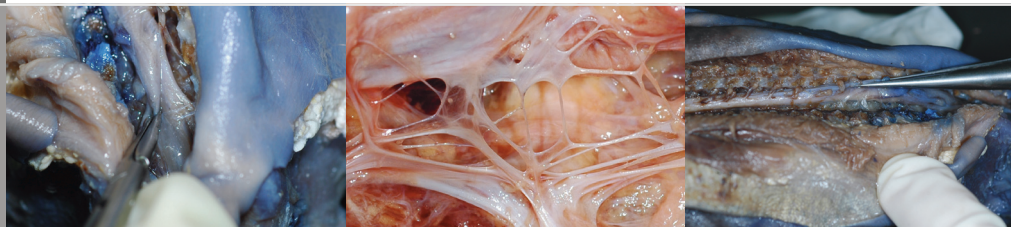


## Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte



**Hafida Izelfanane** <sup>1,2,3,4\*</sup>

1 Ostéopathe, Niort, France

2 Master 1 Sciences Biologiques et Médicales, Laboratoire d'anatomie de la Faculté de Médecine de Nantes, France

3 Département recherche de l'Institut des Hautes Études Ostéopathiques (IdHEO) Nantes, France

4 Assistante de Dissection, Université d'Heidelberg, Allemagne

\* Correspondance  
izelfido@yahoo.fr

**Keywords:**

dura, Trolard's anterior sacro-dural ligament, Hofman's ligament, Forestier's operculum, Soulié's fibers, posterior longitudinal ligament

**Mots clés :**

dure-mère, ligament sacro-dural antérieur de Trolard, ligament de Hofmann, opercule de Forestier, fibres de Soulié, ligament longitudinal postérieur

**Dural attachments on the spine: rediscovering anatomy**

**Abstract**

**Objectives:** Classical anatomy books describe the spinal dura as a freestanding structure in the vertebral canal. Older books though, had been describing dural attachments on the spine. This study aims to evaluate the descriptions in the literature and to compare them with an experimental study.

**Methods:** The anatomical study was done on 3 female subjects, average age 84, and on a female foetus estimated at 26wks. An histological study on series of slides was also done on a male subject aged 93.

**Results:** Maintained by its attachments around the foramen magnum and the filum terminale, the Dura has lateral bony attachments via the Forestier's operculum and Hofman's ligaments. The Forestier's operculum are drum-like structures lining the intervertebral foramen openings. The Hofman's ligaments develop themselves between anterior-facing spinal roots and posterior longitudinal ligament (PLL); their orientation changes depending on the vertebral level.

Anteriorly, the Dura is maintained by the Trolard's ligament, a medial sagittal structure with arcuate fibers that can sometime appear as a complete septum or as a powerful adherence between the Dura and the PLL.

**Conclusion:** The spinal dura attaches itself on the spine. These attachments intervene in the adaptive dynamics of the dura along the size variations of the vertebral canal. They can also modulate, curb and control mobility and development. These bony attachments are interacting directly with the vasculo-nervous component of the intervertebral foramen. Any motion of the spine, toward flexion or extension, tightens or slackens the attachments, which then act as a real vascular pump, optimizing the vascular flow between intra and extra-spinal networks.

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## Introduction

La dure-mère est une couche fibreuse, épaisse, résistante et d'aspect nacré, qui est directement accolée à la table interne des os du crâne, mais qui est séparée de l'os au niveau rachidien par un espace péri-méningé, l'espace épidual [1]. De manière générale, les ouvrages anatomiques classiques décrivent cette membrane comme étant une structure libre dans le canal vertébral c'est-à-dire dépourvue d'attaches. Hormis ses adhérences sur le pourtour du *foramen magnum* et le *filum terminale* qui relie l'extrémité inférieure de la dure-mère au coccyx, très peu d'insertions sur le rachis ont été répertoriées. L'objectif de cette recherche est de recenser les descriptions faites dans la littérature et de les confirmer par une étude expérimentale.

## Rappels

### Anatomie

#### *La pie-mère spinale*

Elle tapisse toute la surface de la moelle et lui adhère intimement. Elle se prolonge au-dessous de la moelle, sur le filum terminale, jusqu'au fond du cul-de-sac dure-mérien. De chaque côté de la moelle, il existe une lame fibreuse, verticale et transversale, tendue sur toute la hauteur de la moelle. On lui donne le nom de ligament dentelé. Il est placé entre les racines ventrales et dorsales des nerfs spinaux. Son bord interne est uni à la pie-mère. Son bord externe est festonné et s'attache à la face interne de la dure-mère. La digitation supérieure du ligament dentelé s'attache à la face interne de la masse latérale de l'occiput, au-dessous et en arrière de l'orifice interne du canal condylien antérieur, au-dessus et en arrière de l'orifice dure-mérien traversé par l'artère vertébrale et le premier nerf spinal [1].

#### *L'arachnoïde*

Elle est composée de 3 couches :

- une couche discontinue de cellules en contact avec le liquide céphalo-rachidien (LCR). Cette couche cellulaire est ancrée par des desmosomes à la dure-mère et par des trabécules qui, après avoir traversé le LCR, se collent à la pie-mère ;
- au niveau médian, se situe une lame basale continue ;
- la couche externe est en contact avec la face interne de la dure-mère. Elle est constituée d'une couche cellulaire continue présentant de très nombreuses jonctions serrées et sans espace extracellulaire significatif [2].

#### *Le ligament longitudinal postérieur*

Il présente une forme triangulaire et est constitué de 2 couches :

- la couche antérieure peut être en continuité avec le ligament longitudinal antérieur situé en avant des corps vertébraux ;

- le feuillet postérieur pourrait, pour certains auteurs, fusionner avec l'enveloppe des nerfs.

A sa face antérieure, ses adhérences se terminent sur le périoste des corps vertébraux et surtout sur le disque (*annulus fibrosus*).

A sa face postérieure, au niveau intervertébral, il émet des adhérences qui le rattachent au fourreau dural. Ces adhérences peuvent devenir de véritables ligaments méningo-vertébraux, mais ne constituent pas un obstacle à la diffusion des produits administrés en épidual [2].

#### *La dure-mère*

La dure-mère spinale est un manchon fibreux qui contient la moelle spinale et les racines des nerfs rachidiens.

#### *Extrémité supérieure*

Elle se continue par la dure-mère encéphalique au niveau du foramen magnum, et est traversée au niveau de l'articulation occipito-atloïdienne, par les artères vertébrales [1]. Elle adhère intimement à la surface du trou occipital, mais dès la 3<sup>e</sup> vertèbre cervicale, elle se dédouble en deux feuillets. Un feuillet externe ou périosté, mince, qui se moule sur toutes les saillies ou dépressions du canal rachidien, et un feuillet interne plus épais, la dure-mère proprement dite, qui correspond à la couche interne de la méninge crânienne qui se modèle sur la forme de la moelle [3].

#### *Extrémité inférieure*

Elle descend en dessous du cône terminal de la moelle pour envelopper les racines de la queue de cheval et le filum terminal. Elle s'insère sur la deuxième pièce sacrée, mais ne se termine pas à ce cul-de-sac dural. En effet, elle se prolonge jusqu'à la base du coccyx où elle prend le nom de ligament coccygien de la moelle et où elle s'y fixe par des filaments en éventail [1]. Le fait que le cul-de-sac dural ne corresponde pas topographiquement à la terminaison du cône terminal de la moelle, s'explique embryologiquement du fait que la dure-mère croît plus vite que la moelle durant la période foetale [3].

#### *Surface interne*

Lisse, elle présente de chaque côté, les orifices d'entrée des racines des nerfs spinaux dans leurs gaines dures. Elle est reliée à la pie-mère par quelques tractus conjonctifs et par les ligaments dentelés [1].

#### *Surface externe*

Elle adhère à la paroi antérieure du canal vertébral sur la hauteur des deux premières vertèbres cervicales. Partout ailleurs, elle est séparée de ces parois par un espace épidual, très étroit en avant où la dure-mère est unie au ligament vertébral commun par quelques brides fibreuses. Cet espace est au contraire large sur les côtés et en arrière en regard des lames. L'espace épidual est occupé par une graisse fluide et les plexus veineux intravertébraux [1].

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## **Insertions dures sur le canal vertébral**

De nombreux ouvrages ou articles scientifiques décrivent des attaches dure-mériennes sur le ligament longitudinal postérieur, comme étant de véritables ligaments méningo-vertébraux. Lors de notre recherche bibliographique, nous avons recensé cinq types d'insertions dures décrites.

### **Ligament de Trolard**

En 1888, Trolard décrit la dure-mère comme étant une structure qui envoie le long du rachis, des prolongements filiformes en plus ou moins grand nombre vers le ligament commun vertébral postérieur. A partir de L4 ou L5, il existe une sorte de condensation de ces filaments : véritable ligament, il est placé entre la partie moyenne de la dure-mère et le ligament vertébral commun postérieur. C'est parfois une cloison complète ; mais le plus souvent, elle est incomplète, fenêtrée, formée par des fibres arciformes qui vont d'une vertèbre à l'autre. Ce ligament va en s'effilant au fur et à mesure qu'il s'approche du cul-de-sac duro-arachnoïdien. Arrivé à ce niveau, il se termine en pointe pour aller s'attacher aux dernières vertèbres sacrées, en se plaçant au-dessous du faisceau moyen du filum terminal. C'est en réalité l'extrémité inférieure de ce ligament, qu'on peut appeler « ligament sacré antérieur de la dure-mère », qui fixe aux parois solides du canal sacré le cul-de-sac dural et arachnoïdien [4]. Il sera appelé plus tard le ligament sacré antérieur de la dure-mère de Trolard, ou ligament sacro-dural. Le ligament de Trolard est une structure qui est décrite dans plusieurs ouvrages : Testut [5], Poirier & Charpy [3], Bourret & Louis [6], Bouchet & Cuilleret [7], Williams & Warwick [8].

### **Ligaments de Hofmann**

Poirier et Charpy ont décrit en 1921 des « ligaments dorso-latéraux, propres à la région sacrée, qui naissent de chaque côté de la dure-mère près du cône terminal et vont se fixer à la partie postérieure du canal osseux » ; une étude datant de 2004 [8] montre que ces ligaments sont « présents sur plusieurs niveaux entre C7 et L5 et bien que la plupart de ces ligaments soient limités à un seul segment vertébral, certains ont été observés s'étalant sur plusieurs segments vertébraux ». Ces ligaments vont de la dure-mère au ligament longitudinal postérieur. Leurs orientations changent tout au long de la colonne, pour passer d'une direction caudo-craniale au niveau thoracique supérieur, à une direction transverse à hauteur des vertèbres T8-T9, et à une direction cranio-caudale au niveau des thoraciques basses et des lombaires. Leur longueur varie de 0,5 à 28,8 mm [8].

### **Opercules de Forestier**

Poirier et Charpy avaient décrit en 1921 des attaches au niveau du trou de conjugaison :

*« Les gaines dures des nerfs constituent, un système de fixation transversale. Tout nerf rachidien se compose, de deux racines, une antérieure et une postérieure pourvue*

*d'un ganglion. Chaque racine traverse la dure-mère par un trou indépendant, et reçoit à sa sortie de cette méninge une gaine fibreuse propre qui l'enveloppe jusqu'au-delà du ganglion, où elle se confond avec le névrilème du nerf mixte. Au niveau du trou de conjugaison, chacune de ses gaines est intimement unie au périoste par des tractus fibreux. » [3]*

Bien avant, en 1900, des formations similaires sont visibles sur des schémas de Testut et ont été annotées comme étant des « tractus conjonctifs allant de la gaine durale au périoste ». « Au cours de leur trajet, les gaines dures des racines rachidiennes jettent des tractus conjonctifs, plus ou moins nombreux, et plus ou moins résistants, sur le périoste qui tapisse le trou de conjugaison » [9]. C'est en 1922, à l'occasion d'un travail sur le trou de conjugaison que Forestier a décrit son orifice externe comme étant fermé par un :

*« opercule fibreux, tendu sur le pourtour à la manière d'une peau de tambour sur son cadre. À la région dorsale, il forme un plan continu où s'isolent des faisceaux de renforcement des articulations costo-vertébrales. En avant, en haut et en bas, ce sont les fibres des ligaments rayonnés des articulations sus et sous-jacentes. En arrière, c'est le ligament cervico-transverse intercostal, avec ses deux faisceaux antérieur et postérieur qui unit le col de côte à l'apophyse transverse sous-jacente. Il s'en détache même un petit faisceau qui, né au point où l'opercule fibreux recouvre la tête de la côte, pénètre par le trou de conjugaison dans le canal rachidien pour se fixer, près de la ligne médiane, à la face postérieure du disque intervertébral. Sur cet opercule fibreux est encore jeté à la région dorsale la lame continue du fascia endothoracique appliqué à la face interne des côtes, si bien qu'après avoir traversé l'opercule, les organes du trou de conjugaison se trouvent dans l'espace intercostal ».*

Cet opercule est percé de nombreux orifices : « au centre, celui du funicule et de l'artère spinale ; tout autour, ceux des plexus veineux rachidiens. Quand les organes du trou de conjugaison ont traversé cet opercule fibreux, ils sont désormais entourés d'une mince gaine celluleuse, qui ne ressemble en aucune façon à leurs enveloppes intra-rachidiennes ; si bien que l'on peut dire que l'enveloppe dure-mérienne du funicule se termine sur cet opercule fibreux, en mélangeant ses propres fibres avec celui-ci » [10].

Le trou de conjugaison présente selon Forestier, trois compartiments nettement séparés :

- « au centre, un département nerveux et artériel, le funicule et l'artère spinale dans une gaine duremérienne cylindrique ;
- un espace annulaire, lymphatique, entourant les formations précédentes et situé entre la dure-mère et la lame épидurale ;
- un deuxième espace annulaire, entourant les deux autres, c'est le département veineux entre la lame épидurale et le périoste du canal rachidien ». [10]

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## Filum Terminale

Le *filum terminale*, décrit pendant longtemps comme une simple dépendance de la pie-mère, est maintenant considéré comme un prolongement de la moelle. Le canal central de celle-ci se prolongerait « dans toute son étendue avec les éléments qui le composent, et entouré d'une couche de substance grise, dans l'épaisseur de laquelle on observerait des tubes nerveux très fins » [11, 12]. Des dissections de Trolard, il résulte que la partie du *filum*, située au-dessous du cul-de-sac, est manifestement composée de trois cordons : deux latéraux, qui ne sont autres que les sixièmes nerfs sacrés ; et un médian, souvent beaucoup plus petit que les latéraux, qui adhère à la dure-mère au moment où il traverse cette membrane, se place ensuite en arrière du prolongement terminal du ligament sacré antérieur, et va s'attacher à la partie moyenne de la première pièce du coccyx par un ou plusieurs filaments. Il n'est pas rare de voir aussi cette partie du *filum* fournir les deux cinquièmes sacrés ; d'autres fois, la sixième seulement d'un côté, la cinquième et la sixième de l'autre côté. Dans ces cas, les deux cinquièmes – l'une d'elles, s'il n'y en a qu'une provenant du *filum* – s'accrochent à ce *filum*, au-dessus de la terminaison du cul-de-sac, dans une étendue de quelques millimètres, traversent avec lui la dure-mère et s'en séparent à une hauteur variable. Dans certains cas, le *filum* s'épuise complètement au-dessus du cul-de-sac, après avoir fourni les deux dernières paires sacrées ; et c'est le prolongement du ligament de la dure-mère qui, seul, fait office de lien entre l'extrémité inférieure de la dure-mère et le coccyx [4].

## Embryologie

Les adhérences entre l'arachnoïde et la dure-mère sont des reliquats embryonnaires qui seront plus importants chez un sujet jeune, pouvant constituer, dans près de 30 % des cas, un véritable septum au niveau lombaire. Cependant, ces adhérences se rompent facilement, permettant la constitution d'un espace sous-dural de diffusion. Cet espace sous-dural est plus important au niveau cervical qu'au niveau lombaire. Il peut facilement se disséquer dans sa partie postérieure et ensuite s'élargir dans les régions latérales [2]. La dure-mère adhère à la face postérieure du ligament longitudinal postérieur de façon plus étroite pour le nouveau-né et plus lâche pour l'adulte. Ces adhérences, véritables ligaments méningo-vertébraux, s'épaississent vers la région lombo-sacrée [2]. Sur un rachis d'un fœtus de 11 semaines, des ligaments méningo-vertébraux ont été découverts, bien qu'ils soient plus fins que ceux de l'adulte. Ils sont entourés par de nombreuses cellules mésenchymateuses dans l'espace épidual. Ces cellules sont absentes et remplacées par de la graisse épidual sur des fœtus plus âgés [13].

## Histologie

La dure-mère est constituée de 3 feuillets :

- le feuillet externe : constitué d'un tissu fibro-adipeux richement vascularisé ;

- la couche médiane : également vascularisée, est constituée de fibres de collagène à orientation fortement longitudinale qui donnent à la dure-mère une certaine élasticité dans ce sens. Cette couche est plus épaisse postérieurement pour faire face à une plus grande sollicitation lors des mouvements de flexion ;

- le feuillet interne est formé d'une couche cellulaire qui se caractérise par de larges espaces intercellulaires [2].

Des études histologiques sur des rachis de fœtus et d'adultes ont montré que les ligaments méningo-vertébraux sont principalement constitués d'un tissu conjonctif dense et de fibres d'élastine entourées de lobules adipeux. Le composant majeur a été identifié par immuno-histo-chimie comme étant le collagène de type I. Ces ligaments sont en continuité avec la couche la plus externe de la dure-mère et avec la paroi ostéo-fibreuse du canal rachidien. Latéralement, ils sont liés à l'*epineurium* des nerfs spinaux [13].

## Vascularisation

### Les artères

Les artères proviennent des rameaux spinaux que donnent, au niveau des foramens intervertébraux, les artères vertébrales, intercostales, lombales et sacrales latérales. Les artères spinales sont fournies pour la huitième cervicale par la cervicale ascendante [10]. Dès son entrée dans le trou de conjugaison, l'artère spinale contracte des rapports étroits avec le nerf rachidien. Elle perfore la dure-mère, et chemine au contact des troncs nerveux, sous la mince gaine sous-arachnoïdo-pie-mérienne qui les accompagne dans leur trajet intra-méningé. L'ancienne conception des anatomistes, Sappey, Cruveilhier, Farabeuf, considérait ces branches comme étant des voies de renforcement à la circulation intrarachidienne, essentiellement assurée par les artères spinales antérieure et postérieure. À la suite des travaux de Charpy et d'Adamckiewicz, les artères médullaires sont considérées comme des artères segmentaires qui pénètrent par un trou de conjugaison et se distribuent à un métamère. Dans l'ensemble du rachis mobile, il n'y aurait en moyenne qu'une artère spinale sur quatre de développée, soit environ 12 à 13 en tout. Suivant Tanon, il existerait, du fait que ces branches intra-médullaires soient terminales, une topographie vasculaire des lésions de la moelle par oblitération d'un des gros trous principaux, par embolie, thrombose ou par compression [14].

La vascularisation de la dure-mère est différente sur sa face antérieure et sur sa face postérieure. La face antérieure est peu vascularisée. Il existe un courant artériel médian – ou très près de la ligne médiane – disposition qui rappelle celle de la voie artérielle spinale antérieure. La face postérieure est plus richement vascularisée. Sauf pour les 2/3 supérieurs de la région cervicale où la vascularisation se concentre en deux courants artériels latéraux. Ces différents courants artériels s'anastomosent sur la surface externe de la dure-mère en donnant une disposition d'arcades [15].

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## Les veines

Les veines et plexus veineux font communiquer le réseau intra-rachidien et le réseau extra-rachidien. Ces plexus sont très développés, et possèdent des valvules ouvertes vers l'extérieur. Il existe dans le canal rachidien de chaque côté de la ligne médiane, deux voies verticales, les plexus longitudinaux antérieur et postérieur, et des voies horizontales au niveau de chaque vertèbre, ce sont les plexus transverses antérieurs et postérieurs, unissant les plexus longitudinaux du même nom [10]. Le rôle des plexus est des plus importants. Ils convoient tout le sang intra-rachidien, osseux et médullaire. Ils permettent, en se vidant, l'expansion systolique de la moelle et le déplacement du liquide céphalo-rachidien. Leur congestion exerce vraisemblablement une influence sur le ganglion et le nerf rachidiens qu'ils enveloppent étroitement.

## Les lymphatiques

Les descriptions du système lymphatique sont pauvres. L'espace épidual contiendrait un certain nombre de ramifications lymphatiques qui se divisent dans des manchons vasculaires autour des artères spinales. Ces réseaux lymphatiques viendraient ensuite se jeter dans les ganglions paravertébraux.

## Innervation

Les méninges sont innervées par les rameaux méningés des nerfs spinaux. Chaque rameau méningé est formé de deux rameaux. L'un se détache du ganglion correspondant du tronc sympathique ou du rameau communicant gris ; l'autre, du nerf spinal (c'est le petit nerf sinu-vertébral de Luschka). Les rameaux méningés pénètrent dans le canal vertébral par le foramen intervertébral correspondant, où ils sont placés en avant des racines des nerfs spinaux [1]. Le ligament longitudinal postérieur a une fonction sensitive grâce à des terminaisons nerveuses qui siègent de façon prédominante en regard de l'étage discal (segment intervertébral). Ces fibres sensibles proviennent du sinus nerveux vertébral qui pénètre par les trous de conjugaison dans le canal rachidien.

## Matériel et méthodes

### Sujets

Dans cette étude nous avons étudié 5 sujets dont les caractéristiques étaient les suivantes :

- sujet féminin de 78 ans formolé, rachis de C7-D1 au coccyx ;
- sujet masculin de 93 ans frais, prélèvement du rachis de C2 au coccyx, congélation pour étude histologique ;
- sujet féminin de 81 ans frais (rachis entier) ;
- sujet féminin de 99 ans frais (rachis entier) ;
- fœtus estimé à 28 SA formolé.

### Instruments

Pour les dissections, nous avons utilisé les instruments suivants :

- porte-lame n°4 et lames 23 ;
- pinces à disséquer ;
- pinces à clamper ;
- ciseaux ;
- marteau ;
- rachitome tranchant ou burin ;
- pince pour laminectomie ;
- pince de Kerisson ;
- curettes ;
- rugines ;
- matériel de microchirurgie.

### Voie d'abord

La voie d'abord est réalisée avec le sujet en procubitus. On réalise deux incisions cutanées paramédianes, latéralement aux processus épineux tout au long de la colonne. Les muscles de la paroi postérieure sont réséqués en ruginant afin de bien dégager les arcs postérieurs des vertèbres. La fenêtre de travail doit être assez large car plus on descend vers l'étage sacré et plus la hauteur des tissus musculaires et graisseux est importante. Une laminectomie est ensuite réalisée. Elle peut être réalisée en faisant usage du rachitome tranchant, du rachitome à scie ou d'une scie anatomique ou encore d'une scie à amputation. Le rachitome tranchant est une lame quadrilatère à dos concave se prolongeant sous forme de manche, il est assez épais pour supporter le choc d'un marteau ordinaire. Ce procédé, quoique long et laborieux, est le plus sûr et sera donc employé préférentiellement.

Pour conserver les opercules de Forestier, l'angle de section des lames est différent en fonction des étages vertébraux. Il sera plus facile de les conserver à l'étage lombaire que thoracique. En retirant les lames vertébrales nous pouvons noter la présence des fibres de Soulié, attaches conjonctives fragiles, ressemblant à de l'arachnoïde et qui sont impossibles à conserver intactes à tous niveaux. Le canal rachidien étant ouvert, la graisse diffuse et les veines qui recouvrent la dure-mère sont enlevées. En soulevant doucement la dure-mère nous pouvons observer sous les racines nerveuses, les ligaments d'Hofmann dont on notera l'orientation. Ensuite on sectionne une à une les racines nerveuses des deux côtés, ce qui nous permet de soulever un peu plus la dure-mère, afin de mettre en évidence les ligaments de Trolard. Nous noterons également la composition et structure du *filum terminale* jusqu'au coccyx. Après avoir libéré tous les étages, la moelle et son emballage dure-mérien sont extraits de la colonne et disséqués à part.

### Etude histologique

L'étude histologique est réalisée après prélèvement et congélation d'un rachis puis prélèvement de quatre échantillons rachidiens (en C4, T2, T8 et L2). La fixation est réalisée dans du formol neutre 10 % tamponné. Suivent les étapes de décalcification, rinçage, déshydratation des échantillons (alcool à 70° : deux bains de 30 minutes puis alcool à 80° :

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

deux bains de 30 minutes). Les échantillons passent ensuite dans l'histokinette pendant 24 heures :

- 3 bains d'alcool 95° :
  - bain n°1 : 1 heure ;
  - bain n°2 : 1 heure 30 ;
  - bain n°3 : 1 heure 30.
- 3 bains d'alcool 100° :
  - bain n°1 : 1 heure 15 ;
  - bain n°2 : 1 heure 30 ;
  - bain n°3 : 2 heures.
- 3 bains de butanol :
  - bain n°1 : 2 heures ;
  - bain n°2 : 2 heures 30 ;
  - bain n°3 : 2 heures 30.

Suivent ensuite les étapes d'inclusion en paraffine, de coupes au microtome (5 micromètres) et de colorations (Hé-matoxyline-éosine, Van Gieson, Luxol Fast Blue).

## Résultats

### Ligament de Trolard

Comme l'a décrit Trolard en 1888, nous avons observé dans la région lombo-sacrée, entre la dure-mère et le ligament longitudinal postérieur, une cloison médiane festonnée (*figures 1 et 2*). Cependant, cette formation ne se limite pas à cette région et a été retrouvée tout au long du rachis, sous trois formes déjà décrites dans l'étude de Girardin en 1992 [16]. Ces formations sont les fibres arciformes, les adhérences et la cloison. Notons que les fibres arciformes peuvent se condenser pour former de véritables adhérences ou cloisons.

### Ligaments de Hofmann

Concernant le ligament de Hofmann, trois orientations ont été relevées :

- caudo-craniale ;
- transverse ;
- cranio-caudale (*figure 3 et 4*) ;
- situation inter-radicaire.

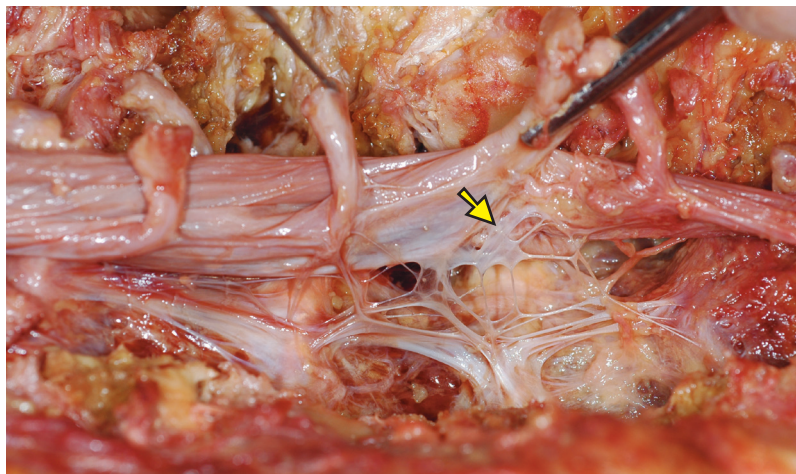


Figure 1. — Cloison médiane festonnée du ligament de Trolard.

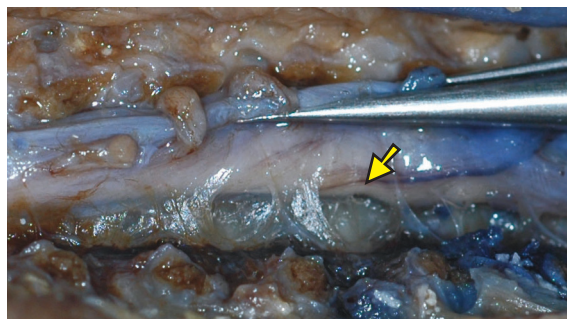


Figure 2. — Ligament de Trolard chez le fœtus d'environ 28 SA.

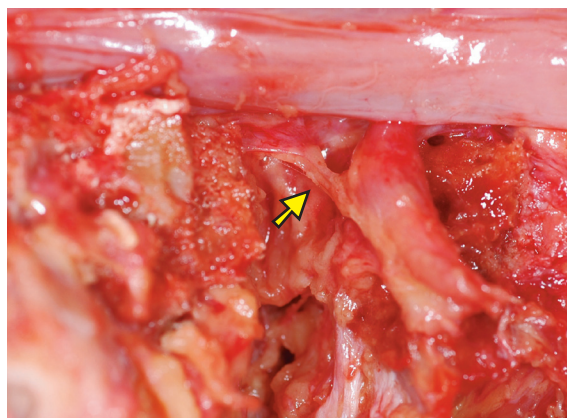


Figure 3. — Ligament de Hofmann, fibre à orientation cranio-caudale, en regard de la racine nerveuse de L5.

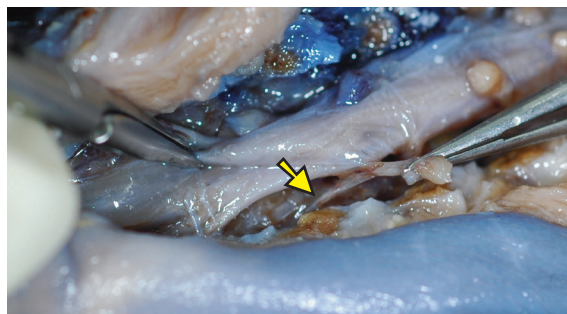


Figure 4. — Ligament de Hofmann, fibre à orientation cranio-caudale, en regard de la racine nerveuse de L5, chez le fœtus à 28 SA.

### Opercules de Forestier

Le trou de conjugaison présente à son orifice externe comme l'a décrit Forestier un opercule fibreux. Lors de ces dissections, une formation similaire a été retrouvée recouvrant l'orifice interne. Nous avons également observé un rachis où tous les opercules externes (*figure 5*) ont été conservés sauf un seul qui a été percé au niveau lombaire. Après avoir réséqué l'opercule interne et récliné la racine spinale et le ganglion rachidien, la graisse diffuante et abondante du foramen inter-vertébral a été retirée afin de visualiser la face interne de l'opercule externe. Ce dernier présente deux orifices, un pour la racine nerveuse et l'autre pour l'artère spinale.

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

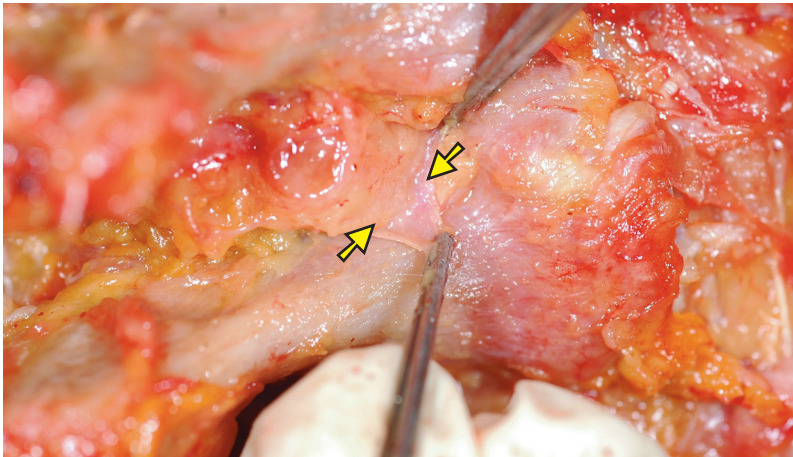


Figure 5. — Opercule externe de Forestier.

## Filum terminale

La partie distale de la dure-mère se termine par le *filum terminale*, constitué de cordons fibreux qui s'insèrent sur la partie inférieure de la face postérieure du sacrum et sur le coccyx.

## Attaches cervicales

Nous avons retrouvé un lien direct entre le ligament occipito-atloïdien postérieur et la dure-mère. Ce ligament passe en pont sur l'arc postérieur de C1 en s'y insérant. Ses fibres viennent ensuite se mêler à celles de la dure-mère. Nous avons également observé au niveau cervical de véritables ligaments qui relient la face dorso-latérale de la dure-mère spinale au ligament longitudinal postérieur (figure 6). Nous n'avons retrouvé aucune description de ces structures dans la littérature. À noter, leur direction vers l'avant et légèrement en dehors. Ils prennent une direction craniale, transverse ou caudale en fonction de l'étage vertébral. Ils naissent à la partie postéro-latérale de la dure-mère spinale, entre les racines spinales pour ensuite se rejoindre et réaliser une arcade en pont sur la face postérieure de la racine spinale. De part et

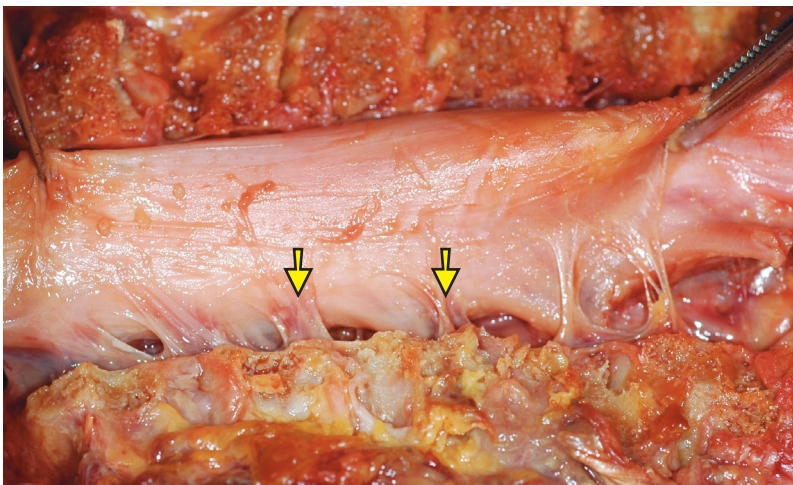


Figure 6. — Ligament dentelé extra-dural cervical.

d'autre de la racine nerveuse, ils donnent des expansions au ligament longitudinal postérieur (figure 7). Hormis les ligaments qui relient la dure-mère au canal vertébral, nous avons été surpris de retrouver des insertions musculaires directement sur la dure-mère via un système aponévrotique (figure 8).

## Attaches postérieures

Bien que peu décrites dans la littérature, il existe des attaches dure-mériennes postérieures. Elles ont été difficilement conservables lors de cette étude, à cause de l'utilisation d'une voie d'abord postérieure. En procédant par une laminectomie unilatérale, il nous a été possible de conserver certaines structures. Nous avons notamment retrouvé sur un sujet, une véritable adhérence entre la dure-mère et l'arc postérieur des vertèbres de T8 à T12. Chez le fœtus des ligaments postérieurs sont visibles à tous les étages vertébraux. Nous avons noté une disposition arciforme au niveau lombaire. Au niveau dorsal, ces formations conjonctives postérieures accompagnent des structures vasculaires.

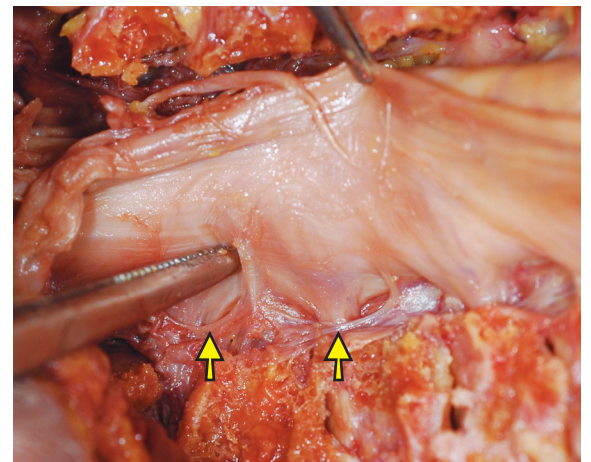


Figure 7. — Arcade du ligament dentelé extra-dural passant en pont à la face dorsale de la racine cervicale.

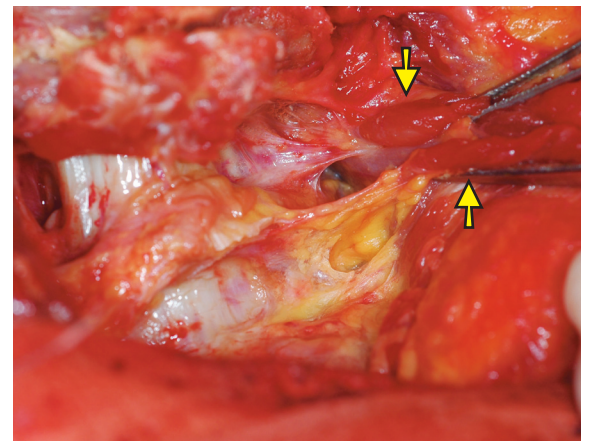


Figure 8. — Continuum musculo-aponévrotico-duremérien au niveau cervical (les insertions au niveau de C2 des muscles grand oblique et grand droit postérieur ont été réséquées).

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## Histologie

L'étude histologique a permis de mettre en évidence une continuité des tissus entre la dure-mère et l'os : une zone que l'on pourrait qualifier d'enthèse. Nous avons observé à certains endroits une conformation identique, comprenant une zone de fibrocartilage qui passe brutalement à une zone de fibrocartilage calcifié dont la limite de minéralisation se fait par l'apparition d'une ligne basophile. Sous cette couche de fibrocartilage minéralisé, se situe une zone constituée par l'os trabéculaire. La vascularisation de cette région est assurée principalement par les vaisseaux du périoste. Nous avons également observé les différentes orientations des fibres conjonctives de la dure-mère correspondant aux formations arciformes dans les trois plans de l'espace du ligament de Trolard.

## Discussion

### Limites de l'étude et réflexion

Les sujets d'étude ont une moyenne d'âge de 88 ans et présentent donc des rachis dégénératifs où les adhérences peuvent être considérées comme étant plus fréquentes. Il serait donc intéressant d'élargir l'étude. Cependant, nous avons pu constater qu'il existe également des attaches sur le fœtus. Cette étude n'a été effectuée que sur cinq sujets, elle est limitée. Elle rejoint celle de Girardin, réalisée sur 30 sujets [16].

Pour cette recherche, la voie d'abord postérieure par laminectomie ne nous a pas permis de conserver facilement le système d'attache postérieur.

Nous avons fait le choix de ne pas détailler les trousseaux fibreux de Soulié. Ce sont des attaches conjonctives fragiles, ressemblant à de l'arachnoïde et qui sont impossibles à conserver intactes à tous niveaux. Il semblerait que ces fibres accompagnent la vascularisation de la dure-mère, et constitue un véritable moyen de fixité. Nous avons cependant pu relever leur présence tout autour de la dure-mère tant à sa face antérieure que postérieure.

Comme nous avons pu le voir, les insertions de la dure-mère, bien que non décrites dans la plupart des ouvrages anatomiques classiques, ont fait l'objet d'une étude approfondie il y a plus d'un siècle. La plupart des attaches dure-mériennes ont été décrites et répertoriées mais l'anatomie ayant perdu de son importance dans l'enseignement, des choix pédagogiques ont dû être faits, éliminant des connaissances importantes que l'on ne retrouve plus dans les livres d'anatomie classiques.

### Ligament de Trolard

Nous avons mis en évidence trois morphologies différentes du ligament de Trolard et nous avons constaté que les formations à type de cloisons et d'adhérences étaient plus fréquentes chez le sujet féminin de 81 ans, présentant une scoliose.

Il serait intéressant de comprendre si leur disposition par-

ticulière a une explication biomécanique. L'expérience de Van Dun et Girardin [17] montre qu'en tractant la dure-mère caudalement ou crânialement, une partie des fibres conjonctives du ligament de Trolard se tend tandis qu'une autre partie se relâche. Ce système arciforme est conformé dans les trois plans de l'espace, avec des arches à convexité dure-mérienne et d'autres à convexité rachidienne. On a donc affaire ici à un véritable réseau ligamentaire qui contrôle le mouvement de la dure-mère dans le rachis. Ce système permettrait d'harmoniser le rapport contenant-contenu entre le rachis et la dure-mère.

### Ligament de Hofmann

Les ligaments de Hofmann présentent des différences de direction et de situation [18]. Ils se sont développés soit antérieurement aux racines spinales ou entre celles-ci. Ceci pourrait être expliqué par l'embryologie. En effet, de la même façon que l'on peut expliquer la formation du sac dural par le fait que l'ascension « relative » de la dure-mère ait été moindre que celle de la moelle durant la période fœtale, nous pouvons expliquer la formation des ligaments de Hofmann par le fait que le rachis ait subi une croissance caudale plus importante que la dure-mère. Ces structures peuvent être considérées comme des moyens de moduler, freiner et contrôler cette croissance.

### Opercule de Forestier

Des opercules externes en forme de « peau de tambour » ont été décrits par Forestier au niveau des trous de conjugaison, mais nous avons également observé des structures similaires au niveau interne. Ainsi, des schémas retrouvés dans certaines études sont incomplets, car il n'y figure pas d'opercule interne [19]. Il est intéressant de constater que sur un schéma de Corning de 1923 [20] on retrouve dessinés les opercules de Forestier internes et externes même s'ils ne sont pas nommés. On retrouve également la conformation en deux feuillets (interne et externe) de la dure-mère spinale.

Ces structures sont des éléments importants puisqu'ils ont des rapports directs et étroits avec le paquet vasculo-nerveux du trou de conjugaison. Bien qu'à ce niveau, la masse cellulo-graisseuse tient lieu d'organe protecteur, toute modification de tension au niveau de ces opercules, est susceptible de retentir sur la vascularisation, ainsi qu'irriter les racines nerveuses, ce qui pourrait expliquer certaines névralgies.

### Cas particulier des attaches dure-mériennes au niveau cervical

Nous n'avons retrouvé aucune référence bibliographique des ligaments identifiés au niveau cervical. Seul Poirier a décrit en 1921 des structures qui pourraient s'y apparenter : « [...] ligaments interspinaux, particuliers aux trois premiers nerfs cervicaux, dont ils relient les gaines dures en les unissant en une double cloison » [3]. Nous avons identifié ces structures sur deux sujets, il faudrait élargir l'étude pour savoir

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

si on les retrouve de façon constante et s'il y a des variations de formes ou de situations en fonction des individus. Nous n'avons pas pu individualiser avec précision les insertions musculaires sur la dure-mère cervicale ni faire d'étude histologique de la dure-mère cervicale pour savoir si l'on peut mettre en évidence des structures à type de mécanorécepteur ou barorécepteur. Il serait donc intéressant d'approfondir l'étude à cet étage.

## Conclusion

La dure-mère n'est pas une structure qui « flotte » dans le canal vertébral, mais elle y adhère fortement par l'intermédiaire de diverses structures. Maintenu en haut et en bas par ses attaches au niveau du foramen magnum et par le *filum*

*terminale*, la dure-mère est attachée latéralement aux parois osseuses par l'intermédiaire des opercules de Forestier et des ligaments de Hofmann. Elle est maintenue antérieurement, par une structure sagittale médiane, du nom de ligament de Trolard. Ce ligament peut prendre différents aspects. Il est souvent fenêtré et formé de fibres arciformes. Ce ligament peut apparaître sous forme de cloison complète, ou être absent en faisant place à une adhérence forte entre la dure-mère et le ligament longitudinal postérieur. Le facteur probablement le plus important qui interviendrait dans la dynamique d'adaptation de la moelle épinière et de la dure-mère spinale face aux variations de dimensions du canal vertébral, est constitué par ces différentes attaches du système dure-mérien rachidien aux structures osseuses.

**Conflits d'intérêts :** l'auteur déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt en lien avec cet article.

## Références

1. Rouviere H, Delmas A. Anatomie Humaine descriptive, topographique et fonctionnelle, Tome IV - Système nerveux central. Paris: Masson; 2002. 725p.
2. Estebe JP, Rizk L. Anatomie lombaire appliquée à la rachianesthésie. [http://www.alrf.asso.fr/site/agora/cen/b\\_estebe\\_2003.htm](http://www.alrf.asso.fr/site/agora/cen/b_estebe_2003.htm). Site fermé.
3. Poirier P, Charpy A. Traité d'Anatomie Humaine, Tome III, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules – Système nerveux. Paris: Masson et Cie; 1921.
4. Trolard P. Recherches sur l'anatomie des méninges spinales, des nerfs sacrés et du filum terminale dans le canal sacré. Paris: Archives de Physiologie 2; 1888.
5. Bourret P, Louis R. Anatomie du système nerveux central. Paris: L'Expansion Scientifique Française; 1974. 238p.
6. Bouchet A, Cuilleret J. Anatomie, topographique, descriptive et fonctionnelle, Tome 1 – Le système nerveux central, la face, la tête et les organes des sens. Villeurbanne (France): Simep; 1983. 328p.
7. Williams PL, Warwick R. Gray's anatomy. New York: Churchill Livingstone; 1984. 1578p.
8. Wadhawani S, Loughenbury P, Soames R. The anterior dural (Hofmann) ligaments. *Spine*. 2004;29(6):623-7.
9. Testut L. Traité d'Anatomie Humaine, Tome II - Angéiologie, Système nerveux central. Paris: Doin; 1900.
10. Forestier J. Le trou de conjugaison vertébral et l'espace épidual [Thèse]. Paris: 1922.
11. Sappey PC. Traité d'anatomie descriptive, Tome II. Paris: Adrien Delahaye; 1869. 876 p.
12. Sappey PC. Traité d'anatomie descriptive, Tome III – Neurologie, organes des sens. Paris: Adrien Delahaye; 1872.
13. Geers C, Lecouvet F, Nyssen-Behets C, Malghem J, Cosnard G, Lengele B. Polygonal Deformation of the Dural Sac in Lumbar Epidural Lipomatosis: Anatomic Explanation by the Presence of Meningovertebral Ligaments. *Am J Neuroradiol*. 2003;24(7):1276-82.
14. Tanon L. Les artères de la moëlle dorso-lombaire [Thèse]. Paris: 1908.
15. Lazorthes G. Système Nerveux Central – Description Systématisation Exploration. Paris: Masson; 1983. 414p.
16. Girardin M. Anatomische realiteit omtrent het ligament van Trolard en de caudale durale inserties [Mémoire]. Bruxelles: Société Belge d'Ostéopathie; 1992.
17. Van Dun PLS, Girardin MRG. Embryological study of the spinal dura and its attachment into the vertebral canal. *International Journal of Osteopathic Medicine*. 2006;9(3):85-93.
18. Hofmann M. Die Befestigung der Dura mater im Wirbelkanal. *Arch Anat Entwicklsgesch*. 1898:40312.
19. Boutin JL. Présentation du thorax, chapitre V le complexe vertébral thoracique, 2007 <http://www.osteopathie-france.net/essai/thorax/185-thorax05>. Consulté le 30/12/2011.
20. Corning HK. Lehrbuch der Topographischen Anatomie für Studierende und ärzte. Munich (Deutschland): Bergmann; 1923.

# Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

## Insertions de la dure-mère sur le rachis : une anatomie redécouverte

### Résumé

**Objectif :** Les ouvrages anatomiques classiques décrivent la dure-mère spinale comme étant une structure libre dans le canal vertébral. D'anciens écrits ont en revanche décrit des attaches dure-mériennes sur le rachis. Le but de cette étude est de recenser les descriptions faites dans la littérature et de les comparer à une étude expérimentale.

**Méthodes :** L'étude anatomique a été faite sur trois sujets féminins d'une moyenne d'âge de 84 ans, sur un fœtus de sexe féminin d'un âge estimé à environ 28 SA. Une étude histologique par coupes sériées a également été réalisée chez un sujet masculin (93 ans).

**Résultats :** Maintenu par ses attaches au niveau du foramen magnum et par le filum terminale, la dure-mère est attachée latéralement aux parois osseuses par les opercules de Forestier et les ligaments de Hofmann. Les opercules de Forestier sont des structures en forme de peau de tambour qui tapissent les orifices des forams intervertébraux. Les ligaments de Hofmann se sont développés entre la face antérieure des racines spinales et ligament longitudinal postérieur (LLP), ils s'orientent différemment en fonction de l'étage vertébral.

Antérieurement, la dure-mère est maintenue par le ligament de Trolard, structure sagittale médiane, formée de fibres arciformes mais qui peut aussi apparaître sous forme de cloison complète, ou d'adhérence forte entre la dure-mère et le LLP.

**Conclusion :** La dure-mère spinale n'est donc pas dépourvue d'attaches sur le rachis. Ces insertions interviennent dans la dynamique d'adaptation de la dure-mère face aux variations de dimension du canal vertébral. Elles constituent aussi un moyen de moduler, freiner et contrôler la mobilité et la croissance. Ces insertions rachidiennes sont également en rapport direct avec le paquet vasculo-nerveux du trou de conjugaison. A chaque mouvement du rachis en flexion ou extension, ces attaches se tendent ou se détendent et ont un véritable rôle de pompage vasculaire permettant une circulation optimum entre le réseau vasculaire intra et extra-rachidien.