



**HAL**  
open science

# Le recul médullaire après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique est-il lié à l'alignement sagittal pré opératoire ?

Hugo Marty

► **To cite this version:**

Hugo Marty. Le recul médullaire après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique est-il lié à l'alignement sagittal pré opératoire?. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-03948658

**HAL Id: dumas-03948658**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03948658>**

Submitted on 12 Jun 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**UNIVERSITÉ PARIS CITÉ**

Faculté de Santé

**UFR de Médecine**

**Année 2022**

**N°**

**THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

Présentée et soutenue publiquement le : 26/09/2022

Par

**Hugo MARTY**

**Le recul médullaire après laminoplastie cervicale pour myélopathie  
cervicarthrosique est-il lié à l'alignement sagittal pré opératoire ?**

Dirigée par Mme le Docteur Laura MARIE-HARDY

JURY

M. le Professeur Hugues PASCAL-MOUSSELLARD	Président
Mme. le Docteur Laura MARIE-HARDY	Directrice
M. le Professeur Pierre GUIGUI	Membre du jury
M. le Professeur Arnaud DUBORY	Membre du jury
M. le Docteur Marc KHALIFE	Membre du jury

## **AVERTISSEMENT**

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'Etat de docteur en médecine. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2 - L 335.1

## Remerciements

---

**À M. le Professeur Hugues PASCAL-MOUSSELLARD, Professeur des Universités à l'hôpital Pitié Salpêtrière**

Merci pour la confiance que vous m'accordez, votre soutien sans failles et votre enseignement bienveillant. Soutenir ce travail sur la myélopathie cervicale en votre présence est un honneur pour moi.

**À Mme. le Docteur Laura MARIE-HARDY, Chef de Clinique à l'hôpital Pitié Salpêtrière**

Merci pour ton investissement et ta patience, sans ton aide je ne serais sans doute pas arrivé au bout de ce travail. Ce n'est que le début d'une longue série, je l'espère.

**À M. le Professeur Pierre GUIGUI, Professeur des Universités à l'hôpital européen Georges Pompidou**

Merci de me faire l'honneur de faire partie du jury de cette thèse. J'ai beaucoup appris de votre enseignement et j'espère avoir l'occasion d'en profiter de nouveau.

**À M. le Professeur Arnaud DUBORY, Professeur des Universités à l'hôpital Henri Mondor**

Merci de m'avoir transmis le sérieux et la rigueur nécessaire dès le début de mon internat en chirurgie. Je suis honoré de ta présence dans mon jury.

**À M. le Docteur Marc KHALIFE, Praticien Hospitalier à l'hôpital européen Georges Pompidou**

Ta présence dans mon jury de thèse était une évidence, merci pour ton enseignement, ta bonne humeur et ta patience au cours de ces deux semestres d'internat.

**À mes maitres d'internat,**

Monsieur le Professeur Charles-Henri FLOUZAT-LACHANINETTE

Monsieur le Docteur Jacques PARIAT

Monsieur le Docteur François ROUBINEAU

Madame le Docteur Pomme JOUFFROY

Monsieur le Docteur Guillaume RIOUALLON  
Monsieur le Docteur Stéphane WOLFF  
Monsieur le Docteur Mourad ZARRA  
Monsieur le Docteur Peter UPEX  
Monsieur le Docteur Lan NGUYEN  
Monsieur le Professeur Charles COURT  
Monsieur le Docteur Charlie BOUTHORS  
Madame le Docteur Véronique MOLINA  
Monsieur le Docteur Sylvain BRIAND  
Monsieur le Professeur Brice ILLHAREBORDE  
Madame le Docteur Anne-Laure SIMON  
Madame le Docteur Cindy MALLET  
Madame le Docteur Ana PRESEDO  
Monsieur le Docteur Philippe SOUCHET  
Monsieur le Professeur Frédéric KHIAMI  
Monsieur le Professeur Jean-Yves LAZENNEC  
Monsieur le Docteur Raphaël BONNACCORSI  
Monsieur le Docteur Eric FOURNIOLS  
Monsieur le Professeur Elhadi SARI-ALI  
Monsieur le Professeur Jalal ASSOUAD  
Monsieur le Docteur Denis DEBROSSE  
Madame le Docteur Marielle LE ROUX  
Madame le Docteur Mihaela GIOL  
Monsieur le Professeur Christian GARREAU de LOUBRESSE  
Madame le Professeur Emmanuelle FERRERO  
Monsieur le Professeur Éric VANDENBUSSCHE  
Monsieur le Docteur Thibaut LENOIR  
Monsieur le Docteur Frédéric ZADEGAN  
Madame le Docteur Christelle CONSO  
Monsieur le Docteur Sébastien MOREAU  
Monsieur le Docteur Nicolas BOCAHUT

***À mes chefs de clinique,***

Monsieur le Docteur Cédric DURAY

Monsieur le Docteur Raphaël PIETTON

Monsieur le Docteur Benjamin THIEBAUT

Monsieur le Docteur Yann MOHSINALY

Monsieur le Docteur Charles DEJEAN

Madame le Docteur Anne BARNABA

Monsieur le Docteur Pierre COUDERT

Monsieur le Docteur Baptiste BOZZI

Monsieur le Docteur Elias MELHEM

Monsieur le Docteur Mansour SADEQI

Monsieur le Docteur Thibault HERNANDEZ

Monsieur le Docteur Charbel BOU KHALIL

Monsieur le Docteur Maxime HUYS

Monsieur le Docteur Damien POTAGE

Monsieur le Docteur Guillaume RIGOULOT

Monsieur le Docteur Christophe TRAVERT

Monsieur le Docteur Matthieu CAMPANA

Madame le Docteur Adèle HAPIETTE

Madame le Docteur Jessica HAAS

Monsieur le Docteur Amar GHABI

Monsieur le Docteur Charles PAYAN

Monsieur le Docteur Alexandre DOS SANTOS

Monsieur le Docteur François SIGONNEY

Madame le Docteur Anna VAYSETTE

Monsieur le Docteur Harry ETIENNE

Monsieur le Docteur Rémy PICHARD

Monsieur le Docteur Ruben DUKAN

Madame le Docteur Manon COLAS

Madame le Docteur Marie LE MAPIHAN

**À mes co-internes**, pour tous ces moments passés ensemble, votre soutien et cette entente naturelle : Léonard, Jeanne, Mikael, Louise, Sharon, Baptiste, Jean, Jordan, Antoine, Pierre, Geoffrey, François, Pierre, Christina, Karam, Jean-Arthur, Sylvain, Martin, Gonzague, Clélia, Arthur, Clémence, Nicole, Mélanie, Anaïs, Charles, Louis-Charles ... Avec une mention spéciale pour la Team KB Hiver 2020 avec qui j'ai traversé cette période si particulière du COVID19.

**À mes parents et ma sœur Mia**, pour votre éducation, votre soutien dans tous les moments difficiles de ce long parcours, sans vous je ne serais jamais arrivé jusqu'ici. Merci pour tout.

**À mes grands-parents**, pour m'avoir transmis vos valeurs et votre éducation qui me sont utiles chaque jour.

**Au clan MARTY**, pour son positivisme et sa générosité.

**À mes « chiens fous »**, Benjamin, Kévin, Sébastien, Solen, Sophie, Gaspard, Isadora, Charlène, Anne, Solène, Manon, Estelle pour tous les bons moments passés et à venir depuis nos belles années dans les bassins.

**À mes « beaux »**, Bernard, Tom, Marina, Hugo, Emmanuelle, Antoine, Clémentine, Juliette B, Valentine, Juliette A, Robin, Léopold, Lorène, Margaux, Yasser, pour toutes ces belles années passées ensemble depuis les bancs de la fac. Vous ferez tous des médecins formidables.

**À Anis**, mon acolyte dans le travail depuis l'externat, mon ami, ta capacité de travail sans fin et ton bon sens sont une source d'inspiration pour moi. Merci d'avoir revu les statistiques de cette thèse de ton œil expert.

**À Thomas**, toi qui m'as fait découvrir le triathlon, et avec qui j'ai partagé tant de bons moments entre nos vacances à Hossegor ou à l'Escalet, nos escapades à Lille et en Hollande. Ta résilience et ton courage sont exemplaires. Je ne doute pas une seule seconde que tu vaincras cette saloperie.

## Résumé et indexation

---

### **Le recul médullaire après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique est-il lié à l'alignement sagittal pré opératoire ?**

#### **Résumé :**

**Design de l'étude :** Etude de cohorte rétrospective monocentrique mesurant le recul médullaire par imagerie par résonance magnétique après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique.

**Objectif :** L'objectif principal est d'évaluer le recul médullaire après laminoplastie niveau par niveau en fonction de la morphologie pré opératoire du rachis cervical.

**Contexte :** Un des objectifs principaux des laminoplasties cervicales en dehors de la récupération neurologique est d'obtenir un recul médullaire suffisant, avec un espace de sécurité périmédullaire. Si la relation entre le morphotype du rachis cervical et les résultats cliniques a largement été étudiée, il existe peu de données sur le lien entre le morphotype préopératoire et le recul médullaire.

**Méthodes :** Le diamètre antéro postérieur du canal, les espaces périmédullaires antérieurs et postérieurs ont été mesurés sur IRM en pré et post-opératoire chez 53 patients opérés de laminoplasties. La qualité de la libération médullaire a été évaluée en mesurant la différence entre les distances post et pré opératoire. Une analyse en sous-groupe selon la morphologie sagittale a été effectuée. La relation entre le recul médullaire et la lordose C2C7 ainsi que la distance C2C7 SVA pré opératoire a été étudiée.

**Résultats :** Il existait un recul médullaire significatif tous types de rachis confondus avec une augmentation du diamètre antéro postérieur (DAP) du canal médullaire, à tous les niveaux. L'augmentation moyenne de la DAP, tous niveaux confondus était de 5,3mm +/- 0,2mm ( $p < 0,001$ ). La décompression était maximale au sommet de la lordose soit en C4C5 (DAP= + 6,0mm) et C5C6 (DAP= +6,2mm). L'analyse en sous-groupes a montré qu'il existait un recul médullaire significatif à tous les niveaux opérés pour les rachis lordotiques. Aucun lien statistique entre le recul médullaire et la lordose C2C7 ni la distance C2C7 SVA n'a été retrouvée. Nous n'avons eu aucune paralysie de C5 en post-opératoire.

**Conclusion :** Les laminoplasties cervicales permettent un recul médullaire et une décompression circonférentielle par augmentation moyenne statistiquement significative de 5,3mm +/- 0,2 du diamètre antéro postérieur du canal, quelle que soit la forme du rachis cervical en pré opératoire. Cette technique est adaptée pour les rachis lordotiques sans qu'un lien soit établi entre lordose cervicale et recul médullaire. Une étude réalisée sur une cohorte plus importante est nécessaire pour une évaluation fiable des autres morphotypes.

**Spécialité :**

Chirurgie orthopédique et traumatologique

**Mots clés français :**

fMeSH : rachis ; vertèbres cervicales/chirurgie ; moelle cervicale ; maladies de la moelle épinière; laminoplastie ; imagerie par résonance magnétique ; équilibre postural ; lordose ; cyphose .

**Forme ou Genre :**

fMeSH : Dissertation universitaire

Rameau : Thèses et écrits académiques

## Résumé et indexation en anglais

---

### **Correlation between spinal cord backshift after laminoplasty and preoperative cervical spine sagittal alignment.**

#### **Abstract :**

**Study design :** Monocentric retrospective cohort study measuring spinal cord backshift by magnetic resonance imaging after cervical laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy.

**Objectives :** The main objective of this study is to evaluate the spinal cord backshift after laminoplasty at each level according to the preoperative morphology of the cervical spine.

**Summary of the background data :** One of the main objectives of cervical laminoplasty, apart from neurological recovery, is to obtain sufficient spinal cord backshift, with a perimedullary safety space. While the relationship between cervical spine morphotype and clinical outcomes has been widely studied, there are few data on the relationship between preoperative morphotype and spinal cord backshift.

**Methods :** The anteroposterior diameter of the canal, the anterior and posterior perimedullary spaces were measured on pre and postoperative MRI in 53 patients undergoing cervical laminoplasty. The quality of the spinal cord release was assessed by measuring the difference between the post and preoperative distances. A subgroup analysis according to sagittal morphology was performed. The relationship between spinal cord backshift and pre operative C2C7 lordosis as well as the preoperative C2C7 SVA distance was studied.

**Results :** There was a significant spinal cord backshift in all types of spine combined with an increase in the anteroposterior diameter (APD) of the spinal canal, at all levels. The mean increase in APD, all levels combined, was 5.3mm +/- 0.2mm (p<0.001). The maximal decompression was at the top of the lordosis, in C4C5 (APD= + 6.0mm) and C5C6 (APD= +6.2mm). The subgroup analysis showed that there was significant spinal cord backshift at all operated levels for the lordotic spines. No statistical link between spinal cord decline and C2C7 lordosis or C2C7 SVA distance was found. We had no C5 palsy after french door laminoplasty.

**Conclusions :** Cervical laminoplasty allow spinal cord back shift and circumferential decompression by a statistically significant average increase of 5.3mm +/- 0.2 in the anteroposterior diameter of the canal, regardless of the preoperative cervical spine shape. This technique is suitable for lordotic spine with no statistical link between cervical lordosis and spinal cord backshift. A study carried out on a larger cohort is necessary for a reliable evaluation of the other morphotypes.

**English keywords:**

MeSH : spine ; cervical vertebrae/surgery ; cervical cord ; spinal cord diseases ; laminoplasty ; magnetic resonance imaging ; postural balance ; lordosis ; kyphosis.

**Publication type:**

MeSH : Academic Dissertation

## Liste des abréviations

---

- ACDF : Anterior cervical discectomy and fusion
- DAP : Diamètre antéro-postérieur
- DA : Distance antérieure
- DP : Distance postérieure
- ENMG : Eléctroneuromyogramme
- EVA : Echelle visuelle analogique
- HRQOL : Health-related Quality of Life
- IRM : Imagerie par résonance magnétique
- (m)JOA score : (modified) Japanese Orthopaedic Association score
- LCVP : ligament commun vertébral postérieur
- MCA : Myélopathie cervicarthrosique
- NDI : Neck Disability Index
- NORB : Neuropathie optique rétrobulbaire
- OPLL : Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament
- PEM : Potentiels évoqués moteurs
- PES : Potentiels évoqués somesthésiques
- SF-36 : Short Form 36 questions
- STACIS : Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study
- SVA : Sagittal vertical axis
- TDM : Tomodensitométrie

# Table des matières

---

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>2</b>
<b>RESUME ET INDEXATION .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUME ET INDEXATION EN ANGLAIS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
1.1    DEFINITION ET PHYSIOPATHOLOGIE .....	13
1.2    DESCRIPTION CLINIQUE .....	16
1.2.1 <i>Signes cliniques</i> .....	16
1.2.2 <i>Evaluation</i> .....	18
1.2.3 <i>Décompensation aiguë</i> .....	21
1.3    ELEMENTS DIAGNOSTIQUES.....	22
1.3.1 <i>Clinique</i> .....	22
1.3.2 <i>Imagerie</i> .....	22
1.3.3 <i>Electrophysiologie</i> .....	32
1.4    PRISE EN CHARGE .....	33
1.4.1 <i>Place du traitement médical</i> .....	33
1.4.2 <i>Indications chirurgicales</i> .....	34
1.4.3 <i>Eléments de choix</i> .....	35
1.4.4 <i>Laminoplasties</i> .....	36
1.5    BUT ET JUSTIFICATION DE L'ÉTUDE .....	39
<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>41</b>
2.1    PATIENTS .....	41
2.2    DONNEES CLINIQUES RECEUILLIES .....	42
2.3    ANALYSE RADIOLOGIQUE .....	43
2.4    ANALYSE STATISTIQUE .....	45
<b>RESULTATS .....</b>	<b>46</b>
3.1    DONNEES DEMOGRAPHIQUES.....	46
3.2    ANALYSE DES DONNEES CLINIQUES.....	46
3.3    ANALYSE EN IMAGERIE PAR RESONNANCE MAGNETIQUE.....	49
3.3.1 <i>Analyse globale</i> .....	49
3.3.2 <i>Analyse en sous-groupes selon le type sagittal (L, K, D, S)</i> .....	52

3.4 ANALYSE RADIOGRAPHIQUE .....	55
3.4.1 Données pré opératoires .....	55
3.4.2 Analyse post-opératoire .....	57
3.4.3 Evolution radiographique entre le pré et le post-opératoire.....	57
3.5 ANALYSE DU LIEN ENTRE LE REcul MEDULLAIRE ET LES MESURES D'EQUILIBRE SAGITTAL .....	58
3.6 COMPLICATIONS .....	60
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>68</b>
<b>TABLE DES FIGURES.....</b>	<b>79</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX.....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>81</b>

# Introduction

---

## 1.1 Définition et physiopathologie

Le terme « myélopathie » désigne une souffrance médullaire chronique dont la cause peut être inflammatoire, infectieuse, vasculaire. La myélopathie cervicarthrosique (MCA) est actuellement la première cause en fréquence de lésion médullaire avant les traumatismes.<sup>1</sup> La prévalence des myélopathies cervicarthrosiques nécessitant une chirurgie dans la population générale est estimée à 1,6 patient pour 100.000 habitants.<sup>2</sup> Celle-ci est probablement sous-estimée. La MCA est plus fréquente chez les hommes (2/3) et les patients asiatiques. L'âge moyen de survenue est relativement jeune, 56 ans pour Fehlings et al. dans une cohorte de 479 patients.<sup>3</sup>

La myélopathie cervicarthrosique correspond à la symptomatologie neurologique d'une compression médullaire lente causée par des phénomènes dégénératifs entraînant un rétrécissement du canal médullaire cervical, le plus souvent de C3 à C7. Parmi ces phénomènes, certains entraînent un rétrécissement du canal par compression d'origine osseuse : uncarthrose, ostéophytose, arthrose facettaire. Une autre part de la compression est d'origine disco ligamentaire : discopathie, hypertrophie et ossification des ligaments jaunes et longitudinal postérieur.<sup>4-6</sup> Un cas particulier, très bien décrit dans la littérature, concernant principalement la population asiatique (2 à 4% de la population japonaise), est l'ossification du ligament longitudinal postérieur (OPLL).<sup>7</sup>

Les facteurs de risque décrits dans le développement d'une MCA sont l'âge, le sexe masculin, le tabac ainsi qu'une susceptibilité génétique. Certains syndromes comme la Trisomie 21 et Klippel-Feil sont également associés à la MCA. Des articles de recherche récents ont décrit le polymorphisme génétique comme étant associé à un risque accru de développer une MCA et, pour certains d'entre eux, à de moins bons résultats chirurgicaux.<sup>8,9</sup> Les gènes mis en cause sont principalement liés à des protéines impliquées dans la physiologie osseuse comme

l'ostéopontine, le récepteur à la vitamine D, la bone morphogenic proteins-4, le collagène IX tryptophane, l'apolipoprotéine E, l'hypoxia-inducible factor1  $\alpha$  etc.<sup>10</sup>

Le primum movens dans le développement de la MCA est la dégénérescence discale. Sous l'effet du vieillissement, et des microtraumatismes répétés, les disques se déshydratent entraînant une perte de hauteur et un débord discal global conduisant à l'uncodiscarthrose. Cette faillite mécanique des éléments antérieurs provoque une augmentation des contraintes sur les éléments postérieurs de la colonne vertébrale conduisant à une hypertrophie arthrosique des articulaires, et à l'apparition d'ostéophytes compressifs. Les ligaments perdent également tension et élasticité, se rigidifient et se calcifient, conduisant à une hypertrophie des ligaments jaunes et du ligament longitudinal postérieur, participant à la compression.<sup>11,12</sup> L'ensemble de ces éléments compressifs sont situés en regard des espaces intersomatiques donnant un aspect de sténose étagée, classiquement décrit.

A ces phénomènes compressifs statiques s'ajoutent des phénomènes dynamiques, majorant le rétrécissement du canal médullaire et conduisant à des microtraumatismes répétés sur le cordon médullaire. En effet, lors du passage en extension, Breig et al. ont montré qu'il existait une diminution de la longueur du canal cervical et que celle-ci était, en revanche, majorée par les mouvements en hyper flexion.<sup>13</sup> A ces phénomènes longitudinaux s'ajoutent des phénomènes rétrécissant le diamètre transversal du canal, notamment par majoration des débords discaux et bombement du ligament jaune lors des mouvements d'hyperextension, conduisant au rétrécissement circonférentiel des espaces sous arachnoïdiens.<sup>14</sup> Ainsi, le cordon médullaire suit les changements de longueur du canal rachidien, s'allongeant et s'affinant en flexion et se raccourcissant et s'élargissant en extension. Et, pour Kuwazawa et al.<sup>15</sup> la longueur du cordon médullaire de C1 à C7 est de 112,9 +/- 8,8 mm en position neutre et passe à 119,0 +/- 9,4mm en flexion pour diminuer jusqu' à 107,3 +/- 8,0mm en extension ( $p < 0,05$ ). A cette diminution de longueur médullaire en extension s'ajoute un phénomène d'élargissement médullaire et pour Zhang et al.<sup>16</sup> la valeur moyenne du diamètre médullaire transversale est plus importante en extension qu'en position neutre ou en flexion à tous les niveaux ( $p < 0,05$ ). En C6 par exemple, celle-ci est de 6,03 +/- 0,66 mm en position neutre, 5,31 +/- 0,61 mm en flexion et 6,93 +/- 0,75 mm en extension ( $p < 0,05$ ), alors que s'y associe une variation des espaces péri médullaires dans le sens opposé. Ainsi en C6, l'espace de sécurité

péri médullaire global est de 4,20 +/- 1,43 mm en position neutre, 4,27 +/- 1,47 mm en flexion et est réduit à 3,85 +/- 1,29 mm en extension ( $p < 0,05$ ).<sup>16</sup> On comprend donc qu'il existe une inadéquation entre le contenant (colonne cervicale) et contenu (moelle cervicale) en hyperextension en lien avec l'association de l'élargissement médullaire et la majoration des éléments sténosants.<sup>16,17</sup>

Par ailleurs, l'ensemble des lésions discales et articulaires favorisent l'instabilité et conduisent à la survenue de spondylolisthésis dans certains cas, participant ainsi à la composante dynamique de la compression en cas d'hypermobilité.<sup>18-20</sup>

La compression médullaire chronique altère la vascularisation médullaire conduisant à des phénomènes ischémiques auxquels s'ajoutent des phénomènes inflammatoires, responsables de l'apoptose cellulaire aboutissant à la dégénérescence neuronale et la démyélinisation.<sup>7,12</sup>

Même si la cascade d'événements aboutissant à la myélopathie symptomatique est désormais mieux connue, il reste impossible de prévenir le début de la maladie chez des patients avec une compression radiologique pauci ou asymptomatique et l'évolution naturelle de la MCA se fait vers une dégradation progressive, avec aggravation des symptômes neurologiques.<sup>21</sup> Fehlings et al. ont évalué le taux de survenue de symptômes neurologiques chez des patients initialement asymptomatiques à 24 % après 4 ans de suivi.<sup>22</sup> Les facteurs prédictifs d'aggravation neurologiques dans une méta analyse récente étaient : la présence d'une radiculopathie clinique, un hypersignal intramédullaire à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), et un retard sur les potentiels évoqués moteurs ou somesthésiques (PEM-PES).<sup>23</sup> Le délai diagnostique moyen de la MCA est évalué à deux ans en pratique quotidienne.<sup>24</sup> L'une des complications les plus redoutées de la MCA étant la décompensation aiguë, souvent due à un traumatisme mineur (syndrome de Kahn-Schneider).

## 1.2 Description clinique

La myélopathie cervicarthrosique se présente le plus souvent sous une forme d'évolution lente et chronique et 20 à 62% des patients vont présenter une dégradation neurologique sous 3 à 6 ans.<sup>21</sup> Mais le pronostic neurologique de la maladie est conditionné au risque de décompensation aiguë imprévisible lors d'une chute à faible cinétique, pouvant aller jusqu'à la tétraplégie.

### 1.2.1 Signes cliniques

La myélopathie cervicale peut se présenter sous des formes cliniques diverses avec une grande hétérogénéité des symptômes. Les symptômes cliniques de la MCA reflètent un dysfonctionnement progressif de la moelle épinière<sup>18,25</sup>, par atteinte des voies motrices (faisceau pyramidal), sensibles profondes (cordons postérieurs), sensibles thermo-algiques (faisceau cortico spinal) :

- Paresthésies des extrémités (atteinte de la substance grise)
- Douleurs radiculaires des membres supérieurs
- Maladresse dans les activités de la vie quotidienne, problèmes de dextérité (difficultés pour les gestes fins, notamment de préhension, lâchage d'objets, difficulté à écrire)
- Réflexes vifs, diffus et polycinétiques, clonus de cheville ou rotulien, signes de Babinski et Hoffmann positifs
- Troubles de l'équilibre avec élargissement de polygone de sustentation et marche en ligne droite impossible
- Incontinence fécale et urinaire avec impériosité mictionnelle ou incontinence vésicale (vessie centrale)
- Faiblesse motrice, commençant fréquemment dans les muscles intrinsèques de la main, avec lâchage d'objets, ou faiblesse des membres inférieurs allant jusqu'à la tétra parésie

A ces symptômes neurologiques s'associent des cervicalgies en lien avec la cervicarthrose, s'accompagnant volontiers de céphalées ou vertiges (signes végétatifs).

Les névralgies cervicobrachiales sont souvent (52 % des cas) associées à la présentation clinique de la MCA, ce qui peut compliquer le diagnostic, notamment en raison de l'hyporéflexie par compression radiculaire cervicale masquant l'hyperéflexie en lien avec l'atteinte centrale.<sup>26</sup>

Le tableau clinique classique associe donc des cervicalgies, une atteinte des membres supérieurs sensitive et motrice (maladresse, engourdissement, paresthésie...), une atteinte des membres inférieurs (déséquilibre, fatigabilité, engourdissement...), et un dysfonctionnement vésical (urgence urinaire jusqu' à l'incontinence).

Chez les patients parfois âgés et comorbides, il faut rester vigilant devant des facteurs confondants pouvant entraîner des retards diagnostiques tels que l'arthrose d'épaule, de genou ou de hanche, la claudication artérielle ou neurogène par canal lombaire étroit, ce dernier étant fréquemment associé (2 sites atteints chez 60% des patients avec des patients avec une sténose canalaire).<sup>27</sup>

Les principaux diagnostics différentiels qui doivent être connus du clinicien sont des maladies neurologiques centrales :

- La sclérose latérale amyotrophique, qui est une pathologie neurodégénérative du motoneurone qui associe une atteinte motrice pure, centrale et périphérique (présence d'une amyotrophie, de fasciculations). Le diagnostic est confirmé par l'électroneuro-myogramme (ENMG) qui retrouve une diminution des amplitudes motrices aux quatre membres associée à des vitesses de conduction normales et l'absence de troubles de conduction sensitive.
- La sclérose en plaques, qui est une pathologie inflammatoire démyélinisante du système nerveux central à laquelle peut s'associer, en plus des signes d'atteinte médullaire, des troubles cognitifs, un syndrome cérébelleux, des troubles oculomoteurs, une baisse d'acuité visuelle (NORB). Il existe des formes progressives mais aussi des formes rémittentes évoluant par poussées. L'IRM cérébrale retrouve des hypersignaux multiples de la substance blanche.

- La sclérose combinée de la moelle (due à une carence en vitamine B12), associe une atteinte des cordons postérieurs et latéraux de la moelle, avec prédominance des signes cliniques proprioceptifs. Une correction de la carence par supplémentation vitaminique peut permettre de corriger la symptomatologie.
- Le syndrome de Guillain- Barré, qui est une polyradiculonévrite aiguë inflammatoire faisant le plus souvent suite à un épisode infectieux. Des réflexes ostéotendineux abolis, une atteinte faciale et respiratoire ainsi que la cinétique d'installation rapide doivent faire évoquer le diagnostic. L'ENMG et la ponction lombaire apportent des arguments diagnostiques supplémentaires.
- Les syndromes parkinsoniens atypiques qui associent volontiers : syndrome parkinsonien avec une rigidité plastique, dystonie, syndrome dysautonomique, syndrome cérébelleux et des troubles de la parole et de la déglutition.
- Les myélites inflammatoires (sarcoïdose, lupus, neuromyéélite optique ...).

### 1.2.2 Evaluation

Le score le plus couramment utilisé pour évaluer la sévérité de l'atteinte neurologique est l'échelle de l'association japonaise d'orthopédie modifiée (mJOA)<sup>28</sup>, qui évalue le handicap fonctionnel découlant des atteintes neurologiques de la MCA. Ce score a été validé comme score de référence dans le diagnostic et le suivi des MCA. Il a pour avantage d'être facilement réalisable en consultation pour le clinicien (4 items cliniques) et d'être reproductible. Ce score diffère du JOA par une part plus importante de points accordés à la motricité (12/18 soit 69% contre 8/17 soit 47% pour le JOA) et l'absence d'évaluation sensitive du tronc et des membres inférieurs.<sup>29</sup> (Tableau 1)

Il permet de classer les patients en trois groupes selon Fehlings et al<sup>30</sup> :

- Atteinte légère : score de 15 à 18
- Atteinte modérée : score de 12 à 14
- Atteinte sévère : score de 0 à 11

D'autres scores spécifiques de la MCA et fréquemment utilisés comme l'échelle de Nurick qui évalue principalement la mobilité et les capacités à exercer les activités de la vie quotidienne ou le NDI (Neck Disability Index) qui prend en compte la part liée aux cervicalgies sur le handicap existant.<sup>31</sup>

D'autres échelles de douleurs et de qualité de vie non spécifiques telles que l'EVA (échelle visuelle analogique) et le score SF-36 sont également utilisés dans de nombreuses études.

Tableau 1 : Score mJOA (modified Japanese Orthopaedic Association)

Déficit moteur aux membres supérieurs	<p><i>0. Impossibilité de bouger les mains</i></p> <p><i>1. Impossibilité de manger avec une cuillère, mais bouge les mains</i></p> <p><i>2. Impossibilité de boutonner sa chemise, mais mange avec une cuillère</i></p> <p><i>3. Capable de boutonner sa chemise avec beaucoup de difficulté</i></p> <p><i>4. Capable de boutonner sa chemise avec une légère difficulté</i></p> <p><i>5. Pas de déficit</i></p>
Déficit moteur aux membres inférieurs	<p><i>0. Perte complète de motricité et sensibilité</i></p> <p><i>1. Préservation sensitive sans possibilité de bouger les jambes</i></p> <p><i>2. Capable de bouger les jambes mais pas de marcher</i></p> <p><i>3. Capable de marcher sur un sol plat avec une aide</i></p> <p><i>4. Capable de monter et descendre les escaliers avec une rampe</i></p> <p><i>5. Instabilité modérée à importante, mais peut monter et descendre les escaliers sans l'aide d'une rampe</i></p> <p><i>6. Instabilité légère mais marche de façon coordonnée sans aide</i></p> <p><i>7. Pas de déficit</i></p>
Déficit sensitif aux membres supérieurs	<p><i>0. Anesthésie des mains</i></p> <p><i>1. Hypoesthésie sévère ou douleur</i></p> <p><i>2. Hypoesthésie légère</i></p> <p><i>3. Pas de déficit sensitif</i></p>
Déficit sphinctériens	<p><i>0. Impossibilité d'uriner volontairement</i></p> <p><i>1. Difficulté marquée à la miction</i></p> <p><i>2. Difficulté légère à modérée à la miction</i></p> <p><i>3. Miction normale</i></p>

Source : [Création personnelle]

### 1.2.3 Décompensation aiguë

Il s'agit d'une lésion aiguë de la moelle épinière cervicale sans lésion ostéoligamentaire associée survenant dans les suites d'un traumatisme, le plus souvent à faible énergie, avec un mécanisme en hyperextension, chez un patient présentant une sténose cervicale dégénérative préexistante. Le plus souvent la présentation clinique est celle d'un syndrome central de la moelle tel que décrit par Schneider et al., se présentant sous la forme d'un déficit moteur prédominant aux membre supérieurs associé à un déficit sensitif et/ou sphinctérien variable.<sup>32</sup>

L'incidence annuelle estimée d'hospitalisation pour lésion médullaire est de 2,4 à 13,9 pour 1.000 chez les patients atteints de MCA.<sup>33,34</sup> La survenue de ces décompensations neurologiques, souvent sévères (tétraparésie), est une étape évolutive péjorative et redoutée des MCA.

Concernant le traitement, l'efficacité supérieure d'une chirurgie précoce (<24h) sur le pronostic de récupération neurologique a été établie pour les traumatismes médullaires associés à des lésions ostéoligamentaires dans l'essai contrôlé randomisé STACIS.<sup>35</sup> En revanche, pour les décompensation aiguës de MCA, il n'existe pas de consensus pour réaliser une chirurgie décompressive en urgence et la récupération neurologique est lente et incertaine quel que soit le timing chirurgical de décompression. L'attitude à adopter reste centre dépendant et à l'appréciation du clinicien.<sup>36,37</sup> Certaines études ont montré que l'utilisation de corticoïdes pouvait accélérer la récupération, sous réserve d'une utilisation précoce, dans les 24 à 48h suivant le traumatisme.<sup>38</sup> Concernant le délai de la chirurgie, certains centres préfèrent dans ces cas aigus observer quelques jours d'alitement, pour permettre à l'œdème médullaire de diminuer et d'optimiser des patients souvent comorbides avant la chirurgie de décompression et ainsi diminuer la mortalité post opératoire.<sup>39</sup>

Il est essentiel de prévenir les patients ayant un canal cervical étroit, et ce d'autant qu'il est associé à une myélopathie, du risque de décompensation aiguë lors d'un traumatisme mineur et du tournant qu'il constitue dans l'évolution naturelle de la maladie.

## **1.3 Éléments diagnostiques**

### **1.3.1 Clinique**

Les éléments cliniques décrits ci-dessus, avec une atteinte sensitive et/ou motrice des membres supérieurs, des membres inférieurs, une atteinte des fonctions sphinctériennes, et un syndrome pyramidal sont les éléments classiques du diagnostic clinique. Ils sont évalués et suivis en pratique clinique par le score mJOA. La présence d'un ou plusieurs de ces éléments doit faire pratiquer un bilan d'imagerie complémentaire avec une IRM du rachis cervical dans un premier temps.

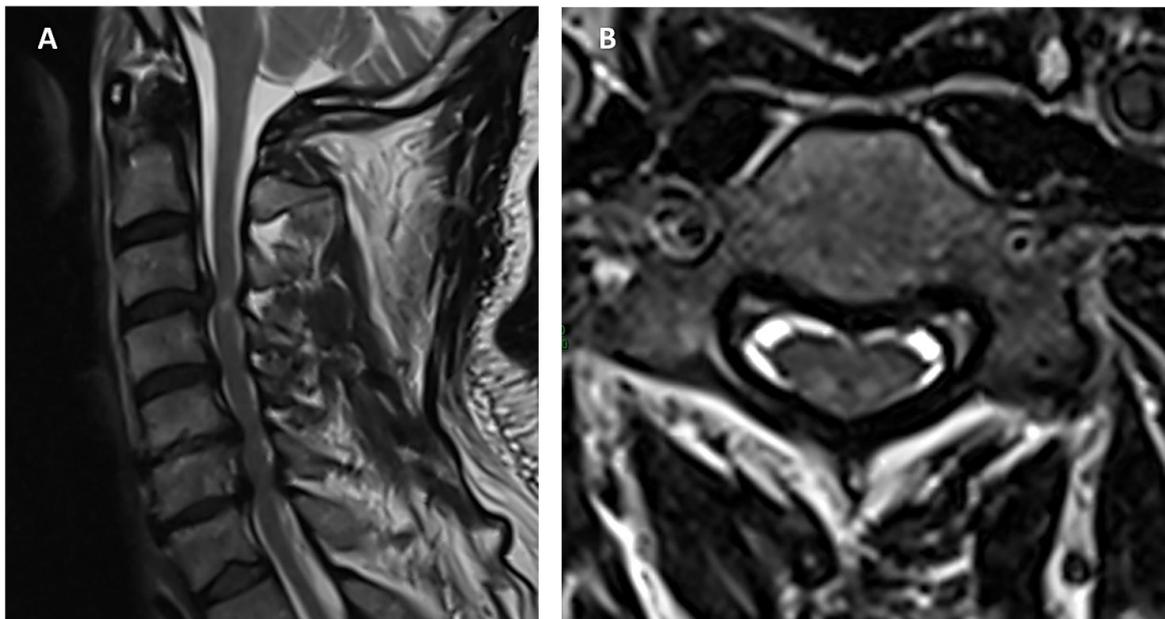
### **1.3.2 Imagerie**

#### **1.3.2.1 Imagerie par résonance magnétique**

L'IRM est l'examen clef du diagnostic radiologique de myélopathie cervicarthrosique et permet l'évaluation de la compression médullaire et de son retentissement. Elle permet d'évaluer les protrusions discales, l'hypertrophie du ligament commun vertébral postérieur (LCVP) et du ligament jaune sur les séquences T1. Sur les séquences T2, il faut rechercher la présence d'un hypersignal intramédullaire, une cavité de syringomyélie associée et évaluer l'espace de sécurité péri médullaire correspondant à une diminution de volume des espaces sous arachnoïdiens.

Figure 1 : IRM en séquence T2 d'une myélopathie cervicale

A : Coupe sagittale T2 avec aspect de sténoses étagées en regard des espaces discaux  
B : Coupe axiale T2 en C4 montrant un hypersignal intramédullaire caractéristique prenant la forme d'un « snake eyes »



Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

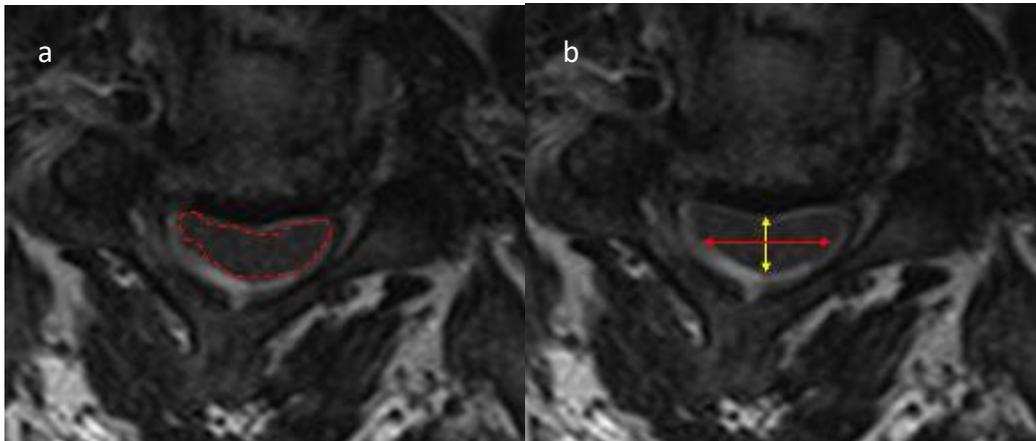
Un hypersignal T2 peut être le signe d'une souffrance médullaire et a été retrouvé chez 55 à 85 % des patients présentant une MCA symptomatique mais n'est pas spécifique.<sup>40</sup> En revanche, l'association d'un hypersignal T2 à un hyposignal en T1 reflète l'augmentation de la teneur en eau centromédullaire et est plus spécifique des MCA.<sup>40</sup> Une méta-analyse a également identifié l'étendue de l'hypersignal et la présence d'un hyposignal T1 associé comme prédictifs d'un moins bon résultat chirurgical.<sup>41</sup> La présence d'un hypersignal intramédullaire en l'absence de sténose cervicale majeure doit faire évoquer un diagnostic différentiel de myélite qui peut être lié à une sclérose en plaques ou une autre pathologie inflammatoire neurologique ou systémique (lupus, sarcoïdose...). Dans ces cas, il ne faut pas hésiter à réaliser une IRM cérébrale et à faire évaluer le patient par un neurologue.

Sur les coupes axiales, il est possible de mesurer la surface médullaire et d'évaluer ainsi le taux de compression de la moelle. Les principales mesures utilisées dans la littérature sont :

- la surface médullaire transversale : qui correspond à l'aire en  $\text{mm}^2$  occupée par la moelle épinière, mesurée par contourage sur les coupes axiales à chaque niveau en regard du disque intervertébral,<sup>42</sup>
- le taux de compression médullaire ou indice de Fujiwara: qui correspond au rapport entre le diamètre médullaire antéropostérieur et le diamètre médullaire latérolatéral.<sup>43</sup>

Ainsi, une surface médullaire transversale  $\leq 70,1 \text{ mm}^2$  et un taux de compression  $\leq 0,4$  (niveaux sains) ont été retrouvés comme des facteurs prédictifs indépendants d'évolution vers une MCA symptomatique chez des patients présentant une sténose cervicale simple.<sup>44</sup>

Figure 2 : Mesures de la surface médullaire transversale et du taux de compression  
*IRM cervicale en coupe axiale T2 avec mesure de la surface médullaire transversale en  $\text{mm}^2$  (a) et de l'indice de Fujiwara =  $A/B$  (b)*



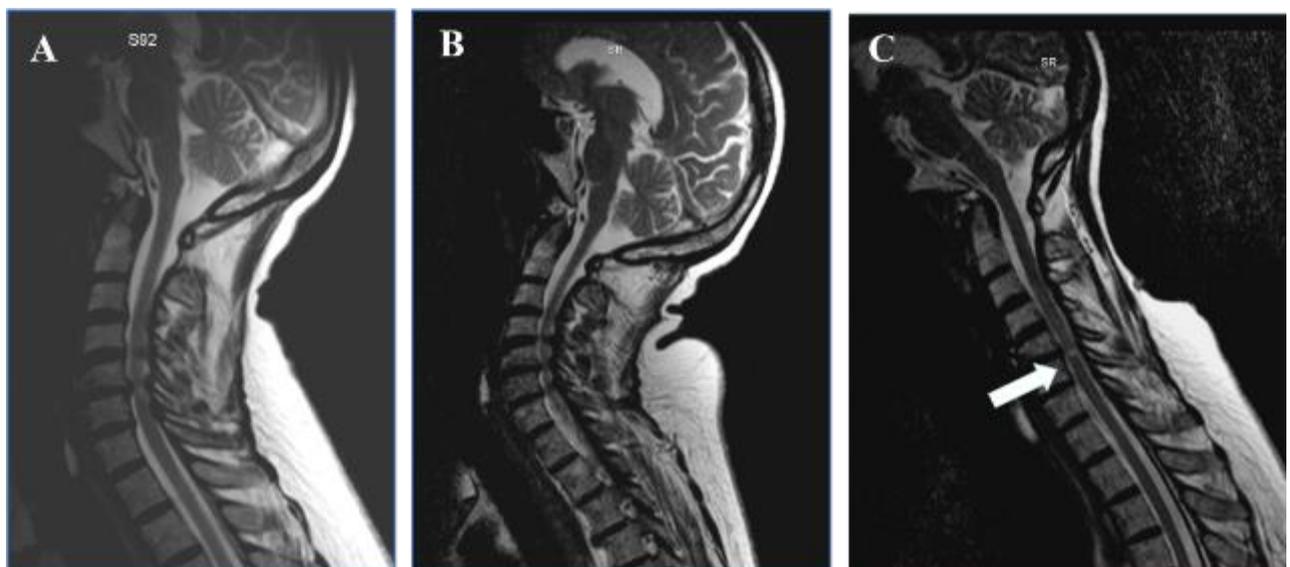
Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

Il faut garder à l'esprit que la présentation clinique des myélopathies est hétérogène et que les sténoses multi-étagées sont fréquentes. Il peut donc être intéressant, selon la présentation clinique, de réaliser une IRM du rachis en entier pour ne pas méconnaître une lésion associée. De plus, d'après Kato et al. 5% des malades sur une cohorte de 1200 volontaires sains présentaient une sténose cervicale asymptomatique, sans que cela ne constitue un critère suffisant au diagnostic de myélopathie cervicarthrosique.<sup>45</sup>

Une IRM dynamique doit être envisagée pour tout patient présentant des symptômes évoquant une MCA avec une IRM standard normale ou subnormale. En effet, en flexion, le canal rachidien augmente de volume et la moelle épinière s'étire et diminue de volume. En extension, le canal diminue de volume en raison de la plicature du ligament jaune et la moelle épinière se raccourcit et augmente de volume. Le risque de compression médullaire est donc maximal dans les mouvements d'hyperextension et permet de démasquer une compression dynamique qui serait modérée ou absente sur les séquences en position neutre. L'IRM dynamique est aussi intéressante dans l'évaluation pré opératoire des patients présentant une compression prouvée sur l'imagerie en position neutre. Elle permet de démasquer un hypersignal non visible sur les séquences en position neutre lors des séquences en flexion et de préciser le nombre de niveau sténosés lors des séquences en extension. Cela permet de préciser le nombre de niveaux à décompresser.<sup>16,20,19</sup>

Figure 3 : IRM cervicale dynamique

*IRM en coupes sagittales T2 d'un même patient en position neutre (A), en extension (B), et en flexion (C) mettant en évidence la majoration des sténoses étagées en extension et démasquant un hypersignal T2 en C5C6 en flexion (flèche)*



Source : [Collection personnelle du Pr PASCAL-MOUSSELLARD]

### 1.3.2.2 Scanner

Le scanner est indispensable au bilan pré opératoire, pour préciser la composante osseuse de la compression et doit participer à guider la stratégie chirurgicale entre décompression antérieure, postérieure ou combinée. Il faut s'attacher à rechercher : une hernie discale calcifiée, une uncarthrose, des ossifications du ligament jaune ou du LCVP, des ostéophytes antérieurs ou postérieurs, des sténoses foraminales associées. Il permet également de préciser un éventuel diagnostic d'OPPL en précisant l'étendue des ossifications, leur siège et la présence d'une atteinte dureale.<sup>46</sup>

Figure 4 : Ostéophytose postérieure majeure avec ossification du ligament commun vertébral postérieur (OPLL)



Source : [Collection personnelle du Pr PASCAL-MOUSSELLARD]

### 1.3.2.3 Radiographies standards

Les radiographies standards gardent une place indispensable pour le bilan préopératoire. Elles permettent l'évaluation de la statique et de l'instabilité rachidienne.

Le bilan radiographique habituel comprend des clichés de face et de profil du rachis cervical en position debout pour évaluation de l'équilibre sagittal et des clichés dynamiques en flexion et extension pour démasquer un éventuel spondylolisthésis mobile. La présence d'un spondylolisthésis est définie par un antélisthésis corporéal de plus de 2mm par rapport à la

vertèbre sous-jacente. En cas d'hypermobilité on retrouvera sur les clichés dynamiques : une mobilité du listhésis corporéal (somme du déplacement en flexion et extension > 3mm), une découverte articulaire avec perte de parallélisme des facettes articulaire en flexion , une cyphose locale en flexion avec une mobilité angulaire vertébrale supérieure aux valeurs normales.<sup>47</sup> Une instabilité dynamique en lien avec un spondylolisthésis dégénératif mobile pouvant entraîner une souffrance médullaire, il faudra alors associer un geste de fixation au geste de libération médullaire.<sup>48</sup>

Figure 5 : Radiographies dynamiques d'un spondylolisthésis mobile C3-C4

*A. Cliché debout en position neutre B. Cliché en extension avec réduction partielle du glissement et diminution de la cyphose locale C. Cliché en flexion avec majoration de l'antélisthésis*



Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

L'index de Torg et Pavlov correspondant au rapport entre le diamètre antéropostérieur du corps vertébral et la distance du bord postérieur du corps vertébral à la lame, permet de dépister un canal cervical constitutionnellement étroit. Un rapport inférieur à 0,8 est associé à une sténose cervicale constitutionnelle .<sup>49</sup> Yue et al. ont montré que l'index de Torg était significativement plus faible ( $p < 0,001$ ) chez les patients présentant une MCA symptomatique (moyenne  $0,72 \pm 0,08$ ) comparé à une population de patients sains (moyenne  $0,95 \pm 0,14$ ).<sup>50</sup>

Figure 6 : Schéma de mesure de l'index de Torg et Pavolv



A: Diamètre antéro postérieur du canal rachidien

B: Diamètre corporel antéro postérieur

$A/B$  = index de Torg

Permet de dépister un canal cervical constitutionnellement étroit si le rapport  $A/B < 0,8$

Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

Il peut être intéressant d'analyser l'équilibre sagittal global sur des radiographies du rachis entier ou un EOS, un lien étant établi entre les paramètres sagittaux cervicaux, thoracolombaires et pelviens.<sup>51</sup> Une cyphose cervicale peut en effet être le témoin d'un déséquilibre global dont il faudra prendre en charge la cause. Inversement, une modification de l'équilibre sagittal cervical peut entraîner une modification compensatrice de l'équilibre sagittal global. Un déséquilibre sagittal en cyphose est un facteur de risque d'évolution vers une myélopathie clinique et d'échec chirurgical en cas de non-correction.<sup>48,52</sup>

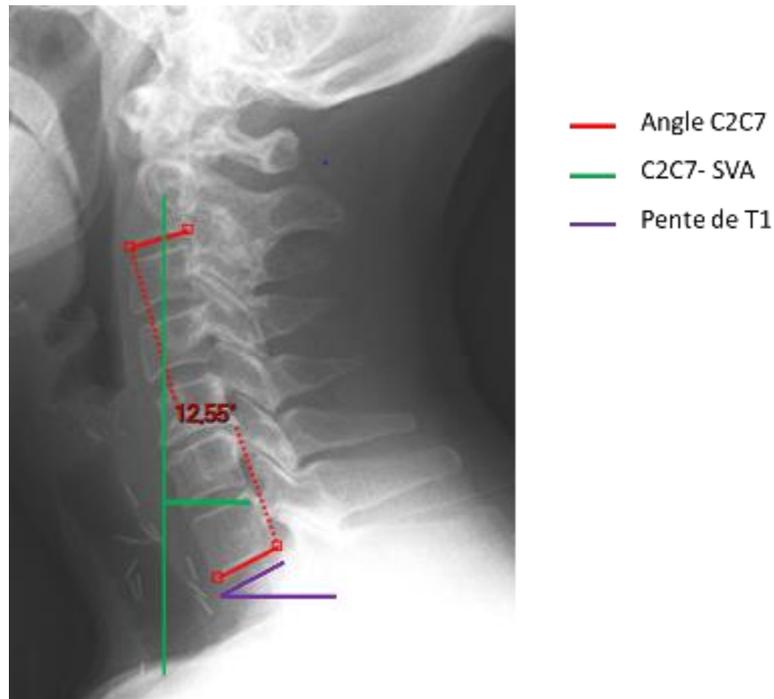
Il existe différentes méthodes d'évaluation radiographique de l'équilibre cervical. La plus couramment utilisée est la mesure de l'angle de Cobb entre le plateau inférieur de C2 et le plateau inférieur de C7, appelé lordose cervicale. Sa valeur normale est d'environ  $-10^\circ$  (de  $-9.9^\circ$  +/-  $12.5^\circ$  dans la série de Lee et al).<sup>53</sup>

Un autre paramètre intéressant est la mesure de la distance entre la verticale passant par le milieu de la dent de C2 et le coin postéro supérieur du corps de C7, ou index vertical sagittal cervical (C2C7 SVA). Ce paramètre a la particularité de prendre en compte le déséquilibre sagittal cervical antérieur global et d'être corrélé à des scores fonctionnels de qualité de vie (SF36, HRQOL) ou de cervicalgies (Neck Disability Index).<sup>54</sup> Pour Kato et al. un C2C7 SVA per-opératoire supérieur à 35mm est associé à un moins bon score SF36 et à plus de cervicalgies à 2 ans de suivi après laminoplastie cervicale.<sup>55</sup>

Par analogie avec l'analyse des paramètres pelviens et leurs liens avec les paramètres sagittaux thoracolombaires, Lee et al.<sup>53</sup> ont introduit les concepts de pente de T1 (angle entre le plateau supérieur de T1 et l'horizontale), d'angle thoraco sternal (angle entre la droite passant par le sommet du sternum et le milieu du plateau supérieur de T1 et la droite perpendiculaire au plateau supérieur de T1), et de version cervical (angle entre la vertical et la droite passant par le sommet du sternum et le milieu du plateau supérieur de T1). Ces paramètres sont liés de la même manière que les paramètres pelviens. Ainsi un angle thoraco sternal faible est corrélé à une version cervicale et une pente de T1 faible, et donc une petite lordose cervicale. Inversement, un angle thoraco sternal élevé est associé à une forte lordose cervicale.

La pente de T1 est un paramètre pertinent en cas de déformation associée. Elle est corrélée à la lordose cervical C2C7 et au C2C7-SVA. Kim et al. ont d'ailleurs montré qu'une pente de T1 élevée en pré opératoire était un facteur prédictif d'évolution vers une cyphose cervicale à 2 ans de suivi après laminoplastie.<sup>56</sup>

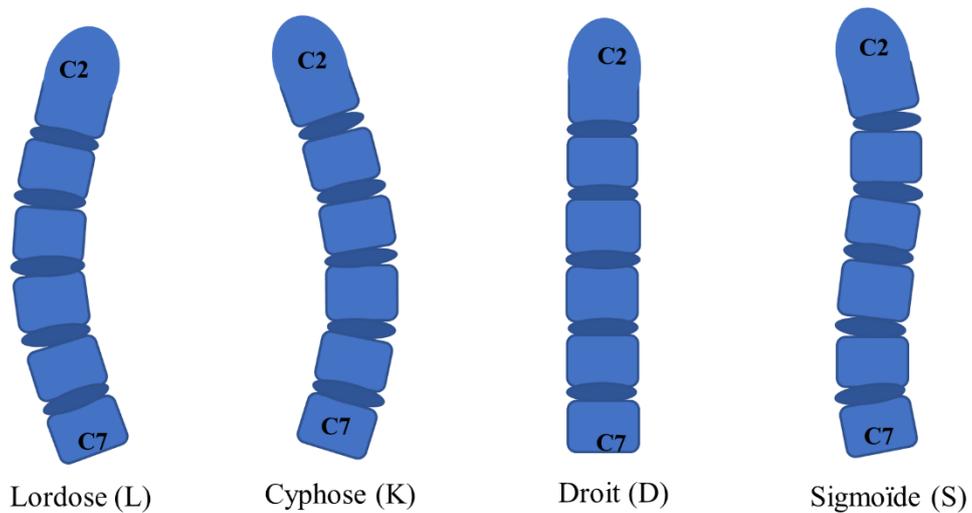
Figure 7 : Mesures radiographiques des paramètres sagittaux cervicaux



Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

La morphologie du rachis cervical est classiquement classifiée en 4 groupes : lordotique, cyphotique, sigmoïde ou droit (Figure 8).<sup>57</sup>

Figure 8 : 4 groupes radiologiques de rachis cervicaux selon l'alignement sagittal



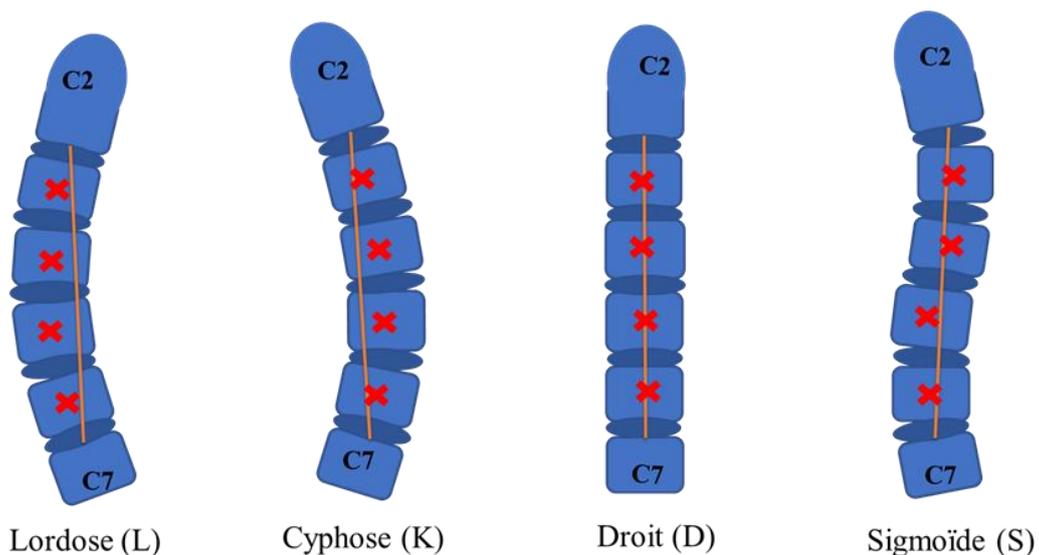
Source : [Création personnelle]

La classification radiologique morphologique du rachis cervical repose sur :

- L'angle de Cobb C2C7 ou C1C7 issu des mesures développées dans les scolioses<sup>58</sup>. Pour Sodeyama et al. un angle de Cobb C2C7 > 10° définit un rachis en lordose, entre 10° et -5° un rachis droit et inférieur à -5° un rachis cyphotique.<sup>59</sup>
- La méthode de mesure du centre de la lordose<sup>60</sup> : mesure de l'angle entre la droite passant par le milieu du plateau vertébral de C2 et le centre du corps vertébral de C3 et la droite passant par le milieu du corps vertébral de C6 et de C7.
- La méthode de Toyama<sup>61</sup> : méthode de mesure comparant les points des centres des corps vertébraux et la droite passant par le milieu du plateau inférieur de C2 et supérieur de C7. Si l'ensemble des points est situé en avant de 2mm ou plus par rapport à la droite C2C7, la mesure appartient au groupe Lordose, si l'ensemble des points est situé en arrière de 2mm ou plus elle appartient au groupe Cyphose, à moins de 2mm elle appartient au groupe Droit et de part et d'autre de la droite C2C7 et 2mm ou plus au groupe Sigmoide (Figure 9).

D'autres méthodes plus complexes à mettre en œuvre en pratique courante existent comme la méthode des tangentes d'Harrison (rotation absolue)<sup>62</sup> ou la méthode d'Ishira.<sup>63</sup>

Figure 9 : Méthode de mesure du type de rachis cervical selon Toyama et al.



Source : [Création personnelle]

Selon Ohara et al.<sup>57</sup> qui utilise la méthode décrite par Toyama et al. comme référence, l'ensemble des méthodes sont comparables pour le groupe lordose avec une bonne corrélation inter et intra observateur ( $r = 0.731$  à  $0.922$ ).

Pour les groupes cyphose, droit et sigmoïde, la corrélation est modérée à faible entre les différentes méthodes. La méthode de Toyama et al. semble adaptée à la pratique courante pour classer les différentes formes de rachis cervicaux.

### **1.3.3 Electrophysiologie**

L'examen électrophysiologique clé est la mesure des potentiels évoqués somesthésiques et moteurs (PES/PEM). Il permet le diagnostic des formes pauci ou asymptomatiques, et de préciser la sévérité et le niveau de l'atteinte.

Dans les myélopathies cervicarthrosiques, la réponse N13 après stimulation du nerf médian, l'intervalle N22–P39 et le potentiel P30 après stimulation du nerf tibial postérieur, qui sont des potentiels évoqués somesthésiques, sont anormaux dans 60 à 80 % des cas. La diminution d'amplitude du potentiel cervical N13, qui reflète l'activité postsynaptique des neurones de la corne postérieure de la moelle, est le marqueur le plus sensible d'une souffrance segmentaire.<sup>64</sup> La présence à l'IRM d'un hypersignal T2 intramédullaire, considéré comme un marqueur fiable de souffrance médullaire, est pratiquement toujours associé à des anomalies des PES, mais l'inverse n'est pas vrai car 60 % des patients avec un rétrécissement du canal cervical, mais sans image IRM de lésion de la moelle, ont des PES anormaux.<sup>65</sup>

Les PEM sont plus sensibles que les PES aux stades précoces des myélopathies cervicarthrosiques, les anomalies étant plus fréquentes aux membres inférieurs qu'aux membres supérieurs.

Bednarik et al ont montré que chez les patients présentant des signes IRM de compression médullaire, mais sans signes cliniques clairs de myélopathie, le risque de progression précoce vers une MCA symptomatique ( $\leq 1$  an) était prédit dans 81,4 % par la présence d'une radiculopathie clinique et de PES et PEM anormaux au stade initial.<sup>66</sup> Une corrélation a été retrouvée entre sévérité de l'atteinte des PEM et résultats cliniques de la chirurgie.<sup>67</sup> On

remarque également que les PEM restent souvent anormaux après la chirurgie (70 % des cas) mais que leur amélioration précède l'amélioration clinique.<sup>68</sup>

Un monitoring per opératoire des PES/PEM et de l'ENMG est également possible.

L'électroneuromyogramme (ENMG) ne permet pas le diagnostic de myélopathie cervical mais est utile pour diagnostiquer une radiculopathie associée ou écarter un diagnostic différentiel (sclérose latérale amyotrophique, canal carpien associé...). Par exemple, dans la sclérose latérale amyotrophique, qui est une pathologie du motoneurone, une diminution des amplitudes motrices aux 4 membres associée à des vitesses de conduction normales et une absence de troubles de conduction sensitive est attendue. L'ENMG permet également de rechercher les atteintes nerveuses tronculaires associées, et Bednarik et al. ont retrouvé des signes électrophysiologiques de mononeuropathie du nerf médian chez 33% de patients atteints de MCA contre 11% dans un groupe contrôle ( $p < 0,05$ ).<sup>69</sup>

## **1.4 Prise en charge**

### **1.4.1 Place du traitement médical**

Le traitement conservateur, est la norme en première intention pour les patients pauci (mJOA >15) ou asymptomatiques avec une compression médullaire radiologique sans signes de souffrance médullaire.<sup>70</sup>

Ce traitement associe : une immobilisation cervicale intermittente avec un collier souple, l'utilisation de médicaments antalgiques et anti-inflammatoires, un repos relatif lors des poussées douloureuses, de la rééducation du rachis cervical incluant du renforcement musculaire des muscles érecteurs du rachis, un travail postural en lordose, des étirements et de la physiothérapie antalgique. Il est important de prévenir les patients du risque de décompensation aiguë lors d'un traumatisme à faible cinétique et donc éviter les sports (sports de combat, sports extrêmes, sports mécaniques...) et environnements à risques.<sup>71</sup> Le traitement conservateur n'a pas prouvé son efficacité sur le délai d'apparition des signes neurologiques.

### 1.4.2 Indications chirurgicales

L'évolution naturelle de la maladie chez les patients présentant une myélopathie symptomatique ou non, est la dégradation neurologique progressive et certaine, avec un délai et une vitesse de dégradation variables et peu prévisibles. Pour Fehlings et al., 20 à 62 % des patients présentant une myélopathie cervicale symptomatique traités de manière conservatrice se détérioreront sur le plan neurologique après 3 à 6 ans de suivi, sans qu'aucune caractéristique spécifique du patient ou de maladie ne puisse prédire cette évolution de manière fiable. Pour les patients sans myélopathie avec compression du cordon médullaire à l'imagerie sans symptomatologie clinique, le risque de développer une myélopathie symptomatique est d'environ 8 % à 1 an et d'environ 23 % à 4 ans de suivi.<sup>22</sup>

Compte tenu de la faible efficacité des traitements conservateurs sur l'évolution naturelle de la maladie, la chirurgie reste le traitement de référence mais est à mettre en balance avec les complications potentielles chez des patients pauci ou asymptomatiques.

Ainsi l'AOSpine North America et la Cervical Spine Research Society ont publié en 2017 des recommandations de pratiques cliniques concernant la prise en charge de ces patients dont les conclusions sont :<sup>70</sup>

- Les patients présentant une atteinte modérée (mJOA :12 à 14) à sévère (mJOA<12) nécessitent une intervention chirurgicale.
- Les patients présentant une atteinte légère (mJOA>15) peuvent bénéficier d'un essai de prise en charge rééducative. En cas d'échec, une intervention chirurgicale est recommandée.
- Les patients sans signes cliniques de myélopathie ni radiculalgies présentant des signes de compression médullaire radiologique ne constituent pas une indication à une chirurgie prophylactique mais doivent être informés du risque d'évolution vers une myélopathie symptomatique et du risque de décompensation aiguë lors d'un traumatisme à faible cinétique.

Il existe deux grandes options chirurgicales :

- L'abord antérieur avec discectomie et arthrodèse ou corporectomie.
- La voie postérieure avec les laminectomies et laminoplasties qui peuvent ou non être associées à une fusion vertébrale en cas d'instabilité.

### 1.4.3 Eléments de choix

Aucune des 2 approches n'a montré sa supériorité par rapport à l'autre sur les résultats cliniques (JOA) à long terme ou sur le taux de complications post opératoires. Une étude prospective multicentrique prospective récente n'a pas retrouvé de différence sur les scores cliniques (JOA, EQ-5D, NDI), ni sur la récupération neurologique à 1 an entre les différentes approches. En revanche dans cette même série, il y avait une diminution de la lordose cervicale et une augmentation significative de la C2C7 SVA dans les groupes laminoplastie et laminectomie/arthrodèse après chirurgie qui n'était pas retrouvée dans le groupe arthrodèse antérieure.<sup>72</sup> Les laminoplasties ont pour avantages de permettre de conserver la mobilité du rachis cervical comparé aux techniques d'arthrodèse et de préserver la masse musculaire.<sup>73,74</sup>

Les principaux éléments à prendre en compte dans le choix de la technique opératoire sont :<sup>75</sup>

- L'équilibre sagittal (lordose ou cyphose) : la présence d'une cyphose cervicale fixée de plus de 10°, devant alors faire préférer une voie antérieure
- Le nombre de niveaux atteints ; une voie postérieure ou combinée doit être préférée s'il est supérieur à 3.
- La localisation de la compression par les éléments disco-ostéophytiques et ligamentaires (compression majoritairement antérieure, postérieure ou circonférentielle).
- La présence d'une instabilité (associer un geste d'arthrodèse)
- La présence d'une radiculopathie associée (décompression postérieure associée à une foraminotomie ou décompression antérieure)
- L'âge et les comorbidités qui si elles sont importantes doivent faire préférer un geste le moins morbide possible

## 1.4.4 Laminoplasties

### 1.4.4.1 Techniques

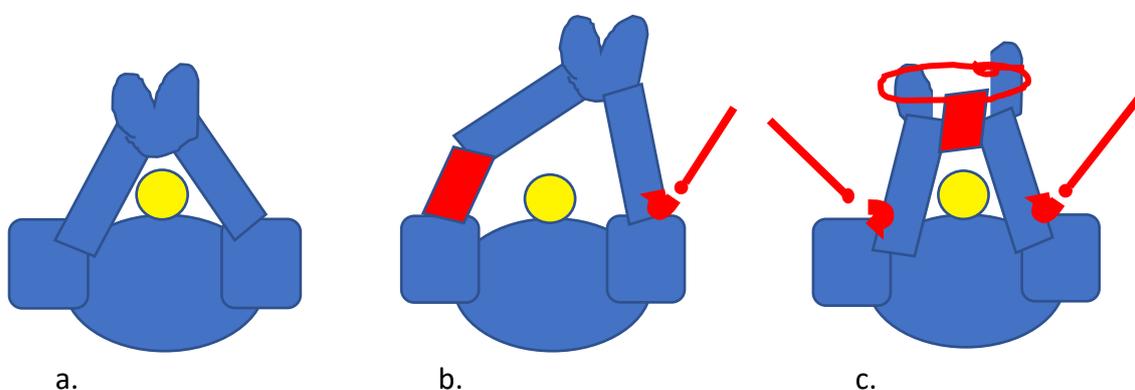
La laminoplastie consiste à augmenter le diamètre du canal rachidien cervical en modifiant la position des lames sans toutefois les réséquer. Plusieurs techniques existent, dont les plus fréquentes sont dites « open-door » et « french-door ».

La technique « open-door » consiste à réaliser une tranchée complète et une tranchée incomplète en laissant une charnière antérieure médialement aux articulaires, à l'aide d'une fraise. L'arc postérieur est ensuite soulevé, après section du ligament jaune, à partir de la tranchée complète et maintenu ouvert à l'aide d'un dispositif de fixation de type mini-plaque.

Pour la technique « french-door », on procède de la même manière en réalisant deux tranchées latérales mais en conservant une charnière antérieure de chaque côté. On réalise une troisième tranchée médiane au niveau des épineuses et jusqu'au ligament jaune. Après section du ligament jaune, les lames sont ensuite soulevées et écartées latéralement puis fixées aux plans musculaires au fil résorbable. Certains utilisent un dispositif de fixation interlaminaire. Une arthrodèse peut y être associée au besoin.

Figure 10 : Principales techniques de laminoplasties

- a. Schéma d'une vertèbre cervicale en coupe axiale
- b. Technique Open door avec dispositif de fixation maintenant l'ouverture à la jonction lame-articulaire
- c. Technique French door (associée ou non à un dispositif de fixation interlaminaire)



Source : [Création personnelle]

#### 1.4.4.2 Résultats

L'objectif principal de la chirurgie est la levée de la menace neurologique que constitue un canal cervical étroit. Les résultats cliniques escomptés sur le plan neurologique sont une amélioration des symptômes, notamment des déficits présents en préopératoire. Pour Pascal-Moussellard et al. il existe ainsi une première phase de récupération neurologique rapide et maximale à 1 mois post-opératoire avec une augmentation du score mJOA de 24% ( $p < 0.01$ ) par rapport au pré opératoire, suivi d'une phase de plateau avec une détérioration légère mais significative à 2 ans ( $p=0.008$ ). L'amélioration relative du score mJOA à 2 ans est de 24,8 % ( $p < 0,05$ ).<sup>76</sup>

Fehlings et al. ont retrouvé une amélioration plus importante de la symptomatologie (score mJOA) dans les myélopathies modérées à sévères que dans les atteintes légères.

Le facteur pronostic principal de récupération neurologique est la durée d'évolution des symptômes (meilleure est la récupération pour les malades récemment symptomatiques).<sup>77</sup>

Lee et al. ont réalisé une méta analyse récente comparant les laminoplasties étendues aux laminectomies avec arthrodèse associée. Dans les 2 groupes une amélioration significative du score mJOA a été retrouvée, avec une amélioration équivalente du score.<sup>78</sup> En revanche il semblerait que les laminoplasties soient responsables de plus de douleurs post opératoires (cervicalgies) et d'un plus grand risque de cyphose post opératoire à long terme, mais elles présentent moins de risques de complications mécaniques (syndrome adjacent, démontage) et septiques.

L'ensemble des données comparant les différentes approches sont issues d'études et méta analyses comparant les données à posteriori, c'est-à-dire après qu'une équipe spécialisée ait déjà posé l'indication d'une technique chirurgicale en prenant en compte les différents éléments cliniques et radiographiques nécessaires au choix pour un malade donné. Pour obtenir une évaluation cliniquement pertinente, comparant les différentes approches chirurgicales, il faudrait réaliser un essai contrôlé randomisé incluant une large cohorte de patients myélopathes.

#### 1.4.4.3 Complications

Les principales complications des laminoplasties cervicales sont :

- L'infection du site opératoire
- L'hématome épidural compressif : moins de 1% des cas, accompagné de signes neurologiques jusqu' à la tétraplégie et nécessitant une reprise chirurgicale urgente pour être évacué
- La paralysie de C5 qui est expliquée par l'étirement des racines C5 lors du recul médullaire. Elle concerne 4 à 6% des malades selon les séries. Cette complication est plus fréquente après laminectomie et arthrodèse postérieure (11%) qu'après laminoplastie (5%). Elle peut survenir immédiatement à quelques semaines post opératoires et a un bon pronostic de récupération. Pour Bydon et al. le taux de récupération était de 88.6% en 3 à 6 mois chez des patients opérés par voie postérieure.<sup>79</sup>
- La cyphose post-opératoire : Sur ce point Guigui et al. ont montré que le taux de déformation au décours d'une laminectomie C3-C7 préservant les facettes articulaires était de 31 % à 3,6 ans de suivi, mais que cette déformation n'était pas corrélée au résultat fonctionnel (score JOA). La présence d'une instabilité préopératoire, mais pas un défaut de lordose cervicale, était associée à une déstabilisation post laminectomie dans cette série.<sup>47</sup>
- Les cervicalgies post-opératoires après laminoplastie, qui peuvent être prévenues au moins en partie par la préservation et la retente en fin d'intervention du ligament nu-chal.<sup>80</sup>

## 1.5 But et justification de l'étude

La myélopathie cervicarthrosique reste actuellement un problème de santé publique important puisqu'elle est la première cause de lésion médullaire avant les traumatismes.<sup>1</sup>

Comme nous l'avons vu, la place laissée au traitement médical dans cette pathologie est faible, la principale solution de traitement reste la chirurgie. La laminoplastie cervicale est une des techniques de choix en cas d'atteinte pluri étagée pour prévenir un épisode de décompensation aiguë et éviter la dégradation neurologique lente. Un des objectifs de la chirurgie, en dehors de la récupération neurologique, est d'obtenir un recul médullaire satisfaisant, avec un espace de sécurité médullaire suffisant antérieur et postérieur, afin de lever la menace médullaire d'aggravation neurologique soudaine.<sup>59,81</sup> Le lien entre les résultats cliniques (score JOA) et le recul médullaire après laminoplastie retrouve des résultats discordants.<sup>82,83</sup> Cependant, pour Sodeyama et al. le taux de récupération moyen après laminoplastie était de  $53,8 \pm 25,4$  % et un recul médullaire moyen de 3 mm était discriminant pour obtenir une bonne amélioration de l'état neurologique.<sup>59</sup>

Les différentes notions d'équilibre sagittal pré opératoire décrites et leurs rôles dans la qualité des résultats a déjà été longuement étudiée et une cyphose pré opératoire était retrouvée par certains auteurs comme un critère d'évolutivité clinique de la myélopathie et d'échec chirurgical en cas de non-correction.<sup>52,48</sup> En revanche, pour Kato et al. un morphotype cervical cyphotique (C2SVA >35mm en pré-opératoire) ne serait pas pourvoyeur de moins bons résultats cliniques sur le score mJOA ni d'évolution vers un déséquilibre sagittal antérieur après laminoplasties mais serait associé à plus de cervicalgies post opératoires et une moins bonne qualité de vie (Score HQOL).<sup>55</sup>

L'influence de l'alignement sagittal pré opératoire sur le résultat de la décompression est l'une des principales préoccupations de la littérature. De nombreux auteurs ont étudié sa relation avec le recul de la moelle épinière, mais aucune conclusion univoque n'a pas été obtenue.<sup>82</sup> Seul Baba et al. ont montré que le recul postérieur de la moelle était corrélée significativement à la lordose préopératoire et postopératoire du rachis cervical. Cependant, les études ultérieures n'ont pas confirmé ce résultat.<sup>84</sup>

Seule l'étude de Sodeyama et al. analyse le recul médullaire après laminoplastie selon les 4 types de rachis (cyphose, lordose, droit, sigmoïde). Une mesure entre le LCVP en regard de l'espace discal et le bord postérieur du cordon médullaire est effectuée niveau par niveau sur TDM. Elle ne retrouve pas de différence sur le recul médullaire moyen en fonction de l'alignement sagittal.<sup>59</sup> Cependant, il s'agit d'une étude scannographique, qui peut méconnaître certains éléments compressifs, mieux analysés sur l'IRM, examen médullaire de référence.

L'objectif de notre étude est ainsi d'évaluer le recul médullaire après laminoplastie niveau par niveau en fonction de la morphologie du rachis cervical. L'hypothèse principale étant une augmentation significative de l'espace péri médullaire quel que soit le type de rachis cervical.

## Matériels et méthodes

---

Nous avons revu les dossiers des patients opérés d'une laminoplastie cervicale dans le service de chirurgie orthopédique et traumatologique de la Pitié Salpêtrière entre 2008 et 2021. Il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique. Cette étude a fait l'objet d'une déclaration APHP. Inscription au registre des études de l'APHP sous le numéro 20220223120956.

### 2.1 Patients

Un total de 136 dossiers de patients opérés pour une myélopathie cervicarthrosique avec retentissement clinique a été revu.

Les critères d'inclusion étaient :

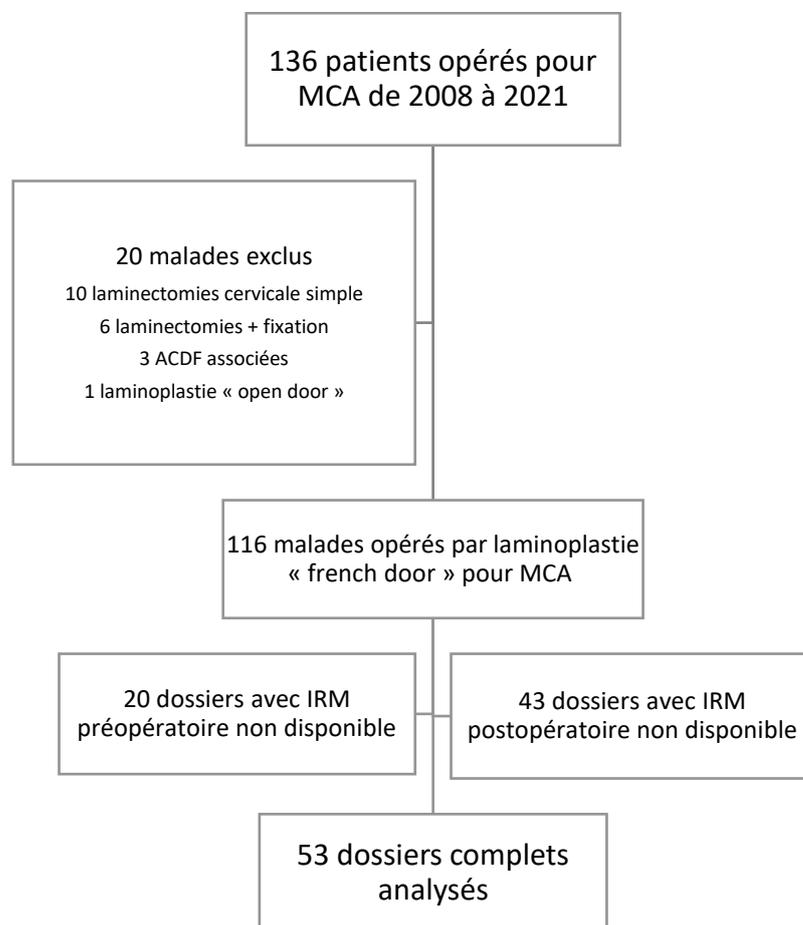
- Présenter une myélopathie cervicarthrosique cliniquement symptomatique
- Avoir été opérée d'une laminoplastie cervicale selon la technique « French Door »
- Avoir bénéficié d'une IRM de contrôle post-opératoire évaluant la qualité de la libération.

Les critères d'exclusions étaient :

- Présenter une compression médullaire cervicale en lien avec une pathologie autre que la myélopathie cervicarthrosique (spondylodiscite, tumeur...)
- Avoir été opérée par une technique de laminectomie simple, laminectomie et arthrodèse, laminoplastie « Open Door » ou d'une arthrodèse cervicale antérieure isolée ou associée
- Ne pas avoir bénéficié d'une IRM de contrôle en post opératoire
- Ne pas avoir d'IRM pré opératoire disponible dans la base de données

Au total, 53 patients ont été inclus dont 19 femmes et 34 hommes, soit 1,8 homme pour une femme. L'âge moyen était de 62 années. Le recul moyen était de 2,5 ans post opératoire.

Figure 11 : Flowchart



## 2.2 Données cliniques recueillies

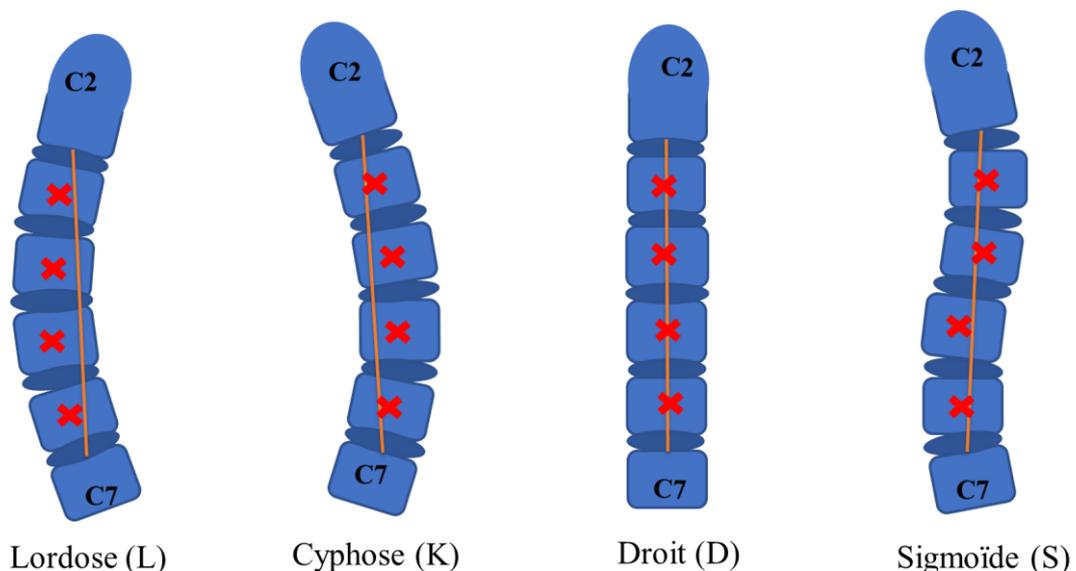
Pour l'ensemble des malades les données cliniques suivantes ont été recueillies de manière rétrospective en pré et en post opératoire : présence d'un déficit moteur, présence d'un syndrome tétra pyramidal, présence de signes objectifs de myélopathie, présence de troubles sphinctériens, présence d'une névralgie cervicobrachiale associée. Le score anesthésique ASA permettant d'évaluer l'état de santé pré opératoire a été recueilli pour chaque malade. Les complications post opératoires, la survenue d'une paralysie C5 et la nécessité de reprise chirurgicale ont été relevées.

## 2.3 Analyse radiologique

Les mesures d'équilibres sagittal pré et post opératoire ont été effectuées sur des radiographies standard debout. L'angle C2C7 ainsi que la distance C2-C7 SVA ont été évalués pour chaque malades. Les patients ont été classés en 4 sous-groupes selon la forme du rachis cervical : rachis lordotique (L), rachis cyphotique (K), rachis droit (D), rachis sigmoïde (S).

La méthode de mesure de Toyama et al.<sup>61</sup> comparant les points des centres des corps vertébraux et la droite passant par le milieu du plateau inférieur de C2 et supérieur de C7 a été utilisée. Si l'ensemble des points était situé en avant de 2mm ou plus par rapport à la droite C2C7, la mesure appartenait au groupe Lordose, si l'ensemble des points était situé en arrière de 2mm ou plus de la droite elle appartenait au groupe Cyphose, à moins de 2mm elle appartenait au groupe Droit ; et de part et d'autre de la droite C2C7 et 2mm ou plus au groupe Sigmoïde (Figure 9).

Figure 9 : Méthode de mesure du type de rachis cervical selon Toyama et al.



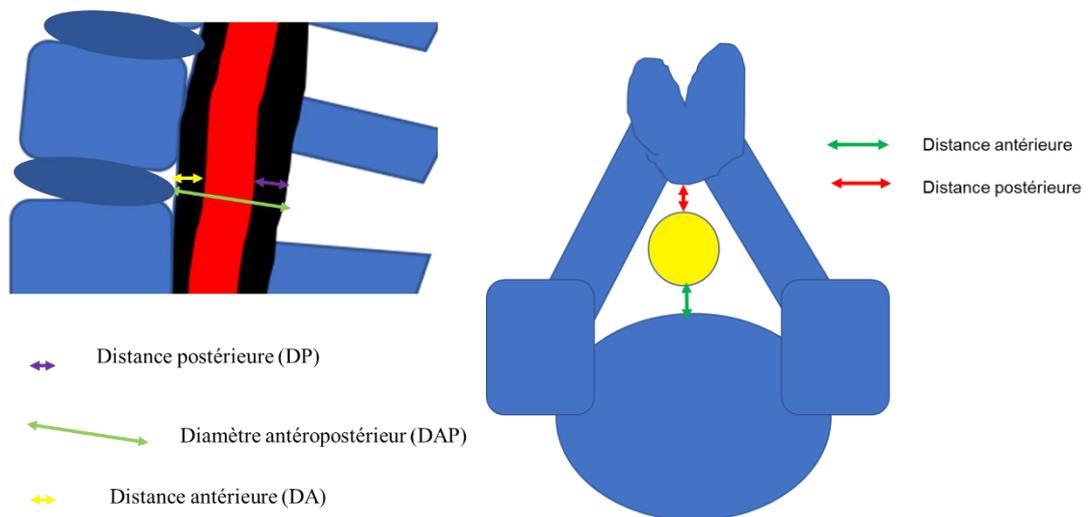
Source : [Création personnelle]

Les mesures IRM ont été réalisées niveau par niveau en pré et post opératoire. Nous avons mesuré en regard de chaque disque intervertébral, sur les coupes sagittales d'IRM en T2 la distance en millimètres entre le ligament commun vertébral postérieur et le ligament jaune niveau par niveau de C2C3 à C7T1. Cette distance correspondait au diamètre antéropostérieur du canal rachidien (DAP).

A chaque niveau, ont aussi été mesurées, en pré et post opératoire, en coupes axiales T2, la distance en millimètres entre le LCVP et le cordon médullaire, ainsi que la distance entre le cordon postérieur et le ligament jaune. Ces 2 distances sont appelées respectivement distance antérieure (DA) et distance postérieure (DP).

L'ensemble des mesures ont été réalisées avec l'outil d'analyse d'imagerie Carestream PACS™.

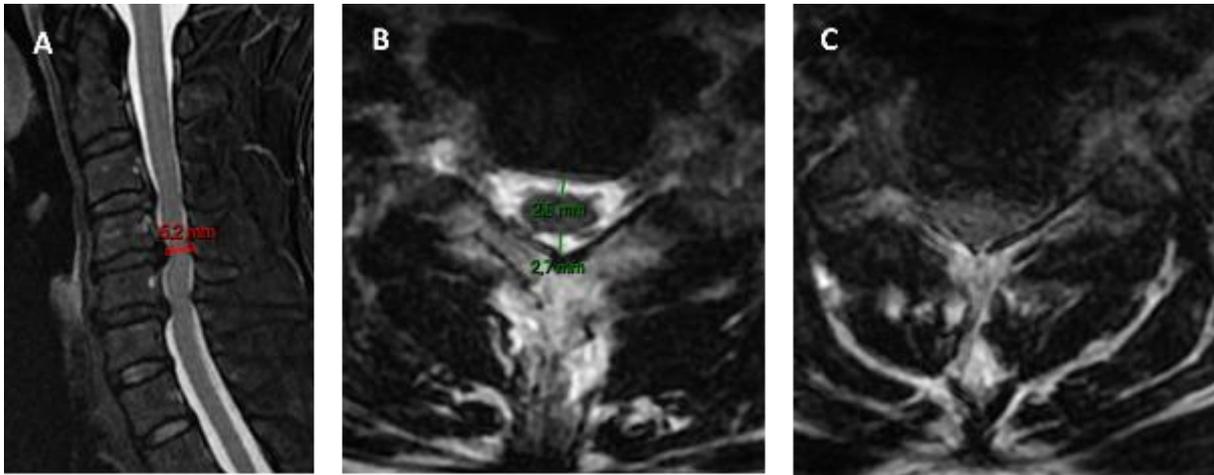
Figure 12 : Schéma des méthodes de mesures IRM



Source : [Création personnelle]

Figure 13 : Exemple de mesures sur une IRM en coupes sagittales et axiales T2

A. Mesure de la distance antéro postérieure en regard du disque intervertébral C4C5 en coupe sagittale T2 B. Mesure de la distance antérieure et postérieure en regard du disque C6C7 en coupe axiale T2 C. Perte de l'espace de sécurité péri médullaire en regard du disque C4C5 avec déformation du cordon médullaire, distances antérieure et postérieure nulles



Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

## 2.4 Analyse statistique

Les données recueillies ont été saisies sur Excel pour analyse anonymisée. Une analyse descriptive des données cliniques et paracliniques initiales a été réalisée, puis une analyse différentielle entre les données pré et post-opératoires a été réalisée sur le logiciel GraphPad Prism 9.3, avec réalisation de tests de Mac Nemar pour les données qualitatives et de tests t de Student appariés pour les données quantitatives. Une analyse différentielle en sous-groupe selon le type de rachis (L, K, D, S) a ensuite été réalisée sur GraphPad Prism 9.3, avec tests de Mac Nemar pour les données qualitatives et tests de Wilcoxon pour les données quantitatives ( $n < 30$ ). Une analyse par régression linéaire entre le différentiel de mesure de la DAP (DAP post op – pré op) et la valeur préopératoire de l'angle C2C7 ainsi que la valeur préopératoire de C2C7 SVA a également été réalisée à l'aide du logiciel R. Le critère de jugement principal était la différence de diamètre antéropostérieur entre le préopératoire et le postopératoire.  $p < 0.05$  était considéré comme significatif.

## Résultats

---

### 3.1 Données démographiques

L'âge moyen était de 61.8 +/- 10.4 ans [42 ; 80]. Notre étude concernait 34 hommes pour 19 femmes soit un ratio H/F de 1,8. Le score de gravité anesthésique ASA était en moyenne de 1,8, +/- 0.5 [1 ;3], avec 13 patients ASA 1, 33 patients ASA 2, 2 patients ASA 3, et aucun patient ASA 4. Le score ASA était inconnu pour 5 patients. 51 patients étaient opérés d'une laminoplastie de C3 à C6 associée à une laminectomie crâniale de C7. Un patient a bénéficié uniquement d'une laminoplastie de C5 à C7 et un patient de C3 et C4.

Un geste de fixation ou de stabilisation était associée au geste de libération pour 3 patients sur 53 (5,6%), un par une arthrodèse postérolatérale à l'aide de vis articulaire unilatérales C3C4 et deux par un système de dispositif interépineux de type Laminijoys.

### 3.2 Analyse des données cliniques

Le nombre de patient présentant un déficit moteur était de 22 sur 47 (46,8%), et 15 sur 46 (30,4%) patients présentaient une NCB. Les troubles sphinctériens concernaient 11 sur 43 (20,9%) patients (Tableau 2).

En post-opératoire, par rapport au pré-opératoire, le taux de patients présentant des symptômes médullaires était diminué de 89,6% à 43,8% ( $p < 0,001$ ) et le taux de patients présentant une NCB diminuait également de 30,4 % à 10,9% ( $p = 0,006$ ), de même que le taux de syndrome pyramidal de 70,2% à 19,2% de façon statistiquement significative ( $p < 0,001$ ). Concernant la récupération d'un déficit neurologique moteur, le taux de patients déficitaire passait de 46,8% en pré opératoire à 29,8% en post opératoire ( $p = 0,130$ ). La présence de troubles sphinctériens diminuait de 20,9% à 9,3% après chirurgie ( $p = 0,267$ ). L'ensemble des données cliniques sont résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Résultats des données cliniques avant et après laminoplastie après analyse globale des données appareillées

	Pré opératoire +	Post opératoire +	p
Déficit moteur	22/47 (46,8%)	14 /47 (29,8%)	0,238
Syndrome pyramidal	35/47 (70,2%)	9/47 (19,2%)	< 0,001**
Signes médullaires	45/48 (89,6%)	22/48 (43,8%)	< 0,001**
Troubles sphinctériens	11/43 (20,9%)	4/43 (9,3%)	0,267
NCB	15/46 (30,4%)	5/46 (10,9%)	0,006 **

*\*les données manquantes ont été exclues de l'analyse statistique \*\* p < 0,05 considéré comme significatif*

Source : [Création personnelle]

L'analyse en sous-groupes, a permis de mettre en évidence une diminution de la symptomatologie neurologique dans tous les sous-groupes. Dans le groupe lordose il existait une diminution de 74,2% à 22,6% ( $p < 0,001$ ) du taux de syndrome pyramidal et une diminution de 84,4% à 46,9% des symptômes médullaires ( $p = 0,001$ ). Pour les autres sous-groupes (K, D, S) l'ensemble des résultats cliniques n'étaient pas significatifs, probablement par manque d'effectif. L'ensemble des résultats est résumé dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Résultats des données cliniques avant et après laminoplastie après analyse selon le type de rachis (L, K, D, S) des données appariées

	Type de rachis	Pré opératoire +	Post opératoire +	<i>p</i>
Déficit moteur	L	11/31 (35,5%)	6/31 (19,4%)	0,130
	K	2/4	1/4	ns
	D	6/8	6/8	ns
	S	2/4	1/4	ns
Syndrome pyramidal	L	23/31 (74,2%)	7/31 (22,6%)	< 0,001 *
	K	2/4	0/4	0,479
	D	5/8	1/8	0,134
	S	3/4	1/4	0,479
Signes médullaires	L	27/32(84,4%)	15/32 (46,9%)	0,001 *
	K	4/4	1/4	0,248
	D	8/8	4/8	0,134
	S	4/4	1/4	0,248
Troubles sphinctériens	L	6/28 (21,4%)	3/28 (10,7%)	0,248
	K	1/4	0/4	ns
	D	2/8	1/8	ns
	S	0/4	0/4	ns
NCB	L	8/30 (26,7%)	3/30 (10,0%)	0,182
	K	1/4	1/4	ns
	D	4/8	1/8	0,371
	S	1/4	0/4	ns

\* *p* < 0,05 considéré comme significatif

Source : [Création personnelle]

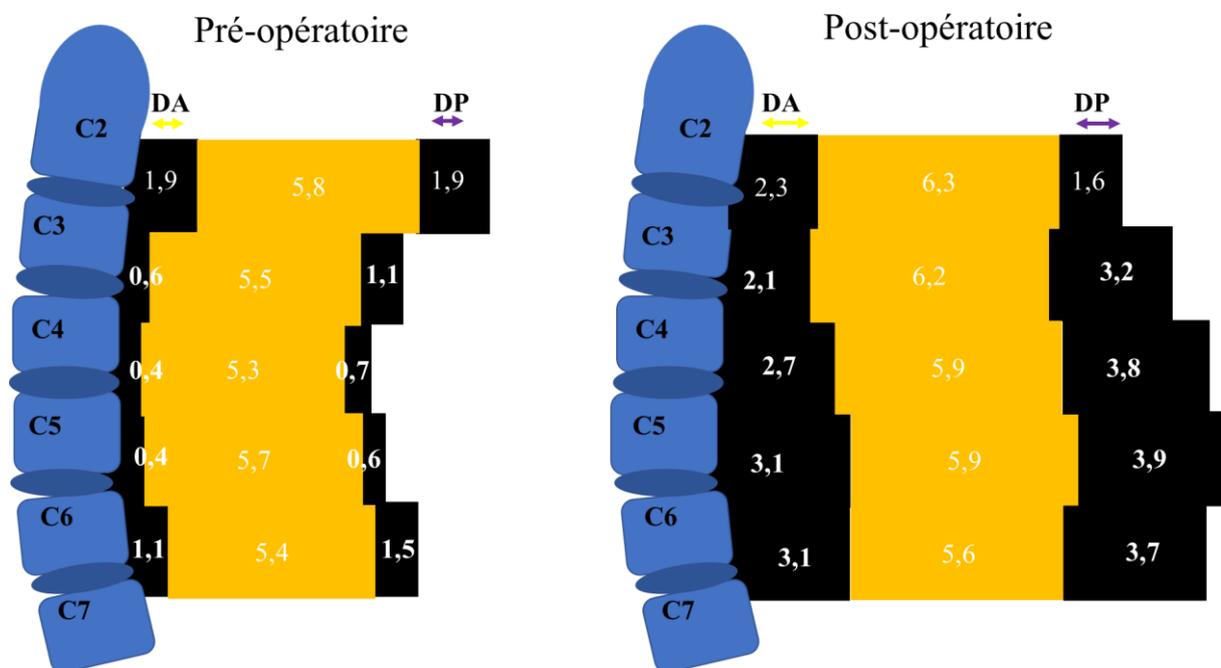
### 3.3 Analyse en imagerie par résonance magnétique

#### 3.3.1 Analyse globale

Les données IRM pré et post-opératoires sont modélisées sur la Figure 14 :

Figure 14 : Modélisation du recul médullaire après laminoplastie cervicale.

En noir, sont représentées les valeurs brutes moyennes en mm, niveau par niveau, de la distance antérieure (DA) et de la distance postérieure (DP). En orange, sont représentées les valeurs brutes moyennes en mm, niveau par niveau de l'espace restant au cordon médullaire.



Echelle : 1mm=1cm

Source : [Création personnelle]

L'analyse pré opératoire a montré que la sténose cervicale prédominait en C4C5 et C5C6 où les valeurs sont les plus faibles pour les 3 mesures réalisées (Figure 14). La DAP moyenne était de 6,5 mm en C45 et 6,7mm en C5C6 en pré opératoire.

Un hypersignal T2 témoignant d'une souffrance médullaire, était présent chez 41 malades soit 77%. Le niveau qui présentait le plus souvent un hypersignal intramédullaire T2 était C4C5 avec 22 /41 patients soit 54%. En C2C3, seuls 2 patients présentaient un hypersignal T2, 16 en C3C4, 14 en C5C6, 6 en C6C7 et aucun en C7T1. Un post opératoire, la libération n'a pas démasqué d'hypersignal non visible en pré opératoire et le nombre d'hypersignaux était identique.

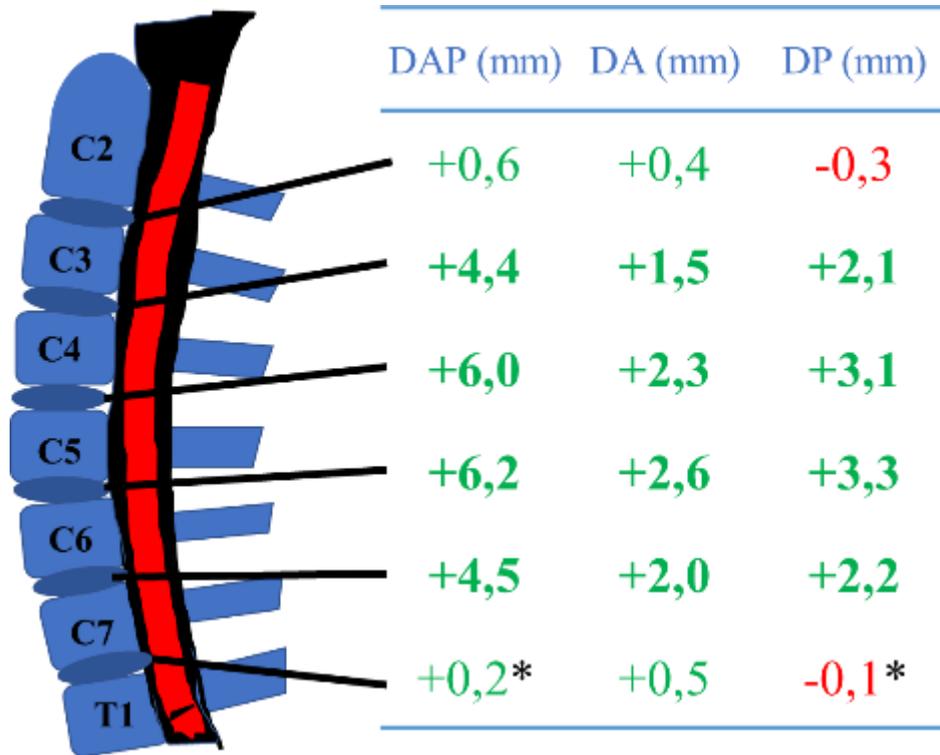
L'analyse des données a montré qu'il existait une augmentation significative de la distance antéro postérieure tous types de rachis confondus, et à tous les niveaux sauf en C7T1 (+ 0,2mm,  $p=0,28$ ), (Figure 15). Cette augmentation était la plus importante en C4C5 et en C5C6 avec des augmentations respectives de 6,0mm +/-0,38mm ( $p<0,001$ ) et de 6,2mm +/-0,44mm ( $p<0,001$ ). L'augmentation moyenne de la DAP, tous niveaux confondus est de 3,6 mm +/- 0,2 et 5,3mm +/- 0,2 ( $p<0,001$ ) après exclusion des niveaux non opérés (C2C3 et C7T1).

Concernant la distance antérieure il existait une augmentation significative, tous types de rachis confondus, et à tous les niveaux. De nouveau, l'augmentation était la plus importante en C4C5 et en C5C6 avec des augmentations respectives de 2,3mm +/- 0,22mm ( $p<0,001$ ) et de 2,6mm +/-0,24mm ( $p<0,001$ ). L'augmentation moyenne de la DA, tous niveaux confondus était de 1,6 mm +/- 0,01mm ( $p<0,001$ ). (Figure 15)

L'analyse a également montré une augmentation significative de la distance postérieure tous types de rachis confondus, aux niveaux C3C4, C4C5, C5C6 et C6C7. L'augmentation était la plus importante en C4C5 et en C5C6 avec des augmentations respectives de 3,1mm +/-0,20mm ( $p<0,001$ ) et de 3,3mm +/-0,25mm ( $p<0,001$ ). En revanche il faut noter des diminutions de la distance postérieure en post opératoire en C2C3 et C7T1, respectivement de -0,3mm +/- 0,13mm ( $p=0,02$ ) et de -0,1mm ( $p=0,44$ ). L'augmentation moyenne de la DP, tous niveaux confondus était de 1,7 mm +/- 0,12mm ( $p<0,001$ ). (Figure 15)

Figure 15 : Analyse niveau par niveau du recul médullaire

Différence moyenne pour la distance antéropostérieure (DAP), la distance antérieure (DA) et la distance postérieure (DP) entre post et pré-opératoire en mm, niveau par niveau.

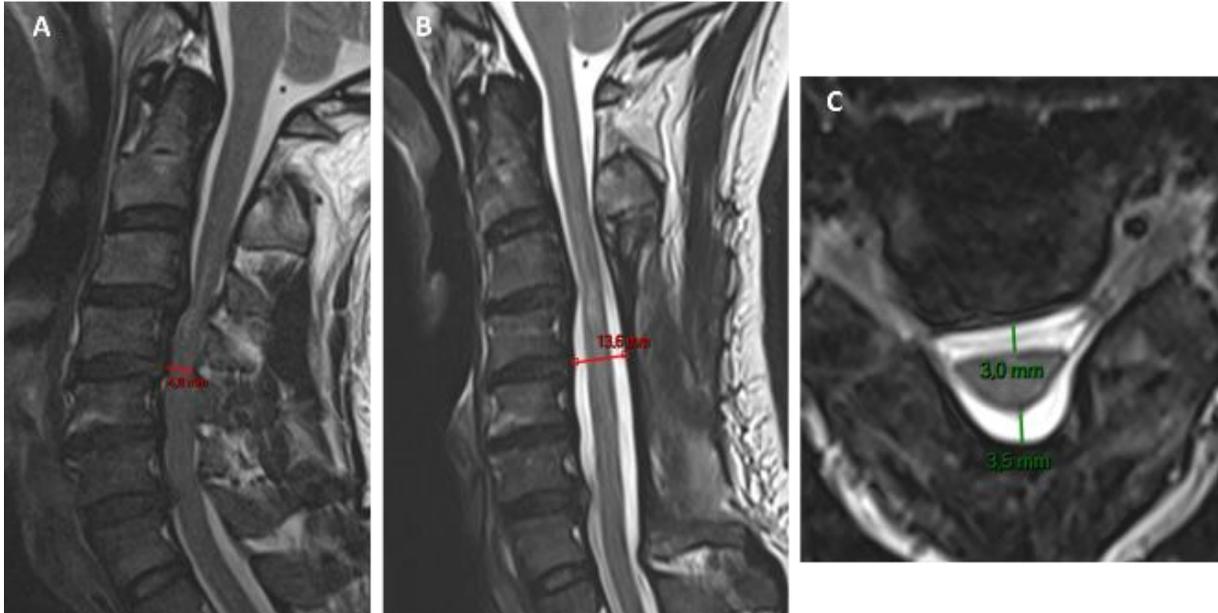


\*L'ensemble des résultats retrouve une différence significative avec  $p < 0,05$  sauf pour les mesures de DAP et DP en C7T1.

Source : [Création personnelle]

Figure 16 : Mesures pré et post opératoires en C4C5 sur IRM en séquence T2

*IRM en coupe sagittale T2 avec mesure du DAP en C4C5 en pré opératoire (A) et en post opératoire (B). IRM en coupes axiales T2 en post opératoire (C) montrant la restauration des espaces périmédullaires antérieur (DA) et postérieur (DP).*



Source : [Création personnelle ; imagerie issue du système Carestream PACS™ de l'APHP]

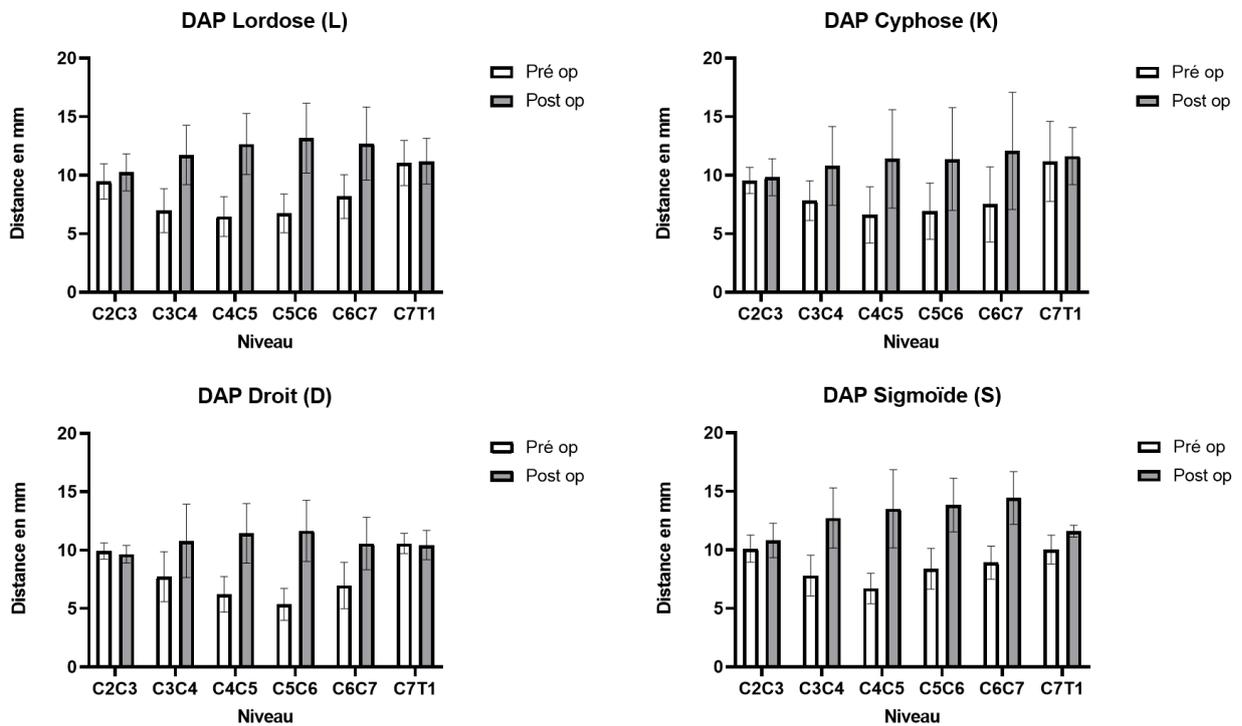
### 3.3.2 Analyse en sous-groupes selon le type sagittal (L, K, D, S)

En analyse en sous-groupe, il existait une différence significative entre le pré opératoire et le post opératoire pour le sous-groupe lordose (L) à tous les niveaux sauf en C7T1 ( $p=0,57$ ). L'augmentation était maximale en C4C5 avec en moyenne  $+6,2\text{mm} \pm 0,45$  ( $p<0,001$ ) et en C5C6 avec en moyenne  $+6,4\text{mm} \pm 0,56$  ( $p<0,001$ ).

Pour les groupes cyphoses (K) et sigmoïde (S) il existait une augmentation notable de la DAP en C4C5, C5C6 et C6C7 sans que les résultats ne soient significatifs ( $p>0,05$ ).

Pour le sous-groupe droit (D), l'analyse retrouve une augmentation significative ( $p<0,05$ ) de la DAP à tous les niveaux opérés, et celle-ci était maximale en C4C5 ( $5,2\text{mm} \pm 0,83$ ) et C5C6 ( $6,3\text{mm} \pm 0,98$ ).

Figure 17 : Graphique représentant la Distance antéro postérieure (DAP) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S)



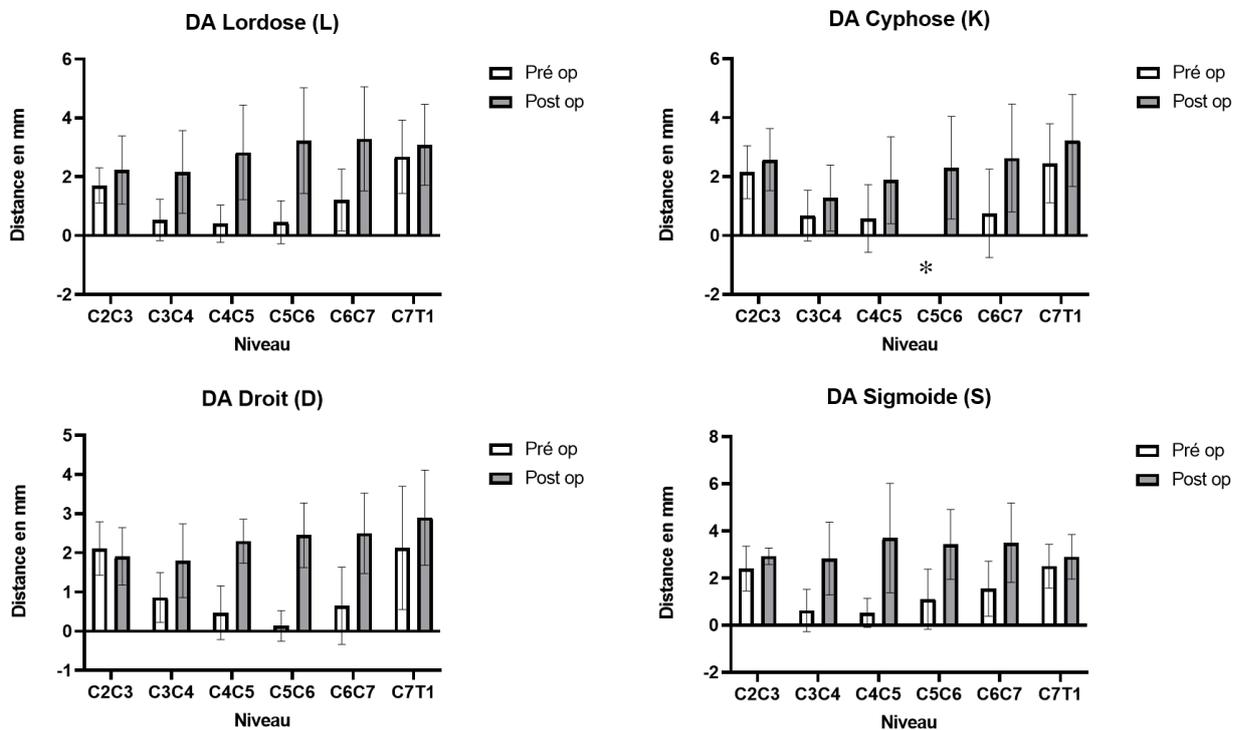
Source : [Création personnelle ; logiciel Prism]

L'analyse de la distance antérieure (DA) pour le groupe lordose (L) a montré qu'il existait une augmentation significative ( $p < 0,001$ ) de la DA en C3C4 (+1,6mm +/- 0,24), C4C5 (+2,4mm +/- 0,27), C5C6 (2,8mm +/- 0,31) où elle était maximale, et en C6C7 (2,08mm +/- 0,29).

Pour les rachis en cyphose (K) et sigmoïde (S) il existait une augmentation de la DA à tous les niveaux avec une différence postopératoire - préopératoire maximale en C5C6 (+2,3mm +/- 0,87mm) pour le groupe K et en C4C5 (+3,2mm +/- 1,19) pour le groupe S, sans que les résultats ne soient significatifs ( $p > 0,05$ ).

Pour le sous-groupe droit (D), il existait une augmentation significative ( $p < 0,01$ ) de la DA en C4C5 (+1,8mm +/- 0,32), C5C6 (2,3mm +/- 0,26) où elle était maximale et C6C7 (1,9mm +/- 0,55). En C3C4, il existe une augmentation (0,9mm +/- 0,34) qui n'était pas significative ( $p = 0,05$ ).

Figure 18 : Graphique représentant la Distance antérieure (DA) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S).



\*Absence de barre d'histogramme pré opératoire en C5C6 car l'ensemble des valeurs mesurées est égal à zéro.

Source : [Création personnelle ; logiciel Prism]

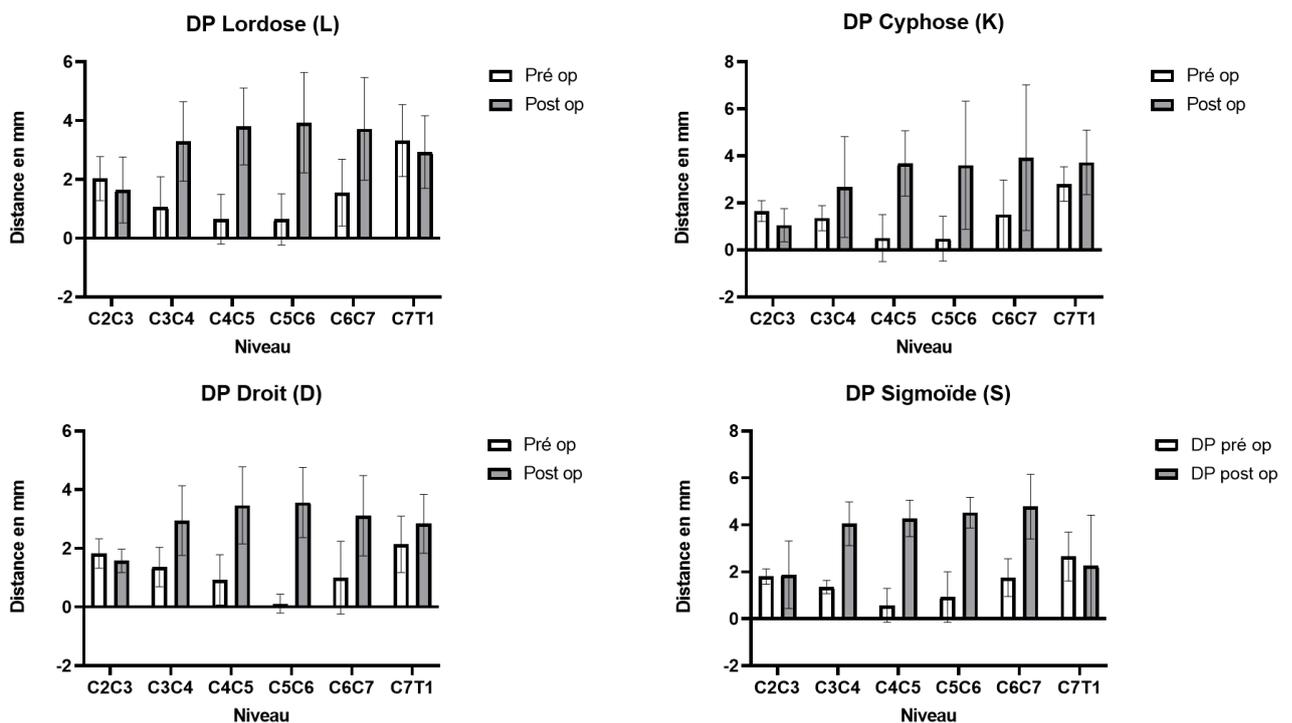
La mesure de la distance postérieure (DP) pour le groupe lordose (L) a mis en évidence une augmentation significative ( $p < 0,001$ ) de la DP entre pré et post opératoire en C3C4, C4C5, C5C6, C6C7 et une faible diminution mais significative de la DP en C2C3 ( $-0,4\text{mm} \pm 0,16\text{mm}$  ;  $P=0,046$ ) et C7T1 ( $-0,4\text{mm} \pm 0,17$  ;  $p= 0,046$ ).

Pour les rachis en cyphose (K) il existait une augmentation de la DP à tous les niveaux avec une différence postopératoire - préopératoire maximale en C4C5 ( $+3,18\text{mm} \pm 0,65\text{mm}$ ) et C5C6 ( $+3,13\text{mm} \pm 1,8\text{mm}$ ) sans que les résultats ne soient significatifs.

Dans le groupe Sigmoidale (S), il existait une augmentation de la DP à tous les niveaux, sauf en C7T1 ( $-0,40\text{mm}$ ), avec une différence postopératoire - préopératoire maximale en C4C5 ( $+3,7\text{mm} \pm 0,60\text{mm}$ ) et C5C6 ( $+3,6\text{mm} \pm 0,66\text{mm}$ ) sans que les résultats ne soient significatifs.

Concernant l'analyse des rachis droits (D), il existait une augmentation significative ( $p < 0,01$ ) de la DP en C3C4 (+1,6mm +/- 0,35), C4C5 (+2,5mm +/- 0,39) et C5C6 (+3,5mm +/- 0,42) où celle-ci est maximale. En C6C7 il existe une augmentation +2,1 mm +/- 0,78 de la DP mais de manière non significative ( $p=0,05$ ).

Figure 19 : Graphique représentant la distance postérieure (DP) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S)



Source : [Création personnelle ; logiciel Prism]

### 3.4 Analyse radiographique

#### 3.4.1 Données pré opératoires

La morphologie en lordose concernait 70% des rachis cervicaux analysés, tandis que le deuxième type le plus fréquent était le morphotype droit (D) pour 15% des patients. La lordose moyenne pré opératoire était de  $12,5^\circ \pm 1,6$ . La distance C2C7 SVA était de  $17,1\text{mm} \pm 1,7$  en pré opératoire. Ces données sont résumées dans les Tableaux 4 et 5.

Tableau 4 : Mesures de la lordose moyenne C2C7° globale et par sous-groupe en pré-opératoire et post-opératoire.

Morphologie pré op	Nombre (%)	Lordose C2C7 (°) pré op	Lordose C2C7 (°) post op	p
L	37 (69,8)	18,0	10,9	<0,001 *
K	4 (7,6)	-14,4	-17,6	0,63
D	8 (15,1)	3,6	-1,4	0,20
S	4 (7,6)	5,6	1,2	0,25
Total	53	12,5 (+/-1,6)	6,8 (+/-1,8)	<0,001 *

\*  $p < 0,05$  considéré comme significatif

Source : [Création personnelle]

Tableau 5 : Mesures de la distance moyenne C2C7 SVA (mm) globale et par sous-groupe en pré-opératoire et post-opératoire.

Morphologie pré op	Nombre (%)	C2C7 SVA (mm) pré op	C2C7 SVA (mm) post op	p
L	37 (69,8)	17,6	29,2	<0,001 *
K	4 (7,6)	16,3	21,4	0,13
D	8 (15,1)	15,0	29,2	0,008 *
S	4 (7,6)	18,1	24,7	0,63
Total	53	17,1 (+/-1,7)	28,2 (+/-2,2)	<0,001 *

\*  $p < 0,05$  considéré comme significatif

Source : [Création personnelle]

### 3.4.2 Analyse post-opératoire

En post-opératoire, 25 sur 53 (47,2%) des rachis cervicaux analysés présentaient une morphologie en lordose, 10 sur 53 (18,9%) étaient en cyphose (K), 16 sur 53 (30,2 %) étaient droits, 2 sur 53 (3,8 %) étaient de forme sigmoïde. La lordose moyenne post-opératoire était de  $6,8^{\circ} \pm 1,8$ . La distance C2C7 SVA était de  $28,2\text{mm} \pm 2,2$ . Ces données sont résumées dans les Tableaux 4, 5 et 6.

### 3.4.3 Evolution radiographique entre le pré et le post-opératoire

Il existait une différence moyenne de l'angle C2C7 de  $-5,7^{\circ} \pm 1,8$  entre le pré et le post opératoire de manière significative ( $p < 0,001$ ). Ce qui correspondait à une perte de  $5,7^{\circ}$  de lordose globale tout type de rachis confondu après laminoplastie dans notre série. (Tableau 4) Il existait une différence moyenne de  $+11,1\text{mm} \pm 2,2$  de la distance C2C7 SVA entre le pré et le post opératoire, statistiquement significative ( $p < 0,001$ ). (Tableau 5)

Pour les rachis lordotiques en pré opératoire il existait une perte moyenne de  $7,1^{\circ} \pm 1,9$  de lordose C2C7 ( $p < 0,001$ ) (Tableau 4). Il existait également pour les rachis lordotiques une différence moyenne de  $+11,6\text{mm} \pm 2,2$  de la distance C2C7 SVA entre le pré et le post opératoire ( $p < 0,001$ ). (Tableau 5) Sur les 37 rachis lordotiques en pré opératoire, 25 sont restés classés lordotiques en post-opératoire, 11 (32,4%) ont évolués vers un morphotype droit et un vers un morphotype cyphotique. (Tableau 6)

Pour les autres morphotypes de rachis il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le pré et le post opératoire sur les mesures de l'angle C2C7 et de la distance C2C7 SVA ( $p > 0,05$ ) sauf pour la mesure de C2C7SVA pour les rachis droits où l'on retrouvait une augmentation de  $14,3\text{mm} \pm 2,8$  entre le pré et le post opératoire ( $p = 0,008$ ). (Tableau 5). 5/8 (63%) des rachis droits et 2/4 (50%) des rachis sigmoïdes en pré opératoire évoluaient vers la cyphose radiologique. (Tableau 6)

Tableau 6 : Evolution du type de rachis entre pré et post opératoire

<i>Type sagittal post-op</i> -->	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<b>Total général pré op</b>
<b>Type sagittal pré op</b>					
<b>K</b>	4				<b>4</b>
<b>L</b>	1	25		11	<b>37</b>
<b>S</b>	2		2		<b>4</b>
<b>D</b>	3			5	<b>8</b>
<b>Total général post op</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>53</b>

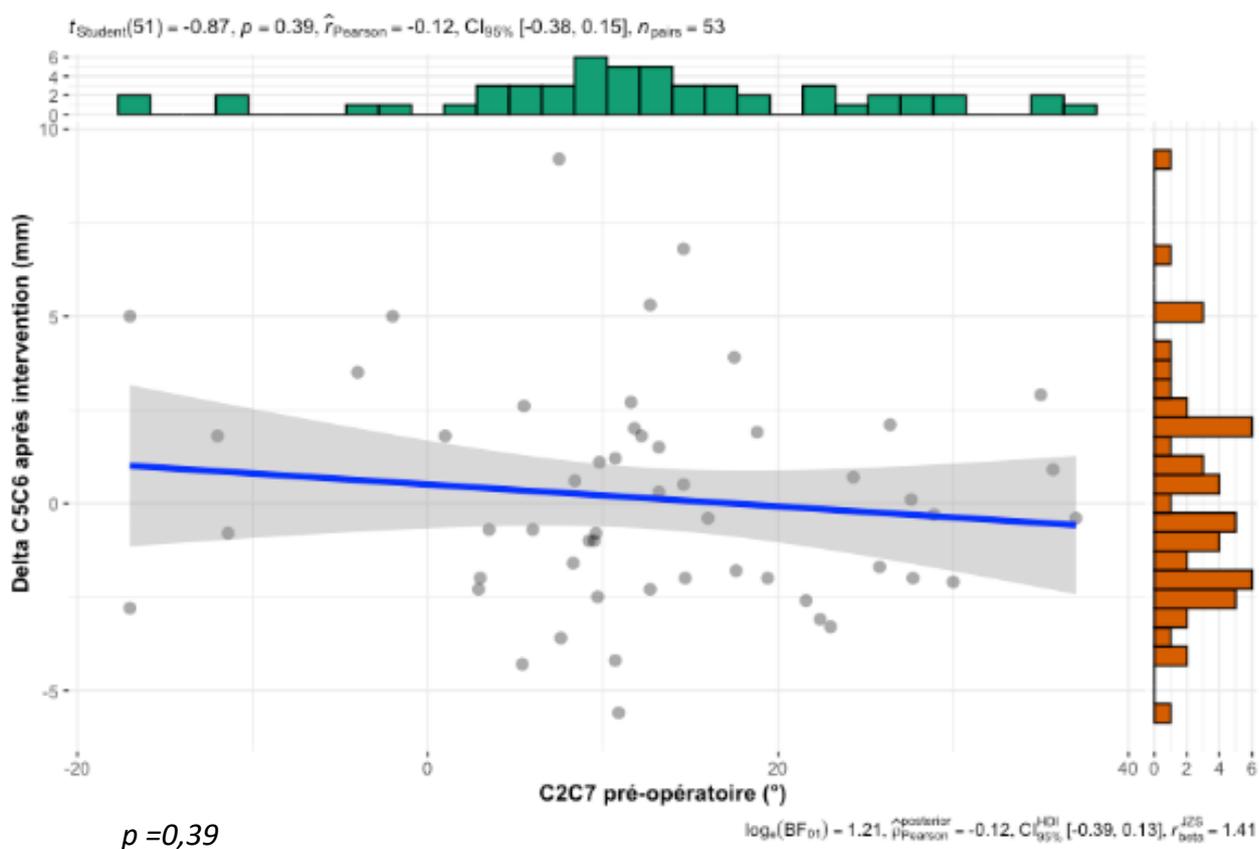
Source : [Création personnelle]

### 3.5 Analyse du lien entre le recul médullaire et les mesures d'équilibre sagittal

L'analyse du lien entre la différence post opératoire - pré opératoire de DAP (mm) et la valeur de la lordose C2C7(°) par régression linéaire, à chaque niveau, n'a pas retrouvé de lien statistiquement significatif ( $p > 0,05$ ).

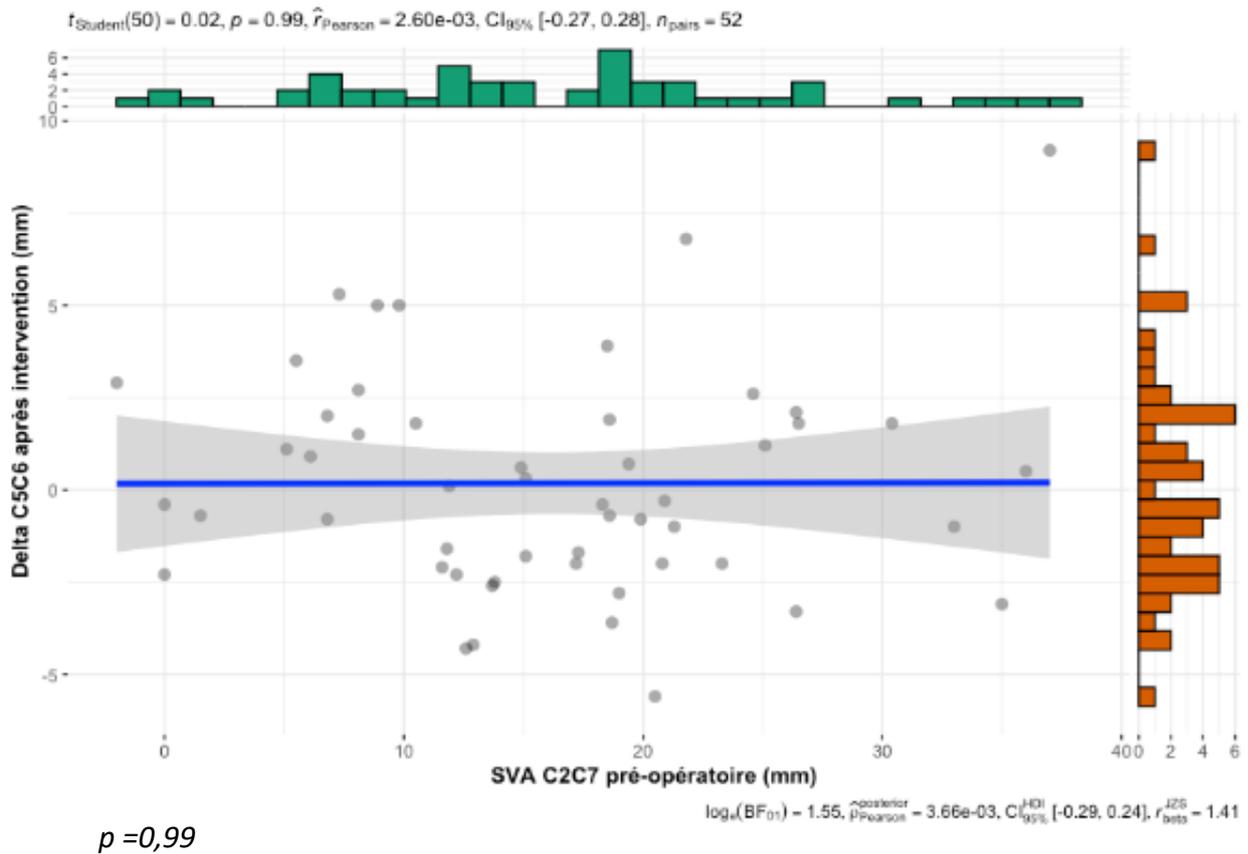
De la même manière, aucun lien statistique n'était retrouvé entre le différentiel postopératoire de DAP (mm) et la valeur de C2C7 SVA (mm) ( $p > 0,05$ ).

Figure 20 : Régression linéaire de la variation de la DAP en C5C6 après intervention (mm) en fonction de l'angle C2C7(°) pré -opératoire.



Source : [Création personnelle ; logiciel R]

Figure 21 : Régression linéaire de la variation de la DAP en C5C6 après intervention (mm) en fonction de la distance C2C7 SVA (mm) pré -opératoire.



Source : [Création personnelle ; logiciel R]

### 3.6 Complications

Dans notre série le nombre de complications était de 5 soit 9,4%, parmi lesquelles 3 infections du site opératoire précoces (5,7%) ayant nécessité une reprise pour un lavage chirurgical associé à une antibiothérapie prolongée, une brèche durale per opératoire compliquée d'un méningocèle ayant nécessité une reprise chirurgicale, une névralgie d'Arnold post opératoire associée à l'exérèse d'un lipome retro occipital dans le même temps chirurgical. Une reprise chirurgicale pour infection précoce s'est compliquée d'une tétraplégie post opératoire, non récupérée. Le taux de reprise chirurgicale était de 7,5% soit 4 reprises sur la totalité de la série. Aucune paralysie de C5 post opératoire dans notre série n'a été déplorée.

## Discussion

---

Les techniques de décompression postérieure sont largement utilisées dans la prise en charge de la myélopathie cervicale chez les patients présentant une compression médullaire à plusieurs niveaux, et l'augmentation de l'espace péri médullaire antérieur et postérieur est un des objectifs principaux des laminoplasties cervicale puisqu'il est le reflet de la décompression médullaire.<sup>59,81</sup>

Dans notre série, nous avons montré qu'il existait un recul médullaire significatif tous types de rachis confondus avec une augmentation du diamètre antéro postérieur (DAP) du canal médullaire, à tous les niveaux. L'augmentation moyenne de la DAP, tous niveaux confondus, était de 5,3mm +/- 0,2mm (p<0,001). Il existait à la fois une décompression antérieure (augmentation moyenne de la DA de + 1,6 mm) et postérieure (augmentation moyenne de la DP de + 1,7 mm) satisfaisante, à tous les niveaux opérés. La décompression était maximale au sommet de la lordose soit en C4C5 (DAP= +6,0mm) et C5C6 (DAP= +6,2mm). L'analyse en sous-groupes a montré qu'il existait une augmentation significative des 3 distances à tous les niveaux opérés pour les rachis lordotiques. En revanche, l'analyse des autres sous-groupes a montré qu'il existait un recul médullaire à tous les niveaux opérés quelle que soit la forme du rachis cervical, mais le faible effectif de la série ne nous a pas permis d'obtenir des résultats significatifs pour toutes les mesures. La perte de lordose C2C7 moyenne était de 5,7° (p< 0,001) après laminoplastie. Aucune corrélation entre les mesures d'équilibre sagittal pré opératoire et le recul médullaire n'a été retrouvée. Nous n'avons déploré aucune paralysie de C5 en post-opératoire.

Concernant la signification clinique de ces résultats, Itoh et Tsuji ont rapporté qu'une augmentation moyenne de 4,1mm du diamètre antéropostérieur du canal permettait d'obtenir un résultat clinique et scanographique satisfaisant après laminoplastie.<sup>85</sup> Dans notre série, l'augmentation moyenne de la DAP, tous niveaux confondus était de 5,3mm +/- 0,2mm ( $p < 0,001$ ). Ces résultats sont concordants avec la littérature sur le sujet, citons par exemple Hatta et al.<sup>86</sup>, qui retrouvaient un recul médullaire moyen de +2,7mm en C5 (DA post op – DA pré op) pour les patients opérés d'une laminoplastie en « open door », (+2,6mm dans notre série). Concernant le niveau où la décompression est maximale, la revue de la littérature a montré qu'elle était maximale au sommet de la lordose, soit en regard de C5, après une chirurgie de décompression postérieure.<sup>82</sup> Cela correspond aux résultats de notre série où elle était maximale en C4C5 (DAP= +6,0mm) et C5C6 (DAP= +6,2mm).

Peu d'études évaluent le lien entre qualité radiologique de la décompression et l'équilibre sagittal pré opératoire après laminoplastie cervicale. Hatta et al.<sup>86</sup> n'ont pas retrouvé de lien entre la lordose cervicale évaluée par l'index d'Ishihara et le recul médullaire, mais il s'agissait de la lordose post-opératoire mesurée par une IRM, avec un groupe de patients opérés de laminoplasties sélectives. Seule l'étude de Sodeyama et al.<sup>59</sup> évaluait le recul médullaire après laminoplastie étendue en fonction de la morphologie cervicale classée en sous-groupe (L, K, D, S). Aucune différence significative sur le recul médullaire moyen entre les groupes n'était retrouvée, mais un recul médullaire de moins de 2 mm était retrouvé en C3C4 et C4C5 dans les groupes K et S ce qui correspondait au sommet de la cyphose. Cette tendance n'était pas retrouvée dans notre étude probablement en lien avec le faible effectif de ces sous-groupes. Il semblerait cependant que les rachis de forme droite de notre série se comportent comme les rachis lordotiques avec une augmentation significative de la DAP à tous les niveaux opérés et maximale en C5C6 (+6,3mm +/-0,98).

L'objectif final de la chirurgie étant l'amélioration de la symptomatologie neurologique, il est intéressant d'analyser son lien avec le recul médullaire. Les résultats de la littérature divergent, et si Baba et al.<sup>84</sup> ont montré que l'amélioration neurologique était significativement corrélée au recul du cordon médullaire avec une amélioration neurologique supérieure à 50 % associée à un déplacement postérieur médullaire plus important, une étude plus récente réalisée par Nori et al. en 2018, et incluant 198 patients, ne retrouvait pas d'association entre le recul médullaire radiologique et l'amélioration du score JOA.<sup>83</sup> Dans notre série nous avons pu mettre en évidence une amélioration significative des symptômes neurologiques (syndrome pyramidal, symptômes médullaires) après laminoplastie étendue tous types de rachis confondus ainsi que pour les patients de morphotype lordotique. L'absence de significativité statistique de l'amélioration des symptômes neurologiques des autres morphotypes est probablement en lien avec le faible effectif de ces différents sous-groupes.

Concernant, la survenue d'une paralysie de C5 qui est une complication post-opératoire redoutée après décompression postérieure, le taux habituellement rapporté dans la littérature est autour de 5% pour les techniques de laminoplasties, soit 2 à 3 cas attendus dans notre série.<sup>87</sup> Nous n'avions aucun cas de paralysie de C5 dans notre étude, ce qui peut être expliqué, en dehors du faible effectif de la série, par l'utilisation d'une technique de laminoplastie « french door ». En effet, cette technique a été rapporté par Kanyeama et al. comme étant significativement moins associée à la survenue d'une paralysie de C5 que la technique « open door » avec un taux de C5 palsy de 1,4% (1/73) dans le groupe laminoplastie « french door ».<sup>88</sup>

Le lien entre l'équilibre sagittal pré opératoire et le résultat clinique des laminoplasties est la corrélation la plus étudiée mais reste controversée. Pour Kato et al.<sup>55</sup> la distance C2C7 SVA n'avait aucune corrélation avec les scores d'évaluation de l'état clinique (score JOA, VAS, JOACMEQ et SF-36) pré opératoire. En revanche, la lordose C2C7 avait une faible corrélation significative avec la fonction des membres supérieurs et la fonction des membres inférieurs. Ces résultats différents de ceux retrouvés par Smith et al.<sup>89</sup> qui ont étudié le lien entre la sévérité du déséquilibre sagittal antérieur et celle de la myélopathie cervicale clinique et ont montré que l'équilibre sagittal cervical (C2-C7 SVA), mais pas la cyphose et la valeur de l'angle

C2C7, était associé au score de myélopathie. La raison pourrait être la différence de C2C7 SVA moyenne (19,9 +/- 12,4 mm) chez les patients atteints de myélopathie japonaise et celle de la série de Smith (32,3 +/- 14,5 mm). Dans notre étude le C2C7 SVA pré opératoire était plus proche de ceux de l'étude japonaise (17,1 +/- 1,7 mm), mais nous n'avons pas pu analyser son lien avec le résultat clinique par absence de scores disponibles.

Dans cette même série de Kato et al., l'analyse post opératoire n'a pas montré de modification significative des paramètres sagittaux avec une lordose C2C7 post opératoire de 6,2° et une distance C2C7 SVA moyenne de 23.8mm. L'analyse des paramètres sagittaux post-opératoires n'était pas liée aux résultats cliniques évalués par le score JOA. En revanche les patients présentant une distance C2C7-SVA de 35mm ou plus en pré-opératoire présentaient significativement plus de cervicalgies post-opératoires et un moins bon résultat sur le score SF-36.<sup>55</sup> Ces résultats sont à mettre en balance avec l'étude de Sakaura et al.<sup>90</sup> qui ont retrouvés de moins bons résultats cliniques dans le groupe cyphose post-opératoire (C2C7 < 0°) que dans le groupe lordose. Il faut remarquer que dans cette étude les patients atteints de MCA avaient une distance C2C7 SVA de 33,4mm en pré-opératoire et que celle-ci n'était pas modifiée significativement après laminoplastie.

Il est important de noter que dans notre série il existait une perte significative de lordose cervicale de 5,7° avec une lordose C2C7 post-opératoire moyenne de 6,8°, ainsi qu'une augmentation du déséquilibre sagittal antérieur avec une distance C2C7 SVA post opératoire moyenne de 28,2mm. Il semblerait cependant, au vu des données de la littérature, que les résultats cliniques soient principalement liés au déséquilibre sagittal pré opératoire évalué par l'angle C2C7 SVA, plus qu'à la cyphose ou aux modifications de l'alignement sagittal en post opératoire. Guigui et al.<sup>47</sup> ont d'ailleurs montré que les modifications de courbures cervicales n'étaient pas corrélées aux résultats du score JOA après laminectomie. Cependant, un des moyens d'éviter les cervicalgies post opératoires et l'augmentation du déséquilibre sagittal antérieur est la préservation du ligament nuchal, de son insertion sur l'épineuse de C2 et sa retente en fin d'intervention sur l'épineuse de C7.<sup>80,91</sup>

Une des principales limites de notre étude était le faible effectif (n=53), tous les malades opérés n'ayant pas eu d'IRM de contrôle post-opératoire. Ce faible effectif concernait principalement les sous-groupes Cyphose (n=4), Sigmoïde (n=4) et Droit (n=8), ce qui a conduit un manque de puissance lors des analyses en sous-groupes. L'absence de score d'évaluation de la sévérité de l'atteinte neurologique tel que le mJOA, peut également être critiquée, mais il s'agissait d'une étude radiologique avant tout, ayant pour objectif de décrire niveau par niveau le recul médullaire. Une des limites potentielles de cette étude est le choix de la méthode de mesure du recul médullaire, plusieurs étant décrites dans la littérature. Il faut noter que tous les auteurs considéraient comme premier point de référence le bord postérieur du corps vertébral. Cependant, le deuxième point de référence variait selon les études. Certains auteurs ont choisi le bord postérieur de la moelle épinière<sup>59</sup>, d'autres le centre de la moelle épinière<sup>84</sup> et d'autres le bord antérieur de la moelle épinière.<sup>86</sup> Le choix d'utiliser ici trois distances (DAP, DA et DP) plutôt qu'une seule mesure permettant d'évaluer uniquement le recul médullaire (DA) nous a permis d'évaluer chaque composante de la compression résiduelle de manière circonférentielle mais également de prendre en compte la composante de ré expansion médullaire à travers la mesure de la DAP.

Même si l'IRM reste l'examen de référence pour le diagnostic et l'évaluation de la qualité de la libération nous avons pu constater une des limites de son utilisation. En effet, nous avons mis en évidence une diminution de la distance postérieure en C2C3 et C7T1 en post opératoire, qui sont les 2 niveaux non libérés. Cela peut s'expliquer par la présence d'un recul médullaire global par la libération des autres niveaux, qui est certainement majoré par la position couchée lors de la réalisation des IRM. Il persistait cependant un liseré de sécurité péri médullaire (DA et DP non nulles) à ces 2 niveaux après laminoplastie.

Cette série permet de confirmer que les patients opérés d'une laminoplastie étendue pour myélopathie cervicarthrosique ont une augmentation de l'espace péri médullaire satisfaisante, à tous les niveaux et ce quel que soit la forme du rachis cervical en pré opératoire. Elle permet de valider l'utilisation de cette technique pour les rachis de forme lordotique, avec une libération maximale au sommet de la lordose, en regard de C5. Le manque d'effectif et l'absence de données cliniques standardisées suggère l'intérêt de réaliser une étude prospective avec un recueil des données cliniques et d'imagerie standardisé. Cela permettra d'évaluer le lien entre résultats cliniques et recul médullaire et de préciser les résultats sur le lien entre la forme du rachis cervical et le recul médullaire dans les sous-groupes de faible effectif.

## Conclusion

---

Les laminoplasties cervicales étendues pour myélopathies cervicarthrosiques sont associées à un recul médullaire et une décompression circonférentielle par augmentation moyenne statistiquement significative de 5,3mm +/- 0,2 du diamètre antéro postérieur du canal, quelle que soit la forme du rachis cervical en pré opératoire. La technique de laminoplastie cervicale est adaptée pour les rachis lordotiques et semble permettre une décompression satisfaisante pour les autres formes de rachis mais le manque de puissance ne permet pas de valider son utilisation. La décompression médullaire est maximale au sommet de la lordose, en regard des disques C4C5 et C5C6. La technique de laminoplastie french door est associé à un faible taux de paralysie de C5 en post opératoire.

## Bibliographie

---

1. Kalsi-Ryan S, Karadimas SK, Fehlings MG. Cervical Spondylotic Myelopathy. *The Neuroscientist*. 2013;19(4). doi:10.1177/1073858412467377
2. Boogaarts HD, Bartels RHMA. Prevalence of cervical spondylotic myelopathy. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 2015;24 Suppl 2. doi:10.1007/s00586-013-2781-x
3. Fehlings MG, Ibrahim A, Tetreault L, et al. A global perspective on the outcomes of surgical decompression in patients with cervical spondylotic myelopathy: results from the prospective multicenter AOSpine international study on 479 patients. *Spine*. 2015;40(17). doi:10.1097/BRS.0000000000000988
4. Tetreault L, Goldstein CL, Arnold P, et al. Degenerative Cervical Myelopathy. *Neurosurgery*. 2015;77. doi:10.1227/NEU.0000000000000951
5. Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, Skelly AC. Cervical spondylotic myelopathy: current state of the art and future directions. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1). doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7e9e0
6. Knafo S, Parker F. Myélopathie cervicale dégénérative. 2018;15. doi:10.1016/S0246-0378(18)62884-2
7. Inamasu J, Guiot BH, Sachs DC. Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament: An Update on Its Biology, Epidemiology, and Natural History. *Neurosurgery*. 2006;58(6). doi:10.1227/01.NEU.0000215867.87770.73
8. Wang G, Cao Y, Wu T, et al. Genetic factors of cervical spondylotic myelopathy-a systemic review. *J Clin Neurosci Off J Neurosurg Soc Australas*. 2017;44. doi:10.1016/j.jocn.2017.06.043
9. Pope DH, Davies BM, Mowforth OD, Bowden AR, Kotter MRN. Genetics of Degenerative Cervical Myelopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Candidate Gene Studies. *J Clin Med*. 2020;9(1). doi:10.3390/jcm9010282

10. Marie-Hardy L, Pascal-Moussellard H. Degenerative cervical myelopathy. *Rev Neurol (Paris)*. 2021;177(5). doi:10.1016/j.neurol.2020.11.015
11. Karadimas SK, Gatzounis G, Fehlings MG. Pathobiology of cervical spondylotic myelopathy. *Eur Spine J*. 2015;24(S2). doi:10.1007/s00586-014-3264-4
12. Karadimas SK, Erwin WM, Ely CG, Dettori JR, Fehlings MG. Pathophysiology and natural history of cervical spondylotic myelopathy. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1). doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f2c3
13. Breig A. *Biomechanics of the Central Nervous System*. Almqvist And.; 1960.
14. Muhle C, Metzner J, Weinert D, et al. Classification system based on kinematic MR imaging in cervical spondylitic myelopathy. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1998;19(9):1763-1771.
15. Kuwazawa Y, Pope MH, Bashir W, Takahashi K, Smith FW. The length of the cervical cord: effects of postural changes in healthy volunteers using positional magnetic resonance imaging. *Spine*. 2006;31(17):E579-583. doi:10.1097/01.brs.0000229228.62627.75
16. Zhang L, Zeitoun D, Rangel A, Lazennec JY, Catonné Y, Pascal-Moussellard H. Preoperative Evaluation of the Cervical Spondylotic Myelopathy With Flexion-Extension Magnetic Resonance Imaging: About a Prospective Study of Fifty Patients. *Spine*. 2011;36(17):E1134-E1139. doi:10.1097/BRS.0b013e3181f822c7
17. Muhle C, Weinert D, Falliner A, et al. Dynamic changes of the spinal canal in patients with cervical spondylosis at flexion and extension using magnetic resonance imaging. *Invest Radiol*. 1998;33(8):444-449. doi:10.1097/00004424-199808000-00004
18. Gibson J, Nouri A, Krueger B, et al. Degenerative Cervical Myelopathy: A Clinical Review. *Yale J Biol Med*. 2018;91(1).
19. Jha SC, Miyazaki M, Tsumura H. Kinetic change of spinal cord compression on flexion-extension magnetic resonance imaging in cervical spine. *Clin Neurol Neurosurg*. 2018;174:86-91. doi:10.1016/j.clineuro.2018.09.017
20. Zeitoun D, El Hajj F, Sariali E, Catonné Y, Pascal-Moussellard H. Evaluation of spinal cord compression and hyperintense intramedullary lesions on T2-weighted sequences in patients

with cervical spondylotic myelopathy using flexion-extension MRI protocol. *Spine J*. 2015;15(4):668-674. doi:10.1016/j.spinee.2014.12.001

21. Badhiwala JH, Wilson JR. The Natural History of Degenerative Cervical Myelopathy. *Neurosurg Clin N Am*. 2018;29(1):21-32. doi:10.1016/j.nec.2017.09.002

22. Fehlings MG, Wilson JR, Yoon ST, Rhee JM, Shamji MF, Lawrence BD. Symptomatic Progression of Cervical Myelopathy and the Role of Nonsurgical Management: A Consensus Statement. *Spine*. 2013;38:S19-S20. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f4de

23. Wilson JR, Barry S, Fischer DJ, et al. Frequency, timing, and predictors of neurological dysfunction in the nonmyelopathic patient with cervical spinal cord compression, canal stenosis, and/or ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1):S37-54. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f2e7

24. Milligan J, Ryan K, Fehlings M, Bauman C. Degenerative cervical myelopathy: Diagnosis and management in primary care. *Can Fam Physician Med Fam Can*. 2019;65(9):619-624.

25. Nouri A, Tetreault L, Singh A, Karadimas SK, Fehlings MG. Degenerative Cervical Myelopathy. *Spine*. 2015;40(12). doi:10.1097/BRS.0000000000000913

26. Choi BW, Kim SS, Lee DH, Kim JW. Cervical radiculopathy combined with cervical myelopathy: prevalence and characteristics. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017;27(7):889-893. doi:10.1007/s00590-017-1972-2

27. Overley SC, Kim JS, Gogel BA, Merrill RK, Hecht AC. Tandem Spinal Stenosis: A Systematic Review. *JBJS Rev*. 2017;5(9):e2. doi:10.2106/JBJS.RVW.17.00007

28. Benzel EC, Lancon J, Kesterson L, Hadden T. Cervical laminectomy and dentate ligament section for cervical spondylotic myelopathy. *J Spinal Disord*. 1991;4(3):286-295. doi:10.1097/00002517-199109000-00005

29. Kato S, Oshima Y, Oka H, et al. Comparison of the Japanese Orthopaedic Association (JOA) score and modified JOA (mJOA) score for the assessment of cervical myelopathy: a multicenter observational study. *PloS One*. 2015;10(4):e0123022. doi:10.1371/journal.pone.0123022

30. Fehlings MG, Wilson JR, Kopjar B, et al. Efficacy and Safety of Surgical Decompression in Patients with Cervical Spondylotic Myelopathy: Results of the AOSpine North America Prospective Multi-Center Study. *J Bone Jt Surg.* 2013;95(18):1651-1658. doi:10.2106/JBJS.L.00589
31. Kalsi-Ryan S, Singh A, Massicotte EM, et al. Ancillary outcome measures for assessment of individuals with cervical spondylotic myelopathy. *Spine.* 2013;38(22 Suppl 1):S111-122. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f499
32. Schneider RC, Cherry G, Pantek H. The syndrome of acute central cervical spinal cord injury; with special reference to the mechanisms involved in hyperextension injuries of cervical spine. *J Neurosurg.* 1954;11(6):546-577. doi:10.3171/jns.1954.11.6.0546
33. Chen LF, Tu TH, Chen YC, et al. Risk of spinal cord injury in patients with cervical spondylotic myelopathy and ossification of posterior longitudinal ligament: a national cohort study. *Neurosurg Focus.* 2016;40(6):E4. doi:10.3171/2016.3.FOCUS1663
34. Wu JC, Ko CC, Yen YS, et al. Epidemiology of cervical spondylotic myelopathy and its risk of causing spinal cord injury: a national cohort study. *Neurosurg Focus.* 2013;35(1):E10. doi:10.3171/2013.4.FOCUS13122
35. Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, et al. Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PloS One.* 2012;7(2):e32037. doi:10.1371/journal.pone.0032037
36. Badhiwala JH, Ahuja CS, Akbar MA, et al. Degenerative cervical myelopathy - update and future directions. *Nat Rev Neurol.* 2020;16(2):108-124. doi:10.1038/s41582-019-0303-0
37. Yelamorthy PKK, Chhabra HS, Vaccaro A, et al. Management and prognosis of acute traumatic cervical central cord syndrome: systematic review and Spinal Cord Society-Spine Trauma Study Group position statement. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2019;28(10):2390-2407. doi:10.1007/s00586-019-06085-z
38. Bracken MB. Steroids for acute spinal cord injury. Cochrane Injuries Group, ed. *Cochrane Database Syst Rev.* Published online January 18, 2012. doi:10.1002/14651858.CD001046.pub2

39. Samuel AM, Grant RA, Bohl DD, et al. Delayed surgery after acute traumatic central cord syndrome is associated with reduced mortality. *Spine*. 2015;40(5):349-356. doi:10.1097/BRS.0000000000000756
40. Nouri A, Martin AR, Mikulis D, Fehlings MG. Magnetic resonance imaging assessment of degenerative cervical myelopathy: a review of structural changes and measurement techniques. *Neurosurg Focus*. 2016;40(6):E5. doi:10.3171/2016.3.FOCUS1667
41. Tetreault LA, Dettori JR, Wilson JR, et al. Systematic review of magnetic resonance imaging characteristics that affect treatment decision making and predict clinical outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1):S89-110. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7eae0
42. Kadanka Z, Kerkovsky M, Bednarik J, Jarkovsky J. Cross-sectional Transverse Area and Hyperintensities on Magnetic Resonance Imaging in Relation to the Clinical Picture in Cervical Spondylotic Myelopathy: *Spine*. 2007;32(23):2573-2577. doi:10.1097/BRS.0b013e318158cda0
43. Fujiwara K, Yonenobu K, Hiroshima K, Ebara S, Yamashita K, Ono K. Morphometry of the Cervical Spinal Cord and its Relation to Pathology in Cases with Compression Myelopathy: *Spine*. 1988;13(11):1212-1216. doi:10.1097/00007632-198811000-00002
44. Kadanka Z, Adamova B, Kerkovsky M, et al. Predictors of symptomatic myelopathy in degenerative cervical spinal cord compression. *Brain Behav*. 2017;7(9):e00797. doi:10.1002/brb3.797
45. Kato F, Yukawa Y, Suda K, Yamagata M, Ueta T. Normal morphology, age-related changes and abnormal findings of the cervical spine. Part II: magnetic resonance imaging of over 1,200 asymptomatic subjects. *Eur Spine J*. 2012;21(8):1499-1507. doi:10.1007/s00586-012-2176-4
46. Abiola R, Rubery P, Mesfin A. Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament: Etiology, Diagnosis, and Outcomes of Nonoperative and Operative Management. *Glob Spine J*. 2016;6(2):195-204. doi:10.1055/s-0035-1556580

47. Guigui P, Benoist M, Deburge A. Spinal Deformity and Instability After Multilevel Cervical Laminectomy for Spondylotic Myelopathy. *Spine*. 1998;23(4). doi:10.1097/00007632-199802150-00006
48. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1):S149-160. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7f449
49. Pavlov H, Torg JS, Robie B, Jahre C. Cervical spinal stenosis: determination with vertebral body ratio method. *Radiology*. 1987;164(3):771-775. doi:10.1148/radiology.164.3.3615879
50. Yue WM, Tan SB, Tan MH, Koh DC, Tan CT. The Torg--Pavlov ratio in cervical spondylotic myelopathy: a comparative study between patients with cervical spondylotic myelopathy and a nonspondylotic, nonmyelopathic population. *Spine*. 2001;26(16):1760-1764. doi:10.1097/00007632-200108150-00006
51. Lee CK, Shin DA, Yi S, et al. Correlation between cervical spine sagittal alignment and clinical outcome after cervical laminoplasty for ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Neurosurg Spine*. 2016;24(1):100-107. doi:kato
52. Scheer JK, Tang JA, Smith JS, et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine*. 2013;19(2):141-159. doi:10.3171/2013.4.SPINE12838
53. Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J Off J North Am Spine Soc*. 2015;15(4):705-712. doi:10.1016/j.spinee.2013.06.059
54. Tang JA, Scheer JK, Smith JS, et al. The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery. *Neurosurgery*. 2015;76 Suppl 1:S14-21; discussion S21. doi:10.1227/01.neu.0000462074.66077.2b
55. Kato M, Namikawa T, Matsumura A, Konishi S, Nakamura H. Effect of Cervical Sagittal Balance on Laminoplasty in Patients with Cervical Myelopathy. *Glob Spine J*. 2017;7(2):154-161. doi:10.1177/2192568217694011

56. Kim TH, Lee SY, Kim YC, Park MS, Kim SW. T1 slope as a predictor of kyphotic alignment change after laminoplasty in patients with cervical myelopathy. *Spine*. 2013;38(16):E992-997. doi:10.1097/BRS.0b013e3182972e1b
57. Ohara A, Miyamoto K, Naganawa T, Matsumoto K, Shimizu K. Reliabilities of and correlations among five standard methods of assessing the sagittal alignment of the cervical spine. *Spine*. 2006;31(22):2585-2591; discussion 2592. doi:10.1097/01.brs.0000240656.79060.18
58. Cobb JR. In: Edwards JW, ed. *Outlines for the Study of Scoliosis: Instructional Course Lecture*. American Academy of Orthopedic Surgeons. 1948:261-75.
59. Sodeyama T, Goto S, Mochizuki M, Takahashi J, Moriya H. Effect of Decompression Enlargement Laminoplasty for Posterior Shifting of the Spinal Cord. *Spine*. 1999;24(15). doi:10.1097/00007632-199908010-00005
60. Chen YL. Vertebral centroid measurement of lumbar lordosis compared with the Cobb technique. *Spine*. 1999;24(17):1786-1790. doi:10.1097/00007632-199909010-00007
61. Toyama Y, Matsumoto M, Chiba K, et al. Realignment of postoperative cervical kyphosis in children by vertebral remodeling. *Spine*. 1994;19(22):2565-2570. doi:10.1097/00007632-199411001-00012
62. Harrison DD, Cailliet R, Janik TJ, Troyanovich SJ, Harrison DE, Holland B. Elliptical modeling of the sagittal lumbar lordosis and segmental rotation angles as a method to discriminate between normal and low back pain subjects. *J Spinal Disord*. 1998;11(5):430-439.
63. Ishihara A. [Roentgenographic studies on the normal pattern of the cervical curvature]. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. 1968;42(11):1033-1044.
64. Mauguière F, Fischer C, André-Obadia N. Potentiels évoqués en neurologie : réponses pathologiques et indications. *EMC - Neurol*. 2007;4(2):1-29. doi:10.1016/S0246-0378(07)46691-X
65. Nové-Josserand A, André-Obadia N, Mauguière F. [Cervical spondylotic myelopathy: motor and somatosensory evoked potentials, clinical and radiological correlation]. *Rev Neurol (Paris)*. 2002;158(12 Pt 1):1191-1197.

66. Bednarik J, Kadanka Z, Dusek L, et al. Presymptomatic spondylotic cervical myelopathy: an updated predictive model. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2008;17(3):421-431. doi:10.1007/s00586-008-0585-1
67. Lyu RK, Tang LM, Chen CJ, Chen CM, Chang HS, Wu YR. The use of evoked potentials for clinical correlation and surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy with intramedullary high signal intensity on MRI. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2004;75(2):256-261.
68. Capone F, Tamburelli FC, Pilato F, et al. The role of motor-evoked potentials in the management of cervical spondylotic myelopathy. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* 2013;13(9):1077-1079. doi:10.1016/j.spinee.2013.02.063
69. Bednarik J, Kadanka Z, Vohánka S. Median nerve mononeuropathy in spondylotic cervical myelopathy: double crush syndrome? *J Neurol.* 1999;246(7):544-551. doi:10.1007/s004150050401
70. Fehlings MG, Tetreault LA, Riew KD, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Degenerative Cervical Myelopathy: Recommendations for Patients With Mild, Moderate, and Severe Disease and Nonmyelopathic Patients With Evidence of Cord Compression. *Glob Spine J.* 2017;7(3\_suppl):70S-83S. doi:10.1177/2192568217701914
71. Kadanka Z, Bednarik J, Vohánka S, et al. Conservative treatment versus surgery in spondylotic cervical myelopathy: a prospective randomised study. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2000;9(6):538-544. doi:10.1007/s005860000132
72. Inose H, Yoshii T, Kimura A, et al. Comparison of Clinical and Radiographic Outcomes of Laminoplasty, Anterior Decompression With Fusion, and Posterior Decompression With Fusion for Degenerative Cervical Myelopathy: A Prospective Multicenter Study. *Spine.* 2020;45(20):E1342-E1348. doi:10.1097/BRS.0000000000003592
73. Liu T, Yang HL, Xu YZ, Qi RF, Guan HQ. ACDF with the PCB cage-plate system versus laminoplasty for multilevel cervical spondylotic myelopathy. *J Spinal Disord Tech.* 2011;24(4):213-220. doi:10.1097/BSD.0b013e3181e9f294

74. Ashana AO, Ajiboye RM, Sheppard WL, Sharma A, Kay AB, Holly LT. Cervical Paraspinal Muscle Atrophy Rates Following Laminoplasty and Laminectomy with Fusion for Cervical Spondylotic Myelopathy. *World Neurosurg.* 2017;107:445-450. doi:10.1016/j.wneu.2017.07.173
75. Farrokhi MR, Ghaffarpasand F, Khani M, Gholami M. An Evidence-Based Stepwise Surgical Approach to Cervical Spondylotic Myelopathy: A Narrative Review of the Current Literature. *World Neurosurg.* 2016;94:97-110. doi:10.1016/j.wneu.2016.06.109
76. Moussellard HP, Meyer A, Biot D, Khiami F, Sariali E. Early neurological recovery course after surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy: a prospective study with 2-year follow-up using three different functional assessment tests. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2014;23(7):1508-1514. doi:10.1007/s00586-014-3315-x
77. Fehlings MG, Wilson JR, Kopjar B, et al. Efficacy and Safety of Surgical Decompression in Patients with Cervical Spondylotic Myelopathy: Results of the AOSpine North America Prospective Multi-Center Study. *J Bone Jt Surg.* 2013;95(18):1651-1658. doi:10.2106/JBJS.L.00589
78. Lee CH, Lee J, Kang JD, et al. Laminoplasty versus laminectomy and fusion for multilevel cervical myelopathy: a meta-analysis of clinical and radiological outcomes. *J Neurosurg Spine.* 2015;22(6):589-595. doi:10.3171/2014.10.SPINE1498
79. Bydon M, Macki M, Kaloostian P, et al. Incidence and prognostic factors of c5 palsy: a clinical study of 1001 cases and review of the literature. *Neurosurgery.* 2014;74(6):595-604; discussion 604-605. doi:10.1227/NEU.0000000000000322
80. Takeuchi T, Shono Y. Importance of preserving the C7 spinous process and attached nuchal ligament in French-door laminoplasty to reduce postoperative axial symptoms. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2007;16(9):1417-1422. doi:10.1007/s00586-007-0352-8
81. Yamazaki A, Homma T, Uchiyama S, Katsumi Y, Okumura H. Morphologic limitations of posterior decompression by midsagittal splitting method for myelopathy caused by

ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine. *Spine*. 1999;24(1):32-34. doi:10.1097/00007632-199901010-00008

82. Denaro V, Longo UG, Berton A, Salvatore G, Denaro L. Cervical spondylotic myelopathy: the relevance of the spinal cord back shift after posterior multilevel decompression. A systematic review. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 2015;24 Suppl 7:832-841. doi:10.1007/s00586-015-4299-x

83. Nori S, Shiraishi T, Aoyama R, et al. Posterior spinal cord shift does not affect surgical outcomes after muscle-preserving selective laminectomy. *J Clin Neurosci*. 2018;50:226-231. doi:10.1016/j.jocn.2018.01.067

84. Baba Kenzo Uchida Yasuhisa Maezawa Nobuaki Furusawa Miki Azuchi Shinichi Imura H, Baba HN, Uchida -Y Maezawa Furusawa KN, Azuchi M, Imura S. Lordotic Alignment and Posterior Migration of the Spinal Cord Following En Bloc Open-Door Laminoplasty for Cervical Myelopathy: A Magnetic Resonance Imaging Study.; 1996:626-632.

85. Itoh T, Tsuji H. Technical improvements and results of laminoplasty for compressive myelopathy in the cervical spine. *Spine*. 1985;10(8):729-736. doi:10.1097/00007632-198510000-00007

86. Hatta Y, Shiraishi T, Hase H, et al. Is Posterior Spinal Cord Shifting by Extensive Posterior Decompression Clinically Significant for Multisegmental Cervical Spondylotic Myelopathy?: *Spine*. 2005;30(21):2414-2419. doi:10.1097/01.brs.0000184751.80857.3e

87. Shou F, Li Z, Wang H, Yan C, Liu Q, Xiao C. Prevalence of C5 nerve root palsy after cervical decompressive surgery: a meta-analysis. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 2015;24(12):2724-2734. doi:10.1007/s00586-015-4186-5

88. Kaneyama S, Sumi M, Kanatani T, et al. Prospective Study and Multivariate Analysis of the Incidence of C5 Palsy After Cervical Laminoplasty: *Spine*. 2010;35(26):E1553-E1558. doi:10.1097/BRS.0b013e3181ce873d

89. Smith JS, Lafage V, Ryan DJ, et al. Association of myelopathy scores with cervical sagittal balance and normalized spinal cord volume: analysis of 56 preoperative cases from

the AOSpine North America Myelopathy study. *Spine*. 2013;38(22 Suppl 1):S161-170. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a7eb9e

90. Sakaura H, Ohnishi A, Yamagishi A, Ohwada T. Differences in Postoperative Changes of Cervical Sagittal Alignment and Balance After Laminoplasty Between Cervical Spondylotic Myelopathy and Cervical Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament. *Glob Spine J*. 2019;9(3):266-271. doi:10.1177/2192568218784951

91. Sakaura H, Hosono N, Mukai Y, Oshima K, Iwasaki M, Yoshikawa H. Preservation of the nuchal ligament plays an important role in preventing unfavorable radiologic changes after laminoplasty. *J Spinal Disord Tech*. 2008;21(5):338-343. doi:10.1097/BSD.0b013e3181453de4

## Table des figures

---

Figure 1 : IRM en séquence T2 d'une myélopathie cervicale .....	23
Figure 2 : Mesures de la surface médullaire transversale et du taux de compression .....	24
Figure 3 : IRM cervicale dynamique .....	25
Figure 4 : Ostéophytose postérieure majeure avec ossification du ligament commun vertébral postérieur (OPLL).....	26
Figure 5 : Radiographies dynamiques d'un spondylolisthésis mobile C3-C4.....	27
Figure 6 : Schéma de mesure de l'index de Torg et Pavolv .....	28
Figure 7 : Mesures radiographiques des paramètres sagittaux cervicaux .....	30
Figure 8 : 4 groupes radiologiques de rachis cervicaux selon l'alignement sagittal .....	30
Figure 9 : Méthode de mesure du type de rachis cervical selon Toyama et al. ....	31
Figure 10 : Principales techniques de laminoplasties .....	36
Figure 11 : Flowchart.....	42
Figure 12 : Schéma des méthodes de mesures IRM .....	44
Figure 13 : Exemple de mesures sur une IRM en coupes sagittales et axiales T2 .....	45
Figure 14 : Modélisation du recul médullaire après laminoplastie cervicale. ....	49
Figure 15 : Analyse niveau par niveau du recul médullaire .....	51
Figure 16 : Mesures pré et post opératoires en C4C5 sur IRM en séquence T2.....	52
Figure 17 : Graphique représentant la Distance antéro postérieure (DAP) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S).....	53
Figure 18 : Graphique représentant la Distance antérieure (DA) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S).....	54
Figure 19 : Graphique représentant la distance postérieure (DP) en pré opératoire et post opératoire niveau par niveau selon le type sagittal de rachis cervical (L, K, D, S).....	55
Figure 20 : Régression linéaire de la variation de la DAP en C5C6 après intervention (mm) en fonction de l'angle C2C7(°) pré -opératoire.....	59
Figure 21 : Régression linéaire de la variation de la DAP en C5C6 après intervention (mm) en fonction de la distance C2C7 SVA (mm) pré -opératoire. ....	59

## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Score mJOA (modified Japanese Orthopaedic Association).....	20
Tableau 2 : Résultats des données cliniques avant et après laminoplastie après analyse globale des données appareillées.....	47
Tableau 3 : Résultats des données cliniques avant et après laminoplastie après analyse selon le type de rachis (L, K, D, S) des données appareillées .....	48
Tableau 4 : Mesures de la lordose moyenne C2C7° globale et par sous-groupe en pré-opératoire et post-opératoire.....	56
Tableau 5 : Mesures de la distance moyenne C2C7 SVA (mm) globale et par sous-groupe en pré-opératoire et post-opératoire. ....	56
Tableau 6 : Evolution du type de rachis entre pré et post opératoire.....	58

## Annexes

---

Annexe 1 : Score modifié de l'association japonaise d'orthopédie (mJOA)

**TABLE 1.** *Cervical spondylotic myelopathy functional assessment scale<sup>a</sup>*

Score	Definition
<b>Motor dysfunction score of the upper extremities</b>	
0	Inability to move hands
1	Inability to eat with a spoon, but able to move hands
2	Inability to button shirt, but able to eat with a spoon
3	Able to button shirt with great difficulty
4	Able to button shirt with slight difficulty
5	No dysfunction
<b>Motor dysfunction score of the lower extremities</b>	
0	Complete loss of motor and sensory function
1	Sensory preservation without ability to move legs
2	Able to move legs, but unable to walk
3	Able to walk on flat floor with a walking aid (i.e., cane or crutch)
4	Able to walk up and/or down stairs with hand rail
5	Moderate to significant lack of stability, but able to walk up and/or down stairs without hand rail
6	Mild lack of stability but walks with smooth reciprocation unaided
7	No dysfunction
<b>Sensory dysfunction score of the upper extremities</b>	
0	Complete loss of hand sensation
1	Severe sensory loss or pain
2	Mild sensory loss
3	No sensory loss
<b>Sphincter dysfunction score</b>	
0	Inability to micturate voluntarily
1	Marked difficulty with micturation
2	Mild to moderate difficulty with micturation
3	Normal micturation

<sup>a</sup> Modified from the assessment scale proposed by the Japanese Orthopaedic Association (57).

Source : [Benzal et al. ; J Spinal Disord, 1991]

Annexe 2 : Méthode de classification de la morphologie du rachis cervicale selon Toyama et al. modifiée

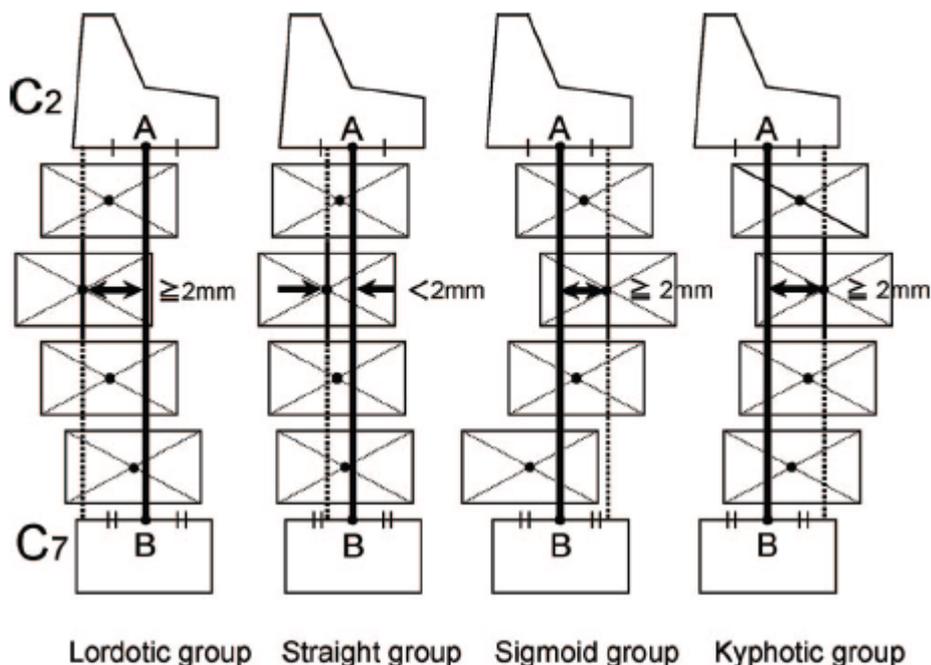


Figure 2. The method of classification of alignment (Modified method of Toyama *et al.*<sup>13</sup>) Lordotic group = all centroids are anterior to AB and the distance between at least one centroid and AB is 2 mm or more; Straight group = the distance between line AB and each centroid is less than 2 mm; Sigmoid group = some centroids are anterior to and some posterior to line AB and the distance between line AB and at least one centroid is 2 mm or more; Kyphotic group = all the centroids are posterior to line AB and the distance between at least one centroid and the AB is 2 mm or more.

Source : [Ohara et al. ; Spine, 2006]

## **Le recul médullaire après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique est-il lié à l'alignement sagittal pré opératoire ?**

### **Résumé :**

**Design de l'étude :** Etude de cohorte rétrospective monocentrique mesurant le recul médullaire par imagerie par résonance magnétique après laminoplastie cervicale pour myélopathie cervicarthrosique.

**Objectif :** L'objectif principal est d'évaluer le recul médullaire après laminoplastie niveau par niveau en fonction de la morphologie pré opératoire du rachis cervical.

**Contexte :** Un des objectifs principaux des laminoplasties cervicales en dehors de la récupération neurologique est d'obtenir un recul médullaire suffisant, avec un espace de sécurité périmédullaire. Si la relation entre le morphotype du rachis cervical et les résultats cliniques a largement été étudiée, il existe peu de données sur le lien entre le morphotype préopératoire et le recul médullaire.

**Méthodes :** Le diamètre antéro postérieur du canal, les espaces périmédullaires antérieurs et postérieurs ont été mesurés sur IRM en pré et post-opératoire chez 53 patients opérés de laminoplasties. La qualité de la libération médullaire a été évaluée en mesurant la différence entre les distances post et pré opératoire. Une analyse en sous-groupe selon la morphologie sagittale a été effectuée. La relation entre le recul médullaire et la lordose C2C7 ainsi que la distance C2C7 SVA pré opératoire a été étudiée.

**Résultats :** Il existait un recul médullaire significatif tous types de rachis confondus avec une augmentation du diamètre antéro postérieur (DAP) du canal médullaire, à tous les niveaux. L'augmentation moyenne de la DAP, tous niveaux confondus était de 5,3mm +/- 0,2mm (p<0,001). La décompression était maximale au sommet de la lordose soit en C4C5 (DAP= + 6,0mm) et C5C6 (DAP= +6,2mm). L'analyse en sous-groupes a montré qu'il existait un recul médullaire significatif à tous les niveaux opérés pour les rachis lordotiques. Aucun lien statistique entre le recul médullaire et la lordose C2C7 ni la distance C2C7 SVA n'a été retrouvée. Nous n'avons eu aucune paralysie de C5 en post-opératoire.

**Conclusion :** Les laminoplasties cervicales permettent un recul médullaire et une décompression circonférentielle par augmentation moyenne statistiquement significative de 5,3mm +/- 0,2 du diamètre antéro postérieur du canal, quelle que soit la forme du rachis cervical en pré opératoire. Cette technique est adaptée pour les rachis lordotiques sans qu'un lien soit établi entre lordose cervicale et recul médullaire. Une étude réalisée sur une cohorte plus importante est nécessaire pour une évaluation fiable des autres morphotypes.

### **Spécialité :**

[Chirurgie orthopédique et traumatologique](#)

### **Mots clés français :**

[fMeSH : rachis ; vertèbres cervicales/chirurgie ; moelle cervicale ; maladies de la moelle épinière; laminoplastie ; Imagerie par résonance magnétique ; équilibre postural ; lordose ; cyphose .](#)

### **Forme ou Genre :**

[fMeSH : Dissertation universitaire](#)

[Rameau : Thèses et écrits académiques](#)

**Université de Paris  
UFR de médecine  
15 Rue de l'École de Médecine  
75006 Paris**