe devant et latéralement pour percer la capsule de Tenon, et pénètre la sclère à 7,7 mm en arrière de la jonction scléro-cornéenne (*limbe*). Il est relié au muscle élévateur par une bande de tissu située entre la gaine de la capsule de Tenon. Ainsi l'action du DS se réalise en synergie avec celle du muscle élévateur. L'innervation s'effectue par la division supérieure du nerf crânien III (oculomoteur).

Le corps du muscle se situe à un angle interne de 23° par rapport à l'axe visuel (position primaire du regard). Lorsque ce muscle se contracte, son action principale est de relever l'œil. La traction légèrement interne (sur son insertion antérieure) signifie qu'il adducte l'œil (tourne l'œil vers le nez) et induit de l'incyclotorsion également.

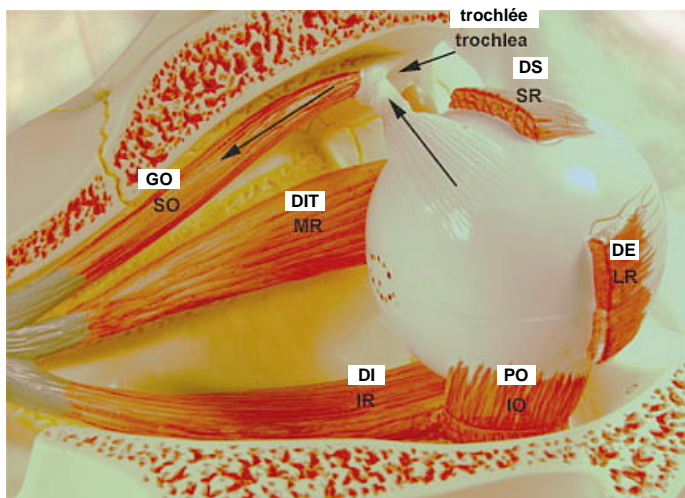
Le muscle droit inférieur (qui n'est pas présenté sur la figure 8.3) est très similaire, sauf qu'il pénètre la partie inférieure de l'œil. Principalement, il abaisse donc l'œil ; il l'adducte et le tourne vers l'extérieur également mais avec moins de force. À partir du cercle de Zinn, le DInf passe en avant et latéralement, perce la capsule de Tenon et pénètre la sclère 6,5 mm derrière le limbe. L'innervation est fournie par la division inférieure du nerf oculomoteur commun (III).

Il convient de noter qu'en ce qui concerne le DS et le DInf, si l'œil est d'abord abducté (par le DInt), l'angle de 23° est annulé, ce qui signifie que les actions primaires sont maximisées tandis que les autres deviennent négligeables.

Les obliques agissent différemment car (a) ils s'insèrent tous deux en arrière de l'équateur, et (b) ils exercent tous deux une traction en direction de l'angle avant interne de l'orbite.

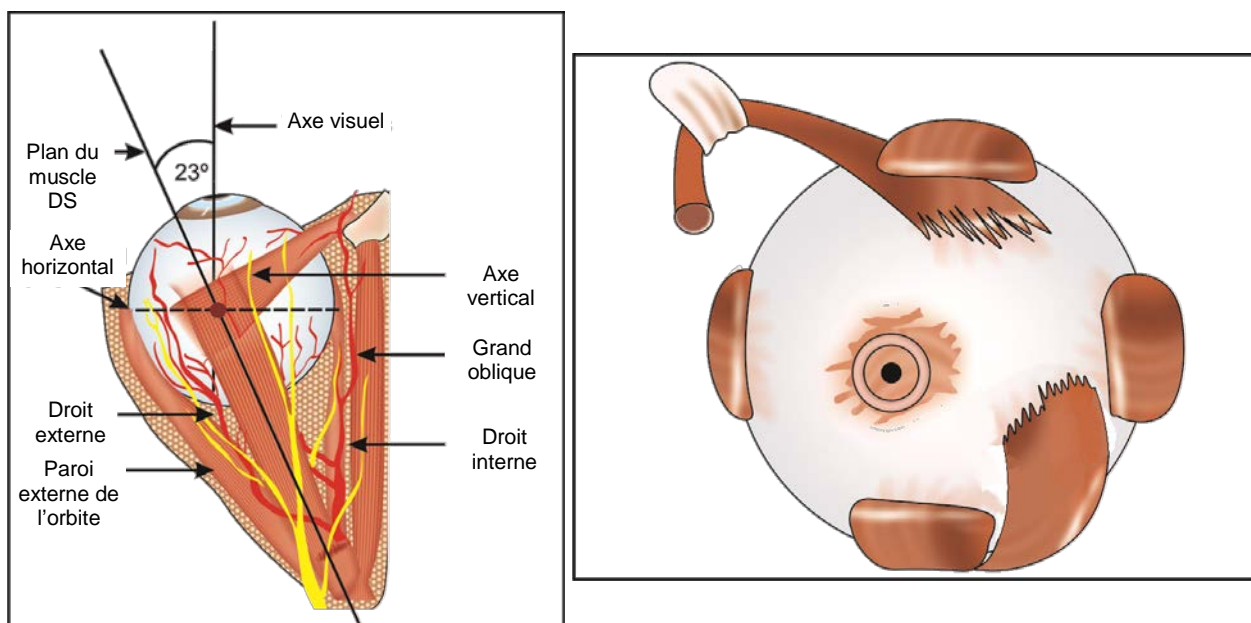
Le grand oblique provient du même cercle tendineux que les muscles droits. Le corps du grand oblique passe le long de celui du DInt mais son tendon traverse d'abord la trochlée, une poulie ligamentaire située sur la paroi interne supérieure de l'orbite (os frontal). Le tendon du GO passe ensuite en arrière, en-dessous du droit supérieur pour s'insérer derrière l'insertion de ce dernier, ainsi que derrière l'équateur à un angle de 54 degrés par rapport à la position primaire du regard. Cette incroyable anatomie signifie que lorsque le GO se contracte, l'œil est tiré vers la trochlée (plutôt que vers l'origine du muscle). Lorsque l'œil est en position droite, l'action primaire du GO est alors l'intorsion.

De plus, comme le GO exerce une traction sur la partie supérieure du globe oculaire, il tourne l'œil vers le bas. Le grand oblique est donc un muscle abaisseur du globe oculaire. Cette action secondaire est plus forte lorsque le globe est en position adductée.



**Figure 8.4 :** Le globe oculaire montrant la position du grand oblique.

Le petit oblique suit une trajectoire de traction similaire, mais il agit sur une région inférieure de l'« hémisphère sud ». Il provient du plancher de l'orbite à proximité de l'angle antérieur interne (une poulie n'est donc pas nécessaire, et il s'agit du seul muscle qui ne provient pas du cercle de Zinn). Avec le PO, la traction provoque l'action primaire d'extorsion, et l'action secondaire d'élévation est également importante.

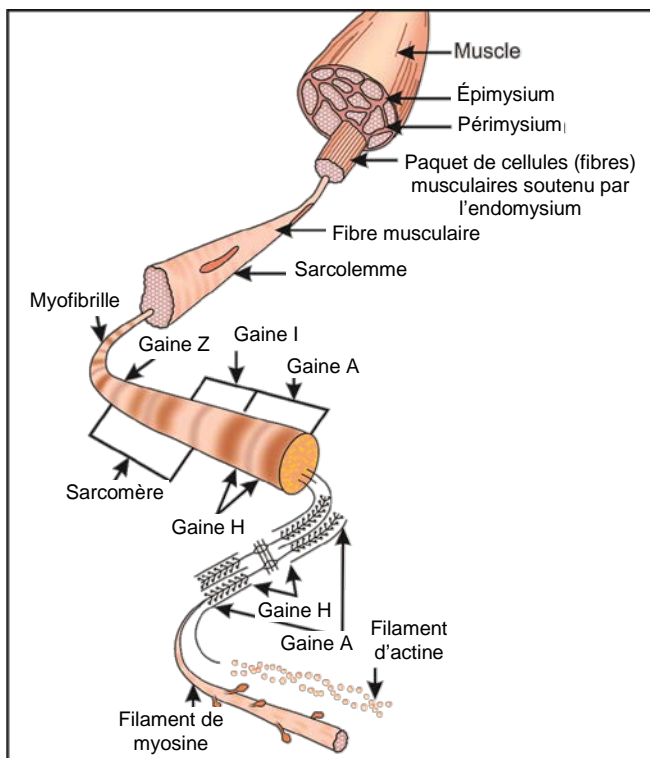


**Figure 8.5 :** Muscles extraoculaires, avec l'insertion du grand oblique (GO)



## STRUCTURE HISTOLOGIQUE DES MUSCLES EXTRAOCULAIRES

Les muscles extraoculaires possèdent une structure microscopique qualitativement similaire à d'autres muscles striés (Figure 8.6), contenant des fibres longitudinales, ovales en coupe transversale avec des noyaux périphériques.



**Figure 8.6 :** Structure du muscle extraoculaire (inspirée de Snell et Lemp)

Les fibres sont liées par un mélange de collagène et de fibres élastiques constituant l'*endomysium*. Dans le prolongement de ce dernier, le *périmysium* entoure chaque paquet de fibres à l'intérieur du muscle. Une gaine d'*épimysium* enveloppe le muscle externe.

Les fibres des muscles extraoculaires (MEO) ont tendance à être plus larges au centre du muscle et plus petites à sa périphérie. Contrairement aux muscles du squelette, les muscles extraoculaires contiennent du tissu conjonctif fragile constitué de nombreuses fibres nerveuses et de tissu élastique. Ils sont également plus vascularisés que les autres muscles du squelette. Chaque fibre possède une membrane cellulaire externe connue sous le nom de sarcolemme, où les noyaux sont visibles, et le cytoplasme interne (particulièrement connu sous le nom de *sarcoplasme*) contient les myofibrilles en coupe transversale cylindrique. Les myofibrilles possèdent une succession de sections de *sarcomères* qui contiennent eux-mêmes des filaments d'*actine* et de *myosine*.

L'innervation motrice s'effectue par les fuseaux neuromusculaires qui sont reliés aux plaques motrices (de grande taille et myélinisées) ou aux terminaisons semblables à des grappes de raisins (plus petites et souvent démyélinisées). L'arrivée d'un potentiel d'action nerveux provoque la libération d'acétylcholine à la terminaison axonique, qui à son tour provoque la dépolarisation du potentiel de repos dans les fibres du muscle par une fuite de potassium et de calcium. Le potentiel d'action musculaire de repos se propage le long des fibres nerveuses et stimule la libération de calcium depuis le réticulum sarcoplasmique. Après fixation du calcium, la contraction est provoquée par le glissement des filaments d'actine et de myosine les uns contre les autres, à la même manière d'un cliquet.

Les tendons musculaires sont formés par des paquets de collagène et des fibres élastiques parallèles. Les fibres de collagène pénètrent la sclère et fusionnent avec le collagène présent à l'intérieur, établissant ainsi une connexion très solide. Les fibres élastiques prennent fin de façon brusque à l'entrée de la sclère.

## CONTROLE NERVEUX DES MOUVEMENTS OCULAIRES

La rétine humaine possède une minuscule région, la fovéa, au niveau de laquelle l'acuité est maximale. Lorsque l'on regarde un objet, le but est de capturer ce dernier au centre de la fovéa. Afin de répondre à différents besoins, le système visuel a plusieurs façons de réaliser cela.

### i) Mécanismes réflexes

**Mouvements des yeux de poupée :** Ces mouvements oculaires compensateurs stabilisent l'image visuelle en réponse aux petits mouvements de la tête. Imaginez ce qu'il se passerait si vos yeux étaient figés et que votre tête bougeait. Toutes les images aperçues se déplaceraient sur la rétine en quantité équivalente au mouvement parcouru par la tête ; il s'agit du même problème que lorsqu'un appareil photo bouge. Afin d'éviter cela, nous possédons une sorte de « *steady-cam* » : chaque mouvement de la tête est compensé par un mouvement oculaire dans la direction opposée (et de même vitesse) afin que l'image rétinienne reste immobile en réalité.

Le phénomène des yeux de poupée (PYP) est initié par le système vestibulaire dans l'oreille interne (partie cinétique de l'appareil vestibulaire). Cela se produit presque toutes les fois que vous bougez, puisqu'il existe d'innombrables mouvements légers de la tête dont vous n'êtes pas conscient. Si votre tête tourne légèrement sur la droite, le PYP fera bouger vos yeux dans la même mesure du côté gauche. Si vous inclinez la tête de quelques degrés vers votre épaule droite, cela sera contrebalancé par les mouvements de torsion oculaire. Le circuit responsable de ce phénomène implique le cervelet et les noyaux du nerf crânien. Toutefois, ce réflexe de bas niveau est assez primitif. L'utilisation de signaux provenant de l'oreille interne afin de minimiser la mobilité des images rétinienne est indirecte et peu précise.

Une meilleure stratégie consiste à utiliser des stimulus visuels afin de provoquer des mouvements oculaires de correction.

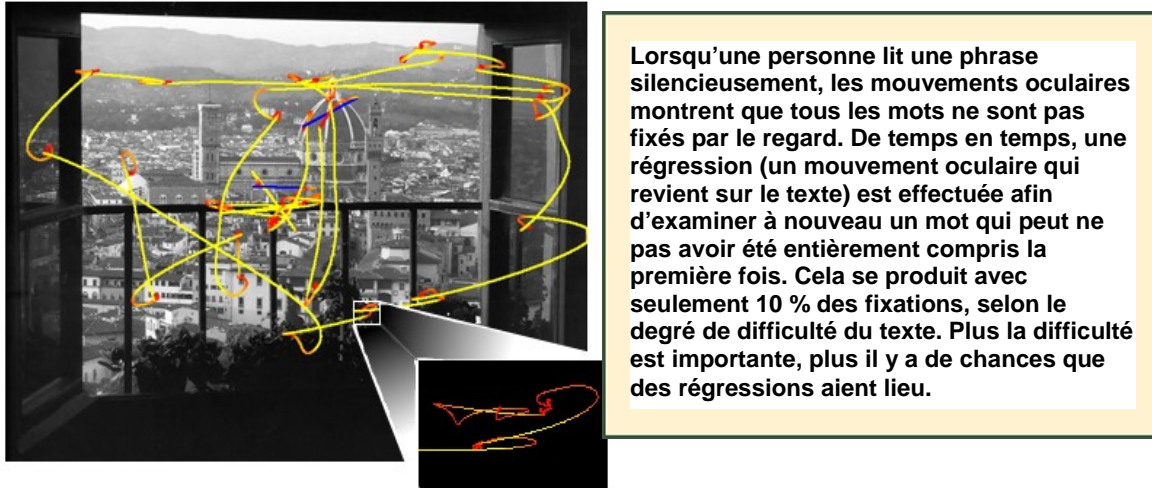
**Réflexe optocinétique :** Ces mouvements oculaires se produisent lorsqu'une grande région de l'image rétinienne est en mouvement. On peut citer l'exemple courant d'une personne assise dans un train qui regarde par la fenêtre sans fixer son attention sur quelque chose en particulier. Alors que le paysage défile, les yeux suivent (fixent) brièvement une scène puis passent rapidement à l'autre.

### ii) Mouvements dirigés par l'attention

**Saccades :** Il s'agit de mouvements balistiques rapides qui changent la direction du regard de façon brusque. Ils sont importants pour le placement d'un objet d'intérêt différent sur la fovéa. Lors d'une saccade, la vitesse de rotation des yeux peut atteindre 700° par seconde, par exemple pour changer soudainement la direction du regard de la gauche vers la droite. En raison de cette vitesse élevée, les mouvements sont très brefs et durent rarement plus de 50 ms au total.

Les saccades correspondent à des mouvements oculaires volontaires puisque nous pouvons choisir de regarder quelque chose ou non et de déplacer volontairement notre attention visuelle. Toutefois, une fois l'exécution du mouvement initiée, elle est automatique et prédéterminée. La perception visuelle est transitoirement inhibée lors des mouvements oculaires saccadés, afin que le balayage rapide ne soit pas perçu. Lorsqu'une saccade a atteint la cible, de petits ajustements oculaires supplémentaires la maintiennent.

Voici deux exemples de tâches visuelles impliquant les trajectoires types des mouvements oculaires indiqués. Tout en regardant ces exemples, vous avez sans aucun doute effectué ces mouvements oculaires sans même réaliser leur fréquence ou la précision de leur contrôle.



**Figure 8.7 :** deux exemples de tâches visuelles impliquant les trajectoires types des mouvements oculaires.

**Poursuites oculaires lentes :** Ces mouvements sont bien plus lents et importants afin de maintenir une cible mobile en vision centrale, autrement dit le suivi visuel. Ils ne dépendent pas d'un contrôle volontaire.

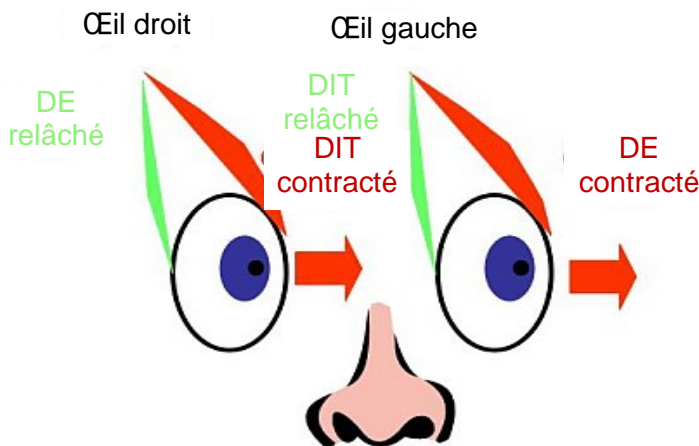
Les **mouvements convergents** maintiennent la fixation sur un objet lorsqu'il se rapproche ou s'éloigne de vous. Par exemple, on vous lance un ballon à 25 mètres de distance et vous le regardez afin de l'attraper.

## VOIES DE CONTRÔLE NERVEUX

La contraction des autres muscles du squelette consiste en l'activité coordonnée des motoneurones inférieurs et supérieurs. De même, il existe une hiérarchie de mécanismes de contrôle qui sont importants pour la régulation des mouvements oculaires. Il serait trop simpliste de considérer que le mouvement coordonné des yeux se ramène au fonctionnement des muscles extraoculaires. En effet, plusieurs régions cérébrales agissent dans le but de contrôler les mouvements oculaires, notamment le cortex cérébral, le tronc cérébral, le colliculus supérieur et le cervelet.

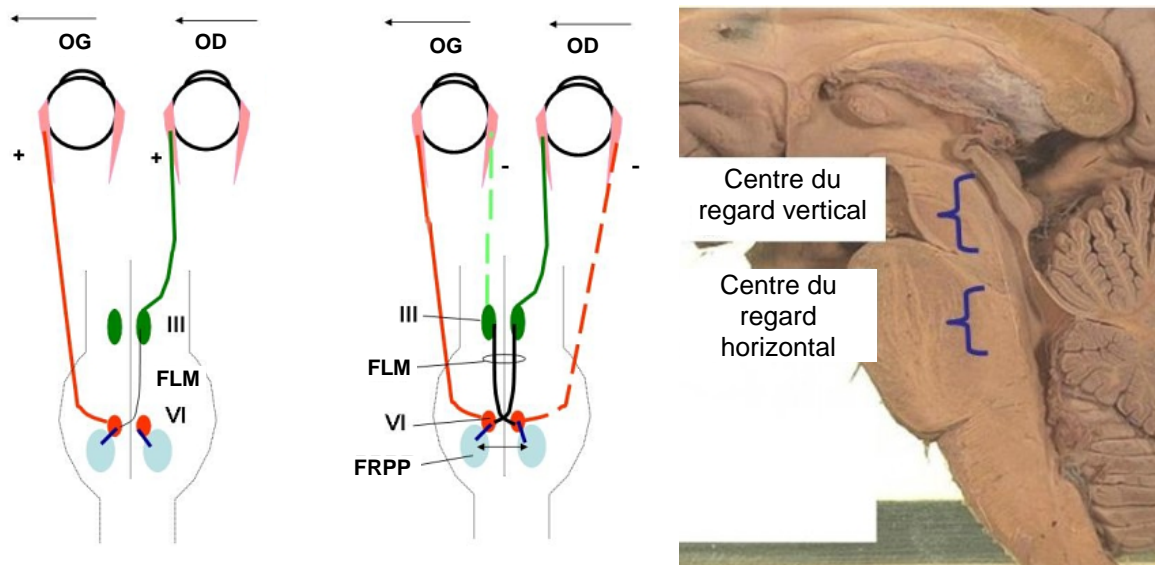
Examinons tout d'abord notre façon coordonnée de bouger les deux yeux sur le côté. Comme expliqué précédemment, le mouvement oculaire horizontal nécessite des actions coordonnées de la part des muscles droits interne et externe. Examinez le schéma ci-dessous : le mouvement oculaire vers la gauche nécessite la contraction du droit externe gauche et le relâchement simultané du droit interne gauche. Le muscle droit interne du côté droit doit se contracter simultanément, tandis que le droit externe doit se relâcher.





**Figure 8.8 :** Coordination des mouvements oculaires

Des circuits à l'intérieur du tronc cérébral servent de médiateurs à la coordination de la contraction et du relâchement des muscles opposés. Cela comprend les noyaux des nerfs crâniens, correspondant à des voies disposées verticalement qui relient les noyaux des nerfs crâniens et la formation réticulée. Le circuit neuronal, important pour le contrôle des mouvements oculaires horizontaux, correspond à un flux d'informations s'étendant du nerf abducens (6<sup>e</sup>) aux noyaux du nerf oculomoteur (3<sup>e</sup>). Le faisceau longitudinal médial (FLM) correspond à la voie qui relie le noyau du nerf moteur oculaire d'un côté au noyau du nerf oculomoteur commun de l'autre côté. En particulier, le FLM coordonne la contraction du muscle droit externe gauche avec la contraction du muscle droit interne droit (et vice versa). Afin de parvenir à un relâchement des muscles opposés, la formation réticulée pontique paramédiane (FRPP) est importante. La région de la formation réticulée fournit des informations inhibitrices à l'intérieur du noyau du nerf moteur oculaire



**Figure 8.9 :** Innervation des muscles extraoculaires et centres du regard

Comme il a été indiqué précédemment, les mouvements oculaires verticaux impliquent deux muscles droits et deux muscles obliques. Les circuits neuronaux du tronc cérébral qui régulent ces quatre muscles de manière coordonnée sont tous situés à l'intérieur du mésencéphale et leur fonctionnement est moins bien compris. Les centres du tronc cérébral qui contrôlent les mouvements oculaires verticaux sont situés à l'intérieur de la formation réticulée du mésencéphale.

Certains syndromes cliniques sont associés à des lésions focales dans le tronc cérébral. Par exemple, les lésions qui affectent les centres pontiques du regard entraînent des défauts du regard horizontal en direction du côté ipsilatéral, sans toutefois affecter les mouvements oculaires verticaux. Réciproquement, des lésions du mésencéphale peuvent entraîner des déformations du regard vertical, sans affecter le regard horizontal. Si une lésion focale (ex. la sclérose en plaques) affecte le FLM d'un côté, on remarque généralement une insuffisance au

niveau de l'adduction ipsilatérale lorsque l'autre œil abducte, provoquant une diplopie. Ce syndrome s'appelle l'ophtalmoplégie internucléaire (il existe différentes variantes).

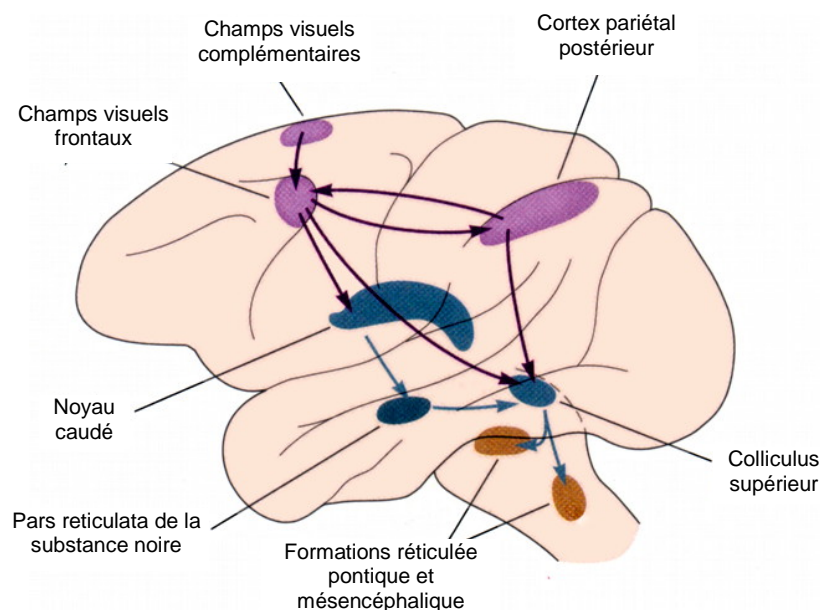
Le contrôle des saccades implique également un circuit neuronal complexe, reliant de nombreux centres supérieurs du cerveau, dont des parties des noyaux gris centraux. L'expression de ce traitement s'effectue par l'intermédiaire du tronc cérébral, qui constitue donc un centre important. Les patients présentant des lésions au niveau des régions du tronc cérébral ne peuvent pas effectuer de mouvements oculaires horizontaux du côté de la lésion. Comme indiqué ci-dessus, la coordination des mouvements oculaires horizontaux implique la formation réticulée pontique paramédiane, et ce sont les neurones situés à l'intérieur de cette zone qui orchestrent le débit d'impulsion régulé vers les muscles extraoculaires.

Deux types de cellules sont particulièrement importants dans ce processus. Les neurones à décharges situés dans la FRPP s'activent à une fréquence élevée juste avant et pendant les saccades ipsilatérales (similaires au composant d'impulsion du motoneurone inférieur). Les neurones omnipauses s'activent en permanence, sauf pendant une saccade. Ces neurones sont GABA-ergiques et inhibent les neurones à décharges. Il existe également de nombreux types de neurones à décharges, tels que les neurones à décharge lente, les neurones à décharge moyenne, les neurones inhibiteurs et les neurones toniques, qui possèdent différents rôles dans la modulation du débit du tronc cérébral.

Les décisions relatives à l'orientation des mouvements oculaires volontaires et au moment choisi pour les effectuer sont définies dans certaines régions du cortex cérébral. Les champs visuels frontaux et complémentaires ainsi que le cortex pariétal postérieur contiennent des neurones qui dirigent les mouvements oculaires. Ces régions cérébrales communiquent avec les colliculi supérieurs qui intègrent les informations et envoient des signaux aux neurones à décharge lente dans les centres du regard.

Contrairement aux saccades, les poursuites oculaires lentes et les mouvements convergents impliquent le cervelet. Cela est probablement nécessaire car ces mouvements oculaires sont plus susceptibles d'être intégrés dans des ajustements de la tête et/ou de la position du corps, et sont souvent liés à des mouvements des membres agiles.

**Figure 8.10 :** Centres impliqués dans la détermination de mouvements oculaires, illustrés sur une coupe latérale du cerveau du singe.



## EXAMEN DES MOUVEMENTS OCULAIRES

Si les yeux ne bougent pas de manière conjuguée, un patient aura très certainement une vision double (diplopie). Cela peut être causé par un traumatisme de l'orbite, un trouble des muscles extraoculaires, un défaut nerveux ou une lésion au tronc cérébral.

Le principal objectif de l'examen des mouvements oculaires consiste donc à déterminer la présence d'une diplopie et à voir si l'action de chacun des six muscles est normale. Cela permet de fournir des informations sur les nerfs crâniens ainsi que sur les régions du mésencéphale et du pons.

Pour obtenir plus d'informations sur les modalités de l'examen des mouvements oculaires, veuillez vous reporter au chapitre *Motilités* du module *Procédures optométriques cliniques 1*.