

Table des matières

| | | |
|-----------------|--|-----|
| <i>Partie 1</i> | <i>Étude Théorique</i> | 5 |
| I. | Introduction | 7 |
| II. | Rappel historique | 10 |
| III. | Embryologie, histogenèse et croissance du rachis | 20 |
| IV. | Anatomie descriptive du rachis cervical inférieur..... | 23 |
| V. | Anatomie descriptive de la moelle épinière | 38 |
| VI. | Anatomie fonctionnelle du rachis cervical..... | 46 |
| VII. | Physiopathologie de l'atteinte médullaire | 50 |
| VIII. | Évaluation clinique | 58 |
| IX. | Imagerie | 67 |
| X. | Classifications des traumatismes du rachis cervical inférieur..... | 71 |
| XI. | Prise en charge des patients avec traumatisme vertèbro-médullaire..... | 90 |
| XII. | Traitemennt médical | 93 |
| XIII. | Traitemennt chirurgical..... | 103 |
| XIV. | Complications | 123 |
| XV. | Évolution et Pronostic | 129 |
| <i>Partie 2</i> | <i>Étude Pratique</i> | 131 |
| I. | Matériel d'étude : | 133 |
| II. | Méthode d'étude : | 135 |
| III. | Résultats | 141 |
| IV. | Iconographie..... | 203 |
| V. | Discussion | 220 |
| VI. | Recommandations | 236 |
| VII. | Conclusion | 237 |
| VIII. | Annexes..... | 238 |
| IX. | Références | 244 |
| | Résumé | 263 |

Liste des abréviations et symboles

AIS : ASIA Impairement Scale

AOSpine : Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen

ASIA : American Spinal Injury Association

CSPG : Chondroitin sulfate proteoglycans

ISS : Injury Severity Score

LLP : ligament longitudinal postérieur

LLA : ligament longitudinal antérieur

MPTPs : pores de transition de perméabilité mitochondriale

NG2 : glial antigène 2

NOS : oxyde nitrique synthase

PAF : platelet activating factor

PAV : Pneumonie acquise sous ventilation

ROS : Reactive Oxygen Species

SLIC : The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System

SNC : Système Nerveux Central

SNP : Système Nerveux Périphérique

TNF- α : Facteur de nécrose tumorale α

TVM : Traumatismes vertèbro-médullaires

USI : Unité de soins intensifs

Partie 1

Étude Théorique

I. Introduction

Le rachis cervical est une structure anatomique complexe et compacte du corps humain, il assure plusieurs fonctions biomécaniques : il supporte le poids de la tête et maintient sa posture stable ; il permet une mobilité importante de la tête ; il contient et protège la moelle épinière du système nerveux central.

Les traumatismes vertèbro-médullaires (TVM) sont un problème de santé publique. Quand ils intéressent le rachis cervical, ces lésions peuvent mettre en jeu le pronostic vital. Les hospitalisations, les longues réhabilitations, les dommages émotionnels, pour le patient et sa famille sont toujours très importants, et parfois peuvent représenter de véritables drames sociaux.

Il s'agit d'une pathologie fréquente en neurotraumatologie, dont l'incidence ne cesse de croître du fait de la fréquence des accidents de la circulation ; selon le bilan annuel établi par la direction de la gendarmerie nationale durant l'année 2015, 36 606 accidents, 4610 morts et 55 994 blessés ont été enregistrés dans des accidents de la route à travers les 48 wilayas et en 2016, 28 856 accidents de la route ont été enregistrés, 3992 morts (bilan annuel de la gendarmerie nationale).

La pathologie traumatique du rachis cervical supérieur et inférieur est très abondante, et donc les différentes lésions reflètent la variété des mécanismes physiopathologiques. Le rachis cervical est anatomo-pathologiquement divisé en deux entités à part entière, ceci dit, leur prise en charge thérapeutique (orthopédique et chirurgicale) est complètement différente, et répond à des classifications, indications et techniques chirurgicales diverses, de ce fait, pour cette étude nous allons retenir que les traumatismes du rachis cervical inférieur chez l'adulte et qui sont beaucoup plus fréquents que les traumatismes du rachis cervical supérieur.

L'absence des spécificités des signes cliniques oblige le clinicien à recourir de façon systématique à l'imagerie. Les différents examens radiologiques sont indispensables pour analyser les lésions osseuses et leur caractère compressif, pour évaluer le degré d'instabilité du segment vertébral traumatisé et décider du timing opératoire.

La chirurgie du rachis en général et du rachis cervical en particulier est une chirurgie complexe, aussi bien pour la pathologie traumatique que les autres pathologies (dégénératives, tumorales, infectieuses...), et donc le chirurgien se doit d'être très attentif afin de poser la bonne indication chirurgicale, et donc une certaine expérience est primordiale.

Le traitement chirurgical des traumatismes du rachis cervical inférieur est indiqué en cas de compression médullaire ou dans le cas où il existe une instabilité rachidienne, ses objectifs sont au nombre de trois :

- Réduction rachidienne et décompression de la moelle épinière ;
- Recalibrage du canal rachidien afin d'assurer la liberté de la moelle ;
- Stabilisation de la lésion rachidienne afin d'éviter les déplacements ou luxations secondaires qui entraîneraient des déformations secondaires ou des compressions médullaires différencées.

La réduction est obtenue par la mise en place d'une traction par étrier ou par halo, dans un premier temps, en flexion ou en extension, en fonction du mécanisme, suivi d'une arthrodèse antérieure ou postérieure.

Depuis les années 2000, aucune autre sous-spécialité dans le domaine de la neurochirurgie n'a progressé aussi rapidement que l'évaluation et le traitement des pathologies de la colonne vertébrale.

Les procédures chirurgicales pour le traitement des pathologies rachidiennes, notamment les pathologies traumatiques, ont été régulièrement effectuées par les neurochirurgiens depuis les années soixante et restent une partie importante de la pratique clinique.

Parallèlement aux progrès effectués dans la prise en charge des pathologies du rachis, notamment des techniques chirurgicales, la conception de matériaux d'ostéosynthèse pour le rachis n'a cessé de progresser et d'innover ces dernières années.

Vu la rareté des études effectuées dans le domaine des traumatismes du rachis en général, et dans le domaine des traumatismes du rachis cervical en particulier en Algérie, ainsi que l'augmentation de leur fréquence qui a été constatée dans notre service, et vu l'évolution de leur prise en charge chirurgicale (voies d'abord, nouvelles instrumentations et consommables), nous avons opté à faire une étude sur le

traitement chirurgical des traumatismes du rachis cervical inférieur chez l'adulte, à savoir les arthrodèses.

L'objectif principal de cette étude sera d'étudier les arthrodèses rachidiennes dans les traumatismes du rachis cervical inférieur.

Et dans un second temps, étudier les aspects épidémiologiques, cliniques et radiologiques des traumatismes du rachis cervical et estimer les complications immédiates et à moyen terme.

Notre travail comprendra deux grandes parties, une première partie théorique, en nous basant sur une revue de la littérature internationale récente, puis dans une deuxième partie pratique, nous présenterons notre série avant de discuter les résultats.

II. Rappel historique

Le traitement chirurgical des pathologies du rachis cervical a beaucoup évolué à travers le temps, et de façon continue, nous avons assisté au développement de nouvelles techniques chirurgicales, de nouvelles instrumentations, et de nouvelles techniques de greffes. Les progrès rapides de l'imagerie, des techniques mini-invasives, et les technologies de non-fusion suggèrent que nous sommes à un seuil pour une nouvelle ère dans la prise en charge de nos patients.

Depuis la civilisation égyptienne, grecque, Romaine et musulmane, les efforts pour traiter les troubles de la colonne vertébrale, mais en général une approche nihiliste prévalait [217]. L'anatomie complexe de la colonne vertébrale et de son contenu, associé à un mauvais pronostic présumé, a incité les chirurgiens à être très prudents pendant des milliers d'années. Il n'y a que des rapports isolés de l'histoire ancienne des cas traités chirurgicalement, principalement dans les traumatismes [70]. Fait intéressant, ces rapports documentent les mêmes principes de traitement sur lesquels repose la pratique actuelle : réalignement de la colonne vertébrale, élimination des corps étrangers, stabilisation et décompression de la moelle épinière [180].

Les procédures opératoires pour la chirurgie du rachis lombaire ont été initiées dès le XIX^e siècle, alors que chirurgie du rachis cervical a commencé à se développer plus tard vers 1950. Ce développement tardif est logique, comme la chirurgie de la région cervicale est plus complexe et plus risquée que dans la région lombaire.

Depuis, les progrès ont été rapides grâce notamment à l'évolution de l'imagerie médicale, mais aussi ceux acquis dans le développement des techniques chirurgicales et la technologie de l'implant.

1. Début de la prise en charge du rachis

Le Papyrus Ebers [33], considéré comme l'un des plus anciens et le plus important des papyrus médicaux de l'Égypte ancienne (1550 av. J.-C.), rapport de dissections pour accroître les connaissances sur l'anatomie de la colonne vertébrale et en particulier de la moelle épinière, nommé Djed dans la langue hiéroglyphique. (Le papyrus Ebers [33] est un papyrus médical égyptien datant de 1550 av. J.-C.. Parmi

les plus anciens et les plus importants papyrus médicaux de l'Égypte ancienne, il a été acheté par Georg Ebers (1873-74).

En 1930, James Henry Breasted[96], égyptologue et archéologue américain traduit le papyrus de l'original en la possession de la New York Historical Society et publie une nouvelle édition limitée. Cet ancien livre de chirurgie comprend les cas de blessures du rachis et du crâne et montre que ceux-ci ont été considérés comme très dangereux pour le patient, mais aussi pour le médecin traitant, en étant principalement fatals pour le patient. Cette nouvelle a souligné le nihilisme existant. Chaque rapport de cas dans ce livre comprend une description du diagnostic et du pronostic. Certaines descriptions d'extraction de fragments d'os ou de corps étrangers provenant de l'espace extradural existent, mais aucune intervention en intradurale n'a été décrite. Malgré les dissections anatomiques, aucun lien direct n'a été établi entre l'anatomie et la fonctionnalité de la moelle épinière.

Hippocrates (460-370 av. J.-C.) a décrit le tableau clinique d'une lésion de la moelle épinière liée à une fracture vertébrale quand il a documenté la paralysie du membre du même côté que la lésion de la moelle épinière. Il a également écrit sur la douleur et la sciatique. Voilà pourquoi certains auteurs considèrent Hippocrates comme le « Père de la chirurgie de la colonne vertébrale » [155].

Cinq cents ans après Hippocrate, Aurelius Cornelius Celsus (25 av. J.-C. - 50 apr. J.-C.), un encyclopédiste romain, a documenté des lésions neurologiques après des blessures de la moelle épinière [127], indiquant que « la blessure à la colonne vertébrale supérieure (fracture du rachis cervical) peut provoquer des troubles respiratoires, des vomissements et la mort. Les blessures de la colonne vertébrale inférieure peuvent provoquer des troubles urinaires et la faiblesse ou la paralysie des membres inférieurs ».

2. Transfert et enrichissement du savoir

Avicenne (Ibn Sina) (980-1037) (Figure 72), connu sous le nom de « deuxième médecin » (le titre de « premier médecin » a été attribué à Aristote), présenté dans son livre, Canon, une description anatomique et physiologique très claire du rachis cervical, et cette compréhension accrue a facilité le développement de la chirurgie. Il a illustré les vertèbres cervicales, y compris l'atlas et l'axis, les muscles, les ligaments

et les nerfs avec une interprétation appropriée de leurs fonctions [70] grâce à lui, les premières étapes de l'anesthésie ont été initiées: il a été le premier à utiliser l'anesthésie par inhalation et a administré l'opium, mandragore, belladone et d'autres substances. Cette approche a facilité l'évolution de la chirurgie. Durant cette période Rhazes (Abu Bakr Muhammad Ibn Zakariya al-Razi ; 865-925) décrivait le spina-bifida.

Des progrès considérables en médecine effectués par des médecins arabes qui ont développé plusieurs produits chirurgicaux et pharmaceutiques. Abu Al-Qasim (Albucasis, 936-1013) décrit dans son livre Al-Tasrif, daté de 1000, de nouveaux développements, y compris le plâtre et pansement adhésif pour le traitement des fractures, fils pour suture interne et divers instruments chirurgicaux [18]. Fait intéressant, le coton a été également conseillé pour la chirurgie afin d'obtenir l'hémostase. Bien qu'il ait préconisé, une gestion essentiellement conservatrice, semblable à ses prédecesseurs, sous la forme de réduction et l'immobilisation du segment rachidien lésé [233], une meilleure compréhension des fonctions et de la pathologie de la maladie associée au progrès technologique, ont offert de meilleures possibilités de traitement.



Figure 1 - Avicenne (Ibn Sina) (980-1037) [70]

3. Renaissance de la médecine en Europe

En Europe, les livres de médecine en arabe ont été traduits en latin dans le onzième siècle. Constantinus Africanus (1020-1087), qui a étudié à Bagdad, a été l'un des premiers à transférer ces connaissances à son école en Salerne [96][62]. Les connaissances médicales arabes se sont propagées lentement à travers l'Europe, et Lanfranchi de Milan a écrit un livre de texte chirurgical (Chirurgia Magna) en 1296 sur la base de textes arabes traduits. Dans les temps modernes, avec son immense réseau de communication immédiate et l'échange d'informations à travers le réseau Internet, un tel transfert aurait été instantané. Cependant, en l'absence de communication et de transport rapide, il a fallu des siècles. Chaque livre médical a été copié à la main, qui a besoin des mois ou même des années pour être achevée.

Les œuvres de Guy de Chauliac (1300-1368) couvrant divers domaines médicaux allant de l'anatomie au médicament, les maladies et le traitement ont également été en partie fondés sur les connaissances de la médecine arabe [96].

Plus de connaissances de l'anatomie de la colonne vertébrale ont été acquises au XVe siècle. Andreas Vesalius (1514-1564) décrit la colonne vertébrale et le disque intervertébral et Giovanni Morgagni (1682-1771) a signalé que la pression sur la moelle épinière peut entraîner une paralysie des membres inférieurs [42].

4. HISTOIRE MODERNE : du rachis lombaire au rachis cervical

Le développement de la chirurgie rachidienne moderne a commencé au XIXe siècle, après l'introduction de l'asepsie et de l'anesthésie. La base de chaque décision clinique est devenue un examen neurologique détaillé.

Dans un premier temps, les efforts se sont concentrés sur le traitement des pathologies lombaires et en particulier la dégénérescence discale lombaire [42]. En 1829, AG Smith a effectué la première laminectomie. Rudolf Virchow (1821-1902) a décrit une rupture traumatique d'un disque intervertébral. En 1909, Alfred Taylor a été le premier à utiliser une laminectomie unilatérale, et Fedor Krause (Figure 3) opéra avec succès une hernie discale lombaire [42]. Entre 1927 et 1931, Schmorl, un pathologiste allemand, établit la base moderne pour la compréhension du disque intervertébral.

Le succès dans la chirurgie lombaire encouragea les chirurgiens à traiter chirurgicalement le rachis cervical : Charles Elsberg (Figure 2) a été l'un des premiers à retirer un disque cervical par voie postérieure en 1925 [42], il a été reconnu que les risques liés à l'approche postérieure du disque étaient beaucoup plus importants dans le rachis cervical que dans le rachis lombaire, la manipulation de la moelle



Figure 2 - Charles Elsberg - [70]

épinière devait être évitée. Cela peut expliquer au moins en partie le développement ultérieur de la chirurgie du rachis cervical.

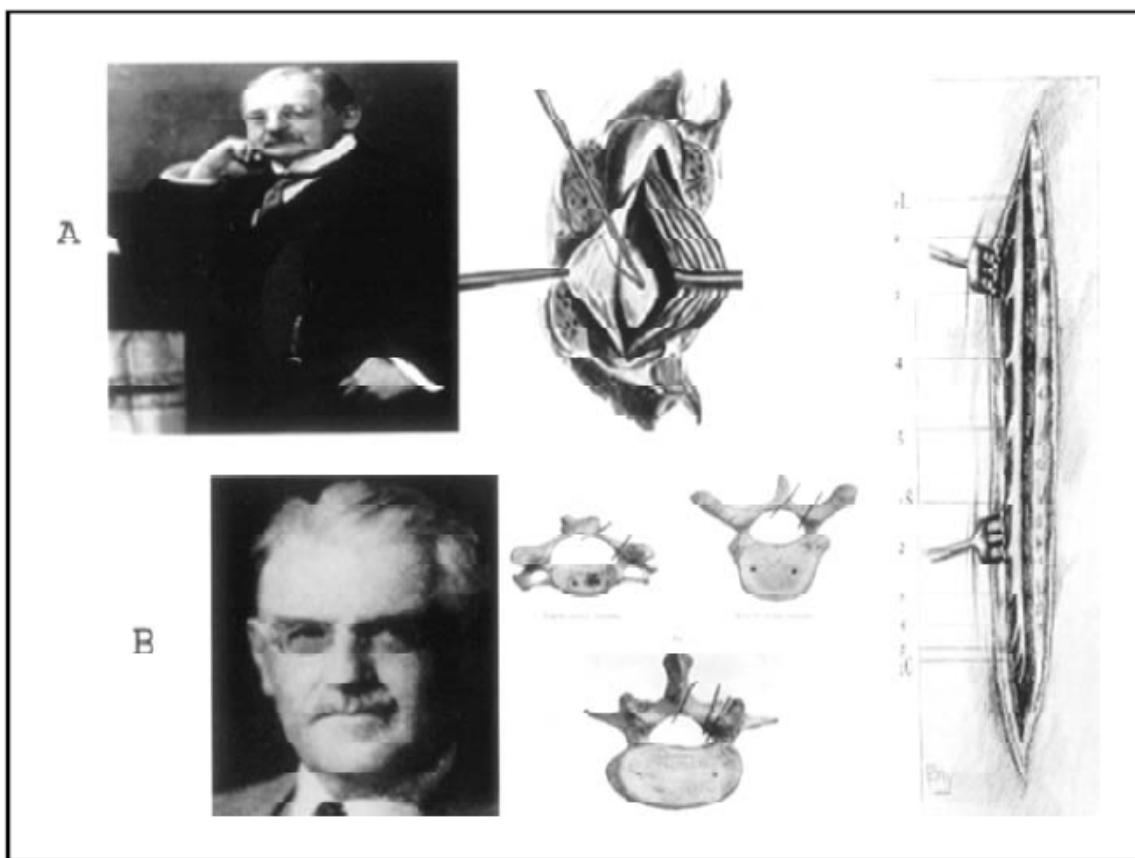


Figure 3 - A) Fedor Krause (1857-1937) est probablement la première chirurgie réussie d'une hernie discale. **B)** Alfred Taylor (1872-1942) a réalisé la première laminectomie unilatérale. [42]

5. HISTOIRE CONTEMPORAINE : influence des avancées technologiques

L'amélioration de la chirurgie du rachis cervical a été stimulée par l'évolution de l'examen physique, l'imagerie diagnostique, l'évolution des techniques chirurgicales et les nouvelles instrumentations rachidiennes. Dans les années soixante, des développements importants dans la technologie médicale ont été initiés. Par exemple, de nouveaux horizons dans le diagnostic des pathologies de la colonne vertébrale ont été obtenus avec l'introduction de tomodensitométrie pour une utilisation clinique en 1972 par Hounsfield [114]. Le premier microscope peropératoire a été utilisé dans la même période. L'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique dans le cadre clinique a été lancée en 1976.

En outre, les technologies d'instrumentation ont été développées et affinées [180], [164] suivies par des techniques de chirurgie mini-invasive plus tard.

Les progrès dans la chirurgie rachidienne ont été associés à l'élaboration et à la mise en œuvre de la surveillance neurophysiologique de la moelle épinière et des racines nerveuses. L'objectif de ces techniques était d'avertir le chirurgien en peropératoire, et de protéger l'intégrité de la fonction racine du cordon et le nerf spinal.

Grâce à la révolution de la technologie informatique dans les années quatre-vingt, la biomécanique de la colonne vertébrale a été étudiée de plus près. Nous sommes arrivés à mieux comprendre la contribution relative des différents segments cervicaux (occiput-C1 ; C1-C2 ; C3-C7) en ce qui concerne la mobilité, en particulier leur contribution à la flexion / extension, rotation axiale et flexion latérale. Cette amélioration de la compréhension et la prise de conscience que des changements pathologiques dans ces segments peuvent conduire à la rigidité, l'hypermobilité ou de l'instabilité de un ou plusieurs niveaux, pouvant comprimer la moelle épinière, mettant l'accent sur les aspects biomécaniques.

6. Les Approches postérieures

Au début des années cinquante, toutes les interventions chirurgicales de la colonne cervicale ont été effectuées en utilisant une approche postérieure. Les approches antérieures ont d'abord été évitées par crainte d'endommager les structures vitales, comme l'œsophage, l'artère carotide, la veine jugulaire et le nerf vagal. La chirurgie décompressive de la moelle épinière et des racines a été réalisée par le biais de grandes incisions postérieures et se composait de laminectomie ou hemi-laminectomie avec ou sans ouverture de la dure-mère, sectionnant parfois le ligament dentelé [164].

Le risque d'instabilité après laminectomie, en particulier chez les enfants, a conduit au développement de la laminoplastie (open-door), d'abord décrit par Hirabayashi et Satomi en 1977. [109]

Les procédures pour stabiliser le rachis cervical ont d'abord été réalisées par des approches postérieures. Les premières tentatives de fixation vertébrale postérieure ont été développées par Hadra (Figure 4) en 1891 [58]. Il a utilisé le câblage interépineux sans greffe osseuse, ce qui conduit souvent à l'échec. En 1953, Holdsworth et Hardy ont rapporté de meilleurs résultats en utilisant le câblage interépineux avec greffe osseuse [73].

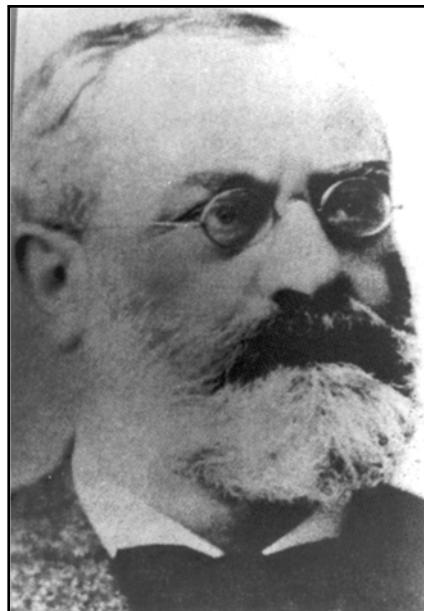


Figure 4 - Berthold Hadra
[180]

Le vissage des masses latérales dans la stabilisation postérieure du rachis cervical est devenu une option pour traiter l'instabilité du rachis cervical inférieur [172]. Plusieurs techniques de placement pour le vissage des masses latérales ont été décrites, chacune de ces techniques à son point d'entrée unique pour l'insertion de la vis, sa trajectoire et le risque de complications [11], [71]. Ils ont en commun un taux élevé de fusion et ont une plus grande stabilité biomécanique en comparaison avec la plaque antérieure ou les techniques de câblage interépineux. Les principales complications du vissage de la masse latérale sont les blessures des racines nerveuses adjacentes, des artères vertébrales ou parfois l'échec de la fixation.

La fixation du complexe atlo-axoidien instable a été un défi pour de nombreuses années et un certain nombre de techniques de fixation ont été développées, les premières techniques de fusion C1 / C2 ont été décrites par Mixter et Osgood en 1910 [162]. Gallie décrit en 1939 le laçage cervical postérieur de la lame de C1 et C2 [171], qui a été modifié par Brooks et Jenkins en 1978, et Dickman en 1991 [59].

7. Les Approches antérieures

Vers la fin des années 1950, la fusion cervicale antérieure avec dissectomie, plaque vissée et l'utilisation de greffe osseuse a été développé par Smith et Robinson [164]. Le développement de l'approche antérieure du rachis cervical a été largement initié par la reconnaissance des risques liés à l'approche

postérieure du corps vertébral et de l'espace discal. Les progrès des techniques chirurgicales et l'utilisation du microscope avec un meilleur éclairage ont fait que les approches chirurgicales antérieures sont devenues plus sûres et plus faisables.

Les approches antérieures permettraient la dissectomie et la fusion intersomatique sans aucune manipulation de la moelle épinière. Cette technique est encore utilisée aujourd'hui et appréciée par de nombreux chirurgiens. Cloward a modifié cette technique et a rapporté l'utilisation d'une instrumentation spécifique pour réaliser la fusion intersomatique par voie antérieure en 1958 [70]: un fragment cylindrique de l'os autologue qu'il va placer dans un trou cylindrique qui l'a foré dans l'espace de disque intervertébral.

8. Défis futurs

Les progrès de la chirurgie du rachis cervical au cours des dernières décennies ont été impressionnantes, y compris la reconstruction rachidienne en 360 degrés, ces progrès sont d'une grande importance, car ils peuvent prévenir l'apparition de lésions secondaires et d'optimiser des conditions favorables pour la restauration de la fonction nerveuse. Sans oublier la neuronavigation qui est de plus en plus utilisée ces dernières années afin d'optimiser le visage.

Les méthodes actives pour la restauration de la fonction et la réparation de la moelle épinière restent, cependant, un défi majeur.

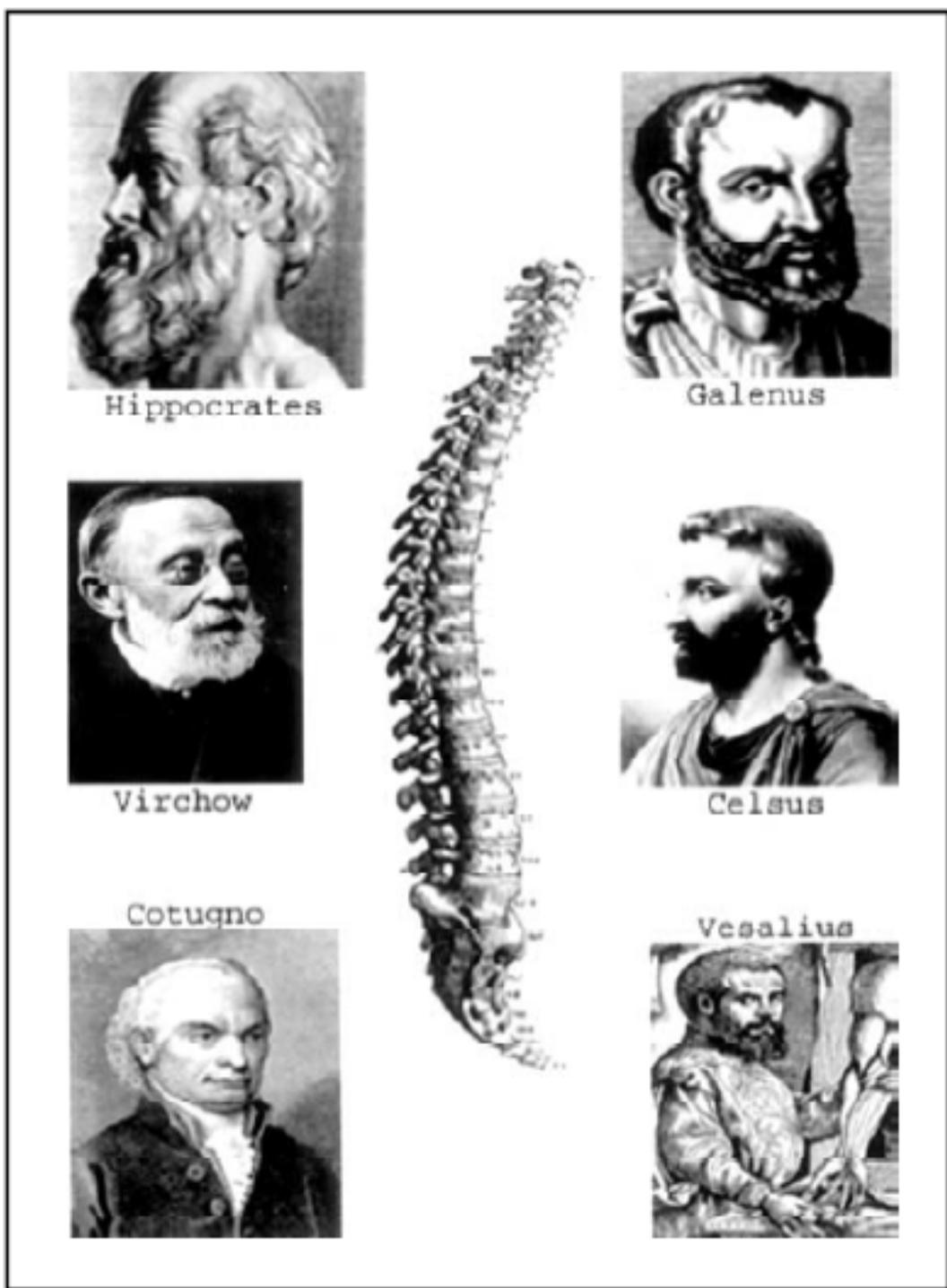


Figure 5 - Ancêtres du rachis et de disques intervertébraux représentés par Vesalius dans « De humani corporis fabrica ».
Hippocrates (460-370 BC) ; Galenus (129-210 AD); Aulus Aurelius Cornelius Celsus (25 BC-AD 50); Andreas Vesalius (1514-1564); Domenico Cotugno (1736-1822); Rudolf Virchow (1821-1902). [42]

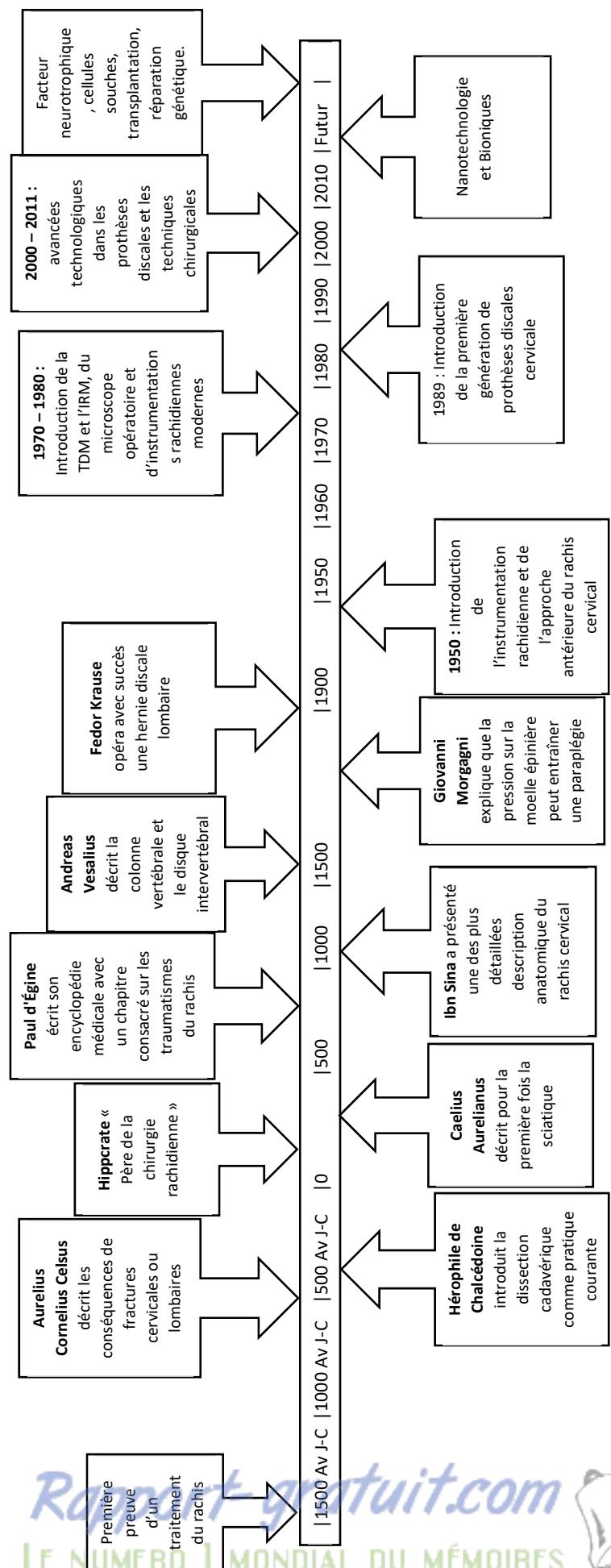


Figure 6 - Les principales étapes du développement de la chirurgie du rachis cervical [70]

III. Embryologie, histogenèse et croissance du rachis

1. Embryologie du rachis

a. Embryologie générale vertébro-médullaire

- **La gastrulation** [57], [166], [176]:

Lors de la gastrulation, on assiste à la formation de la notochorde. Elle permet le passage du disque de bilaminaire à trilaminaire vers la 3^{ème} semaine.

À partir du 19^{ème} jour se fait la création du processus notochordal, il s'agit d'une invagination épiblastique à partir du nœud primitif, allant jusqu'à la plaque préchordale [166].

Puis vers le 25^{ème} jour, la plaque chordale se détache de l'entoderme, pour former la notochorde, située au sein du mésoderme [166]. La ligne primitive régresse en direction de l'éminence caudale, et donne naissance au cône terminal de la moelle épinière. Elle disparaît au 29^{ème} jour. (Figure 7)

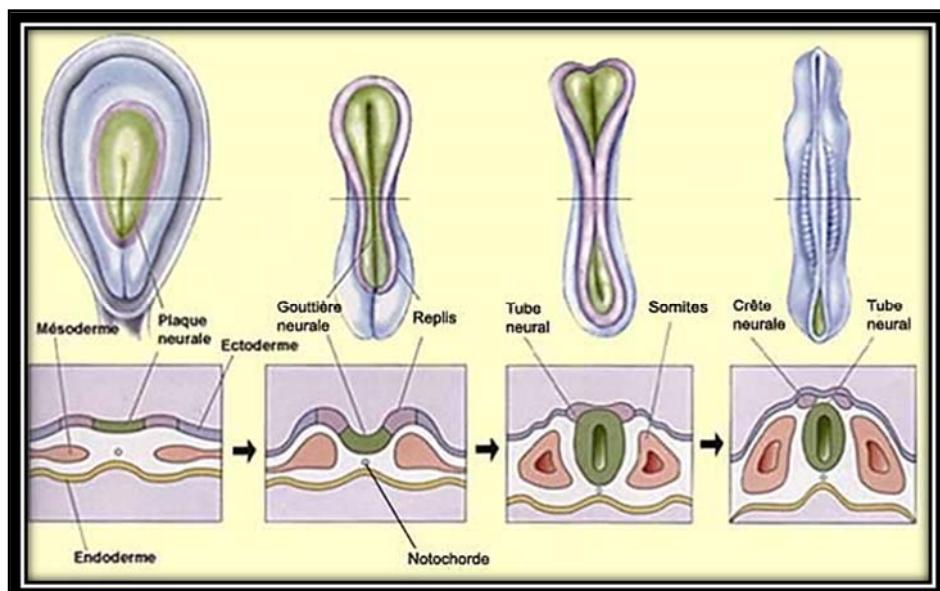


Figure 7 : Formation de la notochorde et différenciation du mésoderme autour de la notochorde. [57], [166], [176]

- **La neurulation** [57], [166], [176]:

Elle présente trois étapes :

1^{ère} étape : la formation du tube neural :

C'est la formation du tissu nerveux. Commence à partir du 19^{ème} jour, sa fermeture se fait entre 29^{ème} jour et le 30^{ème} jour.

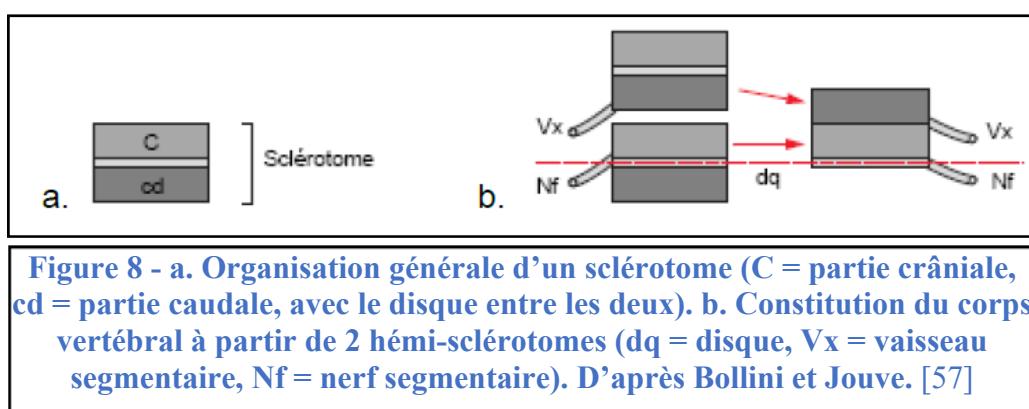
2^{ème} étape : la canalisation secondaire :

Elle se déroule entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine. C'est la confluence de vacuoles au sein de la masse cellulaire caudale, cela va créer un 2^{ème} tube neural, se raccordant avec le premier. À son terme, on compte 42 à 48 somites, soit 8 à 10 paires coccygiennes.

3^{ème} étape : la différenciation régressive rétrograde :

C'est la régression du tube neural entre le ventricule terminal et le vestige médullaire coccygien. Elle s'étend du 48^{ème} jour à la naissance. Cela donne naissance à un cordon fibreux : le filum terminal.

b. Embryologie segmentaire [57], [166]



La création des sclérotomes dans le mésoderme para-axial se fait en organisation métamérique autour de la chorde. Chaque sclérotome comprend un disque intervertébral et un nerf segmentaire. Le corps vertébral est constitué de la réunion de deux hémi-sclérotomes, il est donc d'origine « intersegmentaire » (Figure 8).

2. Histogenèse du rachis

Elle commence vers le 45ème jour par la chondrification des condensations mésenchymateuses [176] (Figure 10). Dans le corps vertébral, il existe trois centres de chondrification, et deux en arrière, de part et d'autre du canal vertébral, qui donnent chacun un hémio-arc postérieur et la base du pédicule.

L'ossification primaire apparaît au sein de la chondrification, par l'individualisation du cartilage neurocentral, responsable de la croissance en largeur de la vertèbre (Figure 10).

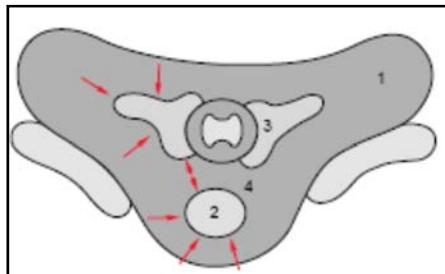


Figure 10 - chondrification du mésenchyme vertébral.

1 : mésenchyme, 2 : chondrification du corps vertébral, 3 : chondrification des pédicules et des arcs postérieurs, 4 : mésenchyme corporéal.
D'après Bollini et Jouve. [57]

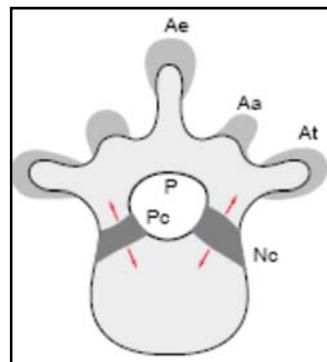


Figure 10 - le cartilage neurocentral.

At : apophyse transverse, Ae : apophyse épineuse, Nc : cartilage neurocentral, P : périoste, Pc : périchondre. D'après Bollini et Jouve. [57]

IV. Anatomie descriptive du rachis cervical inférieur

L'anatomie du cou et de la colonne cervicale est complexe et unique. Pour bien comprendre les mécanismes physiopathologiques et pour une meilleure prise en charge des traumatismes du rachis cervical, une connaissance approfondie de l'anatomie est nécessaire.

A. Eléments osseux

Le segment rachidien cervical a comme fonction essentielle de supporter l'extrémité céphalique et de l'orienter dans toutes les directions possibles de l'espace [90]. C'est la portion du rachis la plus mobile

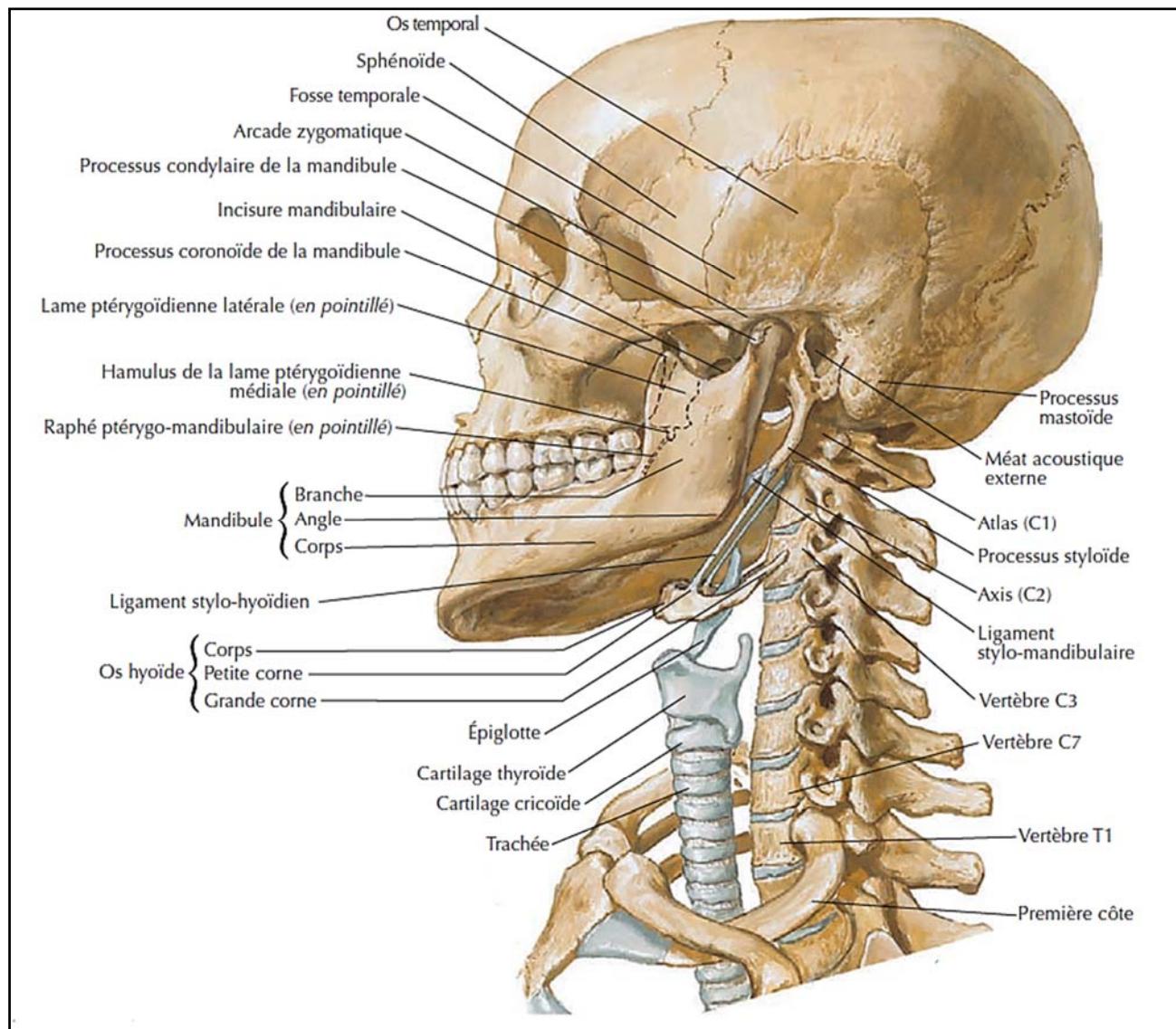


Figure 11 – Squelette osseux de la tête et du cou [174]

et donc la plus vulnérable notamment en traumatologie. On la divisera en **rachis cervical haut** comprenant les deux premières vertèbres cervicales, C1 (ou atlas) et C2 (ou axis) et **rachis cervical bas** s'étendant de la vertèbre C3 au disque C7-D1.

1. Atlas (C1)

L'atlas, la première vertèbre cervicale, soutient la tête. Il est unique, car elle n'a pas de corps vertébral, il a été absorbé dans la vertèbre de l'axis, pour former le processus odontoïde. L'atlas se compose de deux masses latérales reliées par un arc antérieur court et épais ; et un arc postérieur plus long et plus fin. Le ligament transverse retient l'odontoïde contre l'arc antérieur.

2. Axis (C2)

La face supérieure du corps de l'axis est surmontée par une saillie verticale, la dent.

La dent est une colonne osseuse cylindrique dont la base s'implante sur la face supérieure du corps vertébral. Le corps de la dent est porteur d'une surface articulaire antérieure avec l'arc antérieur de l'atlas et d'une surface articulaire postérieure avec le ligament transverse. Le sommet de la dent donne insertion à des ligaments (la dent est encore appelée apophyse odontoïde).

Il faut noter, également, que les apophyses ou processus articulaires supérieurs sont placés de chaque côté de la base de la dent, alors que les apophyses ou processus articulaires inférieurs sont au-dessous de l'extrémité antérieure des lames.

L'apophyse ou processus transverses, percés du trou transversal, ne possèdent qu'un seul tubercule. Le trou vertébral, triangulaire à base antérieure, est plus petit que celui de l'atlas.

3. Vertèbre cervicale type (C3 → C7)

Elle comprend un corps dont se détachent deux apophyses transverses. L'arc postérieur, uni au corps par les pédicules, compte deux apophyses articulaires de chaque côté, deux lames et une apophyse épineuse. Entre le corps et l'arc postérieur se trouve le trou vertébral.

a. Le corps

Cubique, comptent six faces. Aux extrémités latérales de la face supérieure s'élèvent les apophyses semi-lunaires, ou crochets. Sur la face inférieure, deux rainures antéro-postérieures correspondent aux crochets du corps de la vertèbre sous-jacente. La face antérieure se prolonge en bas par un tubercule antérieur. La face postérieure, criblée d'orifices, limite en avant le trou vertébral. Des faces latérales se détachent la racine antérieure des apophyses transverses et le pédicule.

b. Les pédicules

Se détachent des faces latérales du corps et se portent en arrière et en dehors. Deux pédicules adjacents limitent le trou de conjugaison.

c. Les apophyses ou processus transverses

Elles sont formées par la réunion d'une racine antérieure (face latérale du corps) et d'une racine postérieure (pédicule). Les deux racines et le pédicule limitent le trou transversaire. En dehors l'apophyse transverse se termine par deux tubercles antérieurs et postérieurs.

d. Les apophyses ou processus articulaires

Chaque vertèbre cervicale compte quatre apophyses articulaires, deux supérieures et deux inférieures. Chacune d'elles supporte une facette articulaire : la facette supérieure est orientée en haut et en arrière, la facette inférieure en bas et en avant.

e. Les lames

Elles sont orientées en bas et en arrière. Plus larges que hautes, leurs faces antérieures limitent le trou vertébral. Leur face postérieure limite les gouttières vertébrales.

f. L'apophyse ou processus épineux

Elle se porte en arrière et en bas. Son extrémité libre est bifurquée.

g. Le foramen ou trou vertébral

Limité par la face postérieure du corps et les éléments de l'arc postérieur est triangulaire à base antérieure.

4. Sixième vertèbre cervicale (C6)

Un fait à noter : le tubercule antérieur de l'apophyse transverse est plus saillant que celui des autres vertèbres : tubercule carotidien en raison de ses rapports avec l'artère carotide commune.

5. Septième vertèbre cervicale (C7)

Elle se distingue de la vertèbre cervicale type par ses apophyses transverses unituberculeuses, un trou transversal plus petit, une apophyse épineuse, saillante, ne présentant qu'un seul tubercule postérieur.

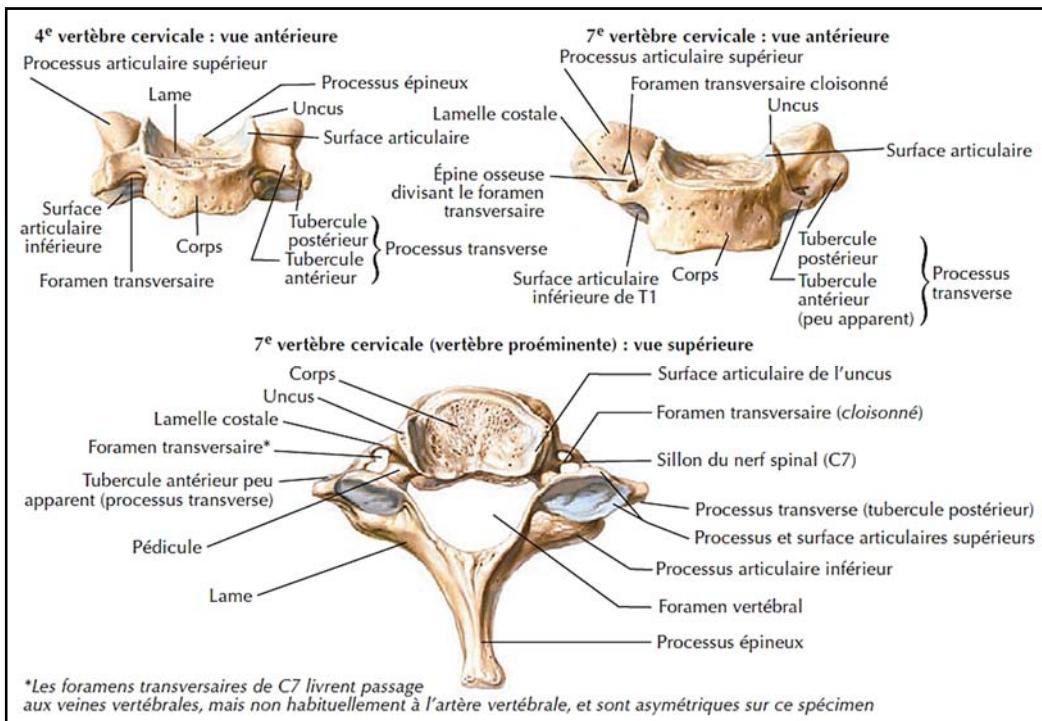


Figure 12 – 4^{ème} et 7^{ème} vertèbres cervicales [174]

Vue inférieure de C3 et vue supérieure de C4 montrant l'emplacement de la surface articulaire et les articulations uncovertérales

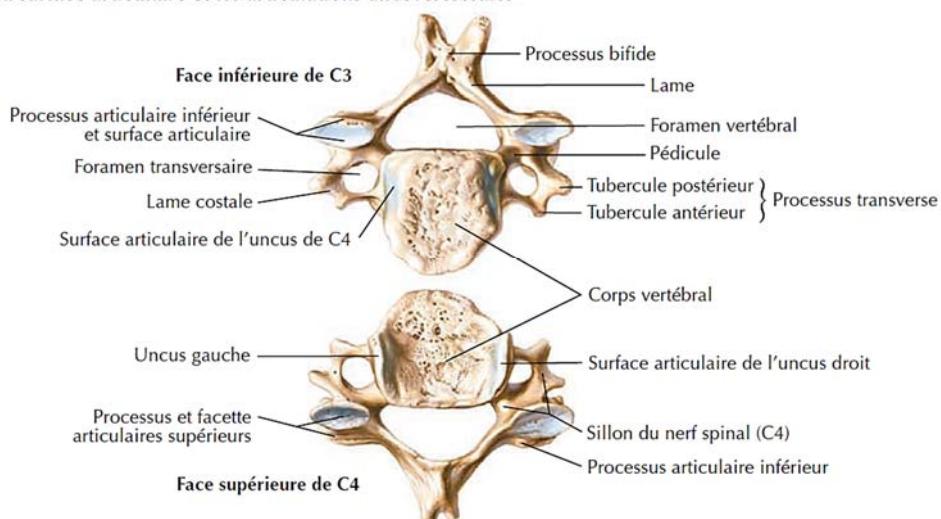


Figure 13 – 3^{ème} et 4^{ème} vertèbres cervicales [174]

B. Articulations

1. Articulations des vertèbres cervicales entre elles

Nous n'envisagerons que les articulations unissant les cinq dernières vertèbres entre elles ; les deux premières méritant une étude spéciale.

Ces articulations sont des amphiarthroses. Elles présentent des caractères communs aux autres vertèbres du tronc, et des caractères particuliers [111].

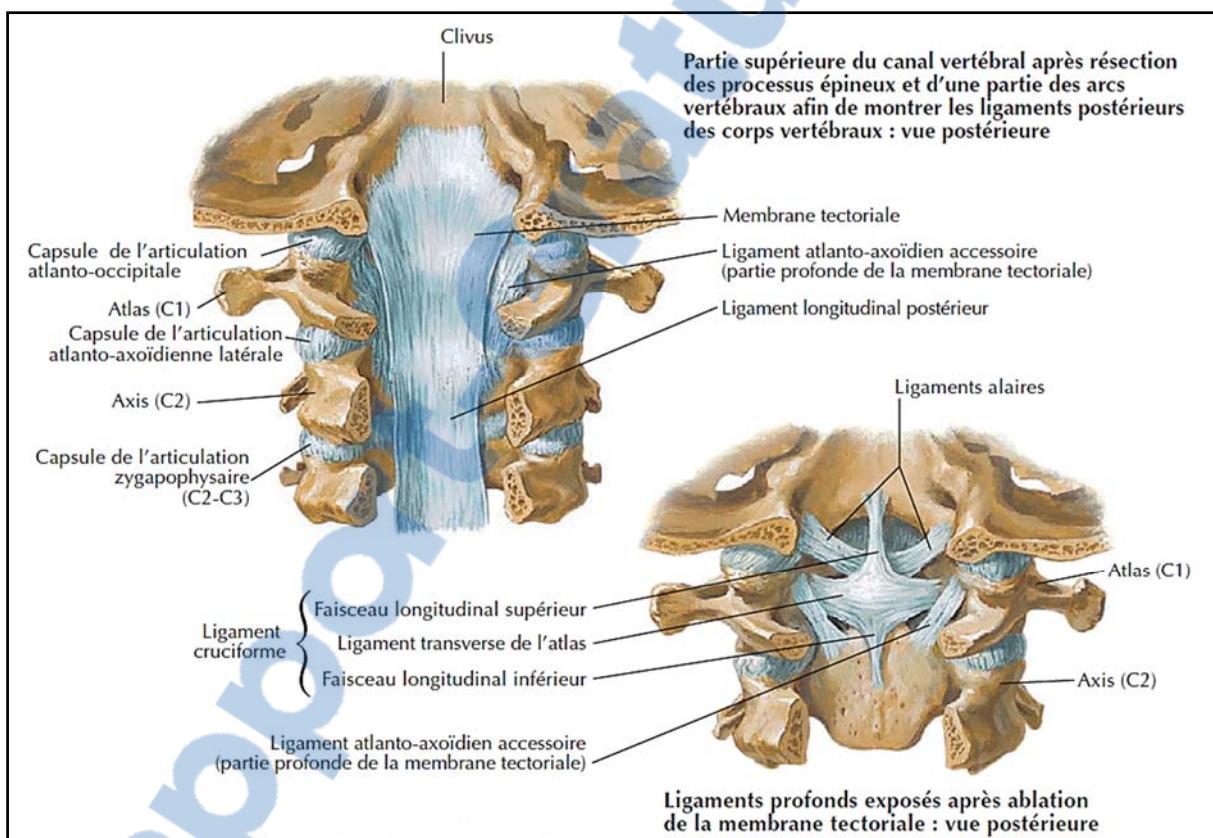


Figure 14 - Ligaments crano-vertébraux internes [174]

a. Caractères communs :

- Les corps vertébraux sont réunis par un ligament interosseux ou disque intervertébral, et des ligaments périphériques : ligament vertébral commun antérieur (tendu de l'apophyse basilaire de l'occipital à la deuxième vertèbre sacrée) et ligament vertébral commun postérieur (tendu de la gouttière de l'apophyse basilaire à la première vertèbre coccygienne).

- Les apophyses articulaires sont réunies par une articulation comportant une capsule renforcée par un ligament postérieur et une synoviale.
- L'union des lames se fait par l'intermédiaire des ligaments jaunes droit et gauche, réunis sur la ligne médiane et tendue de la face inférieure de la lame de la vertèbre sus-jacente au bord supérieur de la lame de la vertèbre sous-jacente.
- Les apophyses épineuses sont reliées entre elles :
 - Par le ligament interépineux reliant les bords supérieur et inférieur des apophyses épineuses de deux vertèbres voisines ;
 - Par le ligament surépineux unissant l'extrémité de ces apophyses sur toute la hauteur du rachis.

b. Caractères particuliers

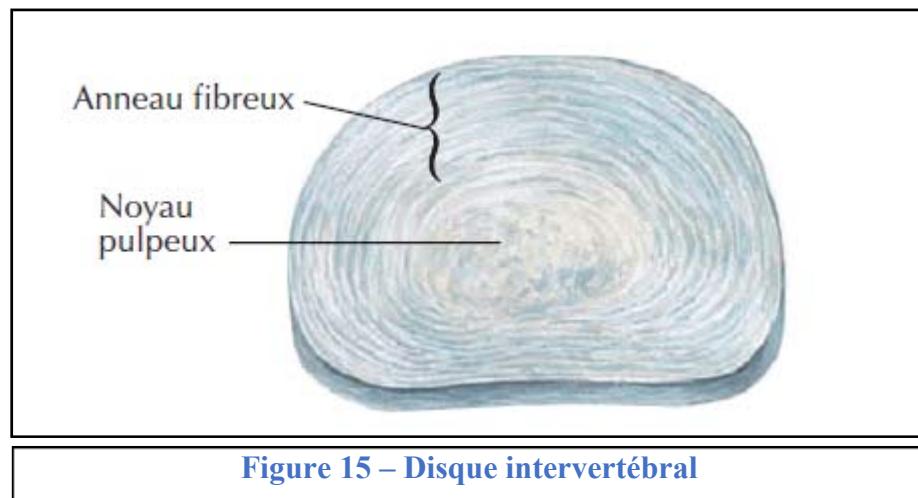
Les articulations des cinq dernières vertèbres cervicales entre elles se singularisent par l'existence d'articulations unco-vertébrales, d'un ligament surépineux renforcé et de muscles intertransversaires.

- Les articulations unco-vertébrales (arthrodies), réunissent les surfaces articulaires (la face supérieure du crochet de la vertèbre inférieure et la face inférieure, taillée en biseau, de la vertèbre supérieure) par une capsule peu épaisse doublée d'une synoviale.
- Le ligament surépineux, ou cervical postérieur, prend une grande importance. Il devient une lame fibreuse triangulaire, sagittale médiane. Il s'insère en haut au niveau de la protubérance occipitale externe et sur la crête occipitale, en avant à l'extrémité des apophyses épineuses. Son bord postérieur est tendu de la protubérance occipitale externe à l'apophyse épineuse de la septième vertèbre cervicale.
- Ce ligament prend le nom de ligament cervical postérieur ou septum nuchal.
- Les muscles intertransversaires remplacent, au niveau du rachis cervical, les ligaments inter-transversaires.

c. Le disque intervertébral

Comprend trois parties [225] :

- Le nucleus pulposus (noyau pulpeux) se compose de collagène, de protéoglycane et de plusieurs substances en retenant l'eau, ce qui permet au noyau pulpeux de fonctionner comme amortisseur.
- L'annulus fibrosus (anneau fibreux) est fait de lamelles circulaires qui entourent le noyau pulpeux et contient des nocicepteurs. Chacune des 15-25 lamelles se compose d'un réseau de fibres collagénées perpendiculaires à la lamelle suivante et ancrées dans le cartilage.
- Les cartilages fibreux (endplates) se composent de deux barrières minces, poreuses, avasculaires accolées à chaque corps vertébral et le disque intervertébral. Elles règlent le transport des substances nutritives vers et hors du disque intervertébral.



C. Les muscles du cou

Le cou est un tube qui assure la continuité entre la tête et le thorax. Il s'étend en avant entre le bord inférieur de la mandibule et le bord supérieur du manubrium sternal, et en arrière entre la ligne nuchale supérieure à la face exocrânienne de l'os occipital et le disque intervertébral situé entre C7 et T1. Dans ce tube, quatre compartiments créent une organisation longitudinale :

- Le compartiment viscéral est antérieur et contient des éléments de l'appareil digestif, de l'appareil respiratoire et plusieurs glandes endocrines ;
- Le compartiment vertébral est postérieur et contient les vertèbres cervicales la moelle spinale.
- Les nerfs spinaux et les muscles associés à la colonne vertébrale

- Les deux compartiments vasculaires sont latéraux et contiennent les principaux vaisseaux sanguins et le nerf vague (X).

Le plan frontal, tangent à la colonne cervicale, divise le cou en deux grandes régions : la région antérieure du cou et la région postérieure, ou nuque. Les muscles du cou se répartissent ainsi en deux grands groupes : muscles de la région antérieure du cou et muscles de la nuque.

1. Les muscles de la région antérieure du cou

Ces muscles se répartissent en quatre groupes : le groupe profond prévertébral, le groupe profond latéro-vertébral, le groupe des muscles qui s'insèrent sur l'os hyoïde, le groupe antéro-latéral.

a. Le groupe profond prévertébral

Il comporte quatre muscles : le long du cou, le long de la tête, le droit antérieur de la tête et le droit latéral de la tête.

- **Le muscle long du cou** à l'aspect d'un triangle isocèle à base médiale longitudinale ; on lui décrit trois portions : la portion médiale, la portion latérale inférieure et la portion latérale supérieure.
- **Le muscle long de la tête** est le plus volumineux des muscles prévertébraux ; il est aplati d'avant en arrière.
- **Le muscle droit antérieur de la tête** est court et triangulaire.
- **Le muscle droit latéral de la tête** est un petit muscle tendu entre l'apophyse transverse de l'atlas et l'occipital.

b. Le groupe profond latéro-vertébral

Ce groupe comporte les trois muscles scalènes antérieur, moyen et postérieur et les muscles inter-transversaires cervicaux.

c. Le groupe des muscles insérés sur l'os hyoïde

De nombreux muscles s'attachent à l'os hyoïde, ils se disposent soit au-dessus de cet os (groupe supra-hyoïdien), soit au-dessous (groupe infra-hyoïdien).

d. Le groupe supra-hyoïdien

Il comprend les muscles mylo-hyoïdien, stylo-hyoïdien, digastrique et génio-hyoïdien et deux muscles de la langue, l'hyoglosse et le génio-glosse.

b) Le groupe 1nfra-hyodien

Ce groupe comprend quatre muscles disposés sur deux plans profond (muscles sterno-thyroïdien et thyro-hyoïdien superposés) et superficiel (muscles sterno-hyoïdien et omo-hyoïdien juxtaposés). Ces muscles sont placés en avant des viscères du cou.

- **Le muscle sternothyroïdien.**
- **Le muscle thyro-hyoïdien** est plat et court.
- **Le muscle sterno-hyoïdien** est mince, il est situé en avant des deux muscles précédents.

Insertions proximales : sur la face postérieure de l'extrémité interne de la clavicule et la face postérieure du manubrium sternal au-dessus des attaches du muscle sterno-thyroïdien.

- **Le muscle omo-hyoïdien** est un muscle digastrique à ventres opposés (ventre inférieur et ventre supérieur) unis par un tendon intermédiaire.

Le ventre inférieur s'insère sur le bord supérieur de l'omoplate au voisinage de l'échancrure coracoïdienne. Le corps charnu se dirige en avant, en haut et en dedans.

Le tendon intermédiaire, qui unit les deux ventres musculaires, se place en avant de la veine jugulaire interne et marque le point où le muscle change de direction.

Le ventre supérieur fait suite au tendon intermédiaire et se dirige en haut en longeant le bord latéral du muscle sterno-hyoïdien. Il s'attache au bord inférieur du corps de l'os hyoïde.

e. Le groupe antérolatéral

- **Le muscle sterno-cléido-mastoïdien.**

Muscle épais et puissant, il croise obliquement la face latérale du cou de la région mastoïdienne à l'extrémité médiale de la clavicule et au sternum.

Insertions proximales : elles se font sur la face antérieure du manubrium sternal au-dessous de l'interligne de l'articulation sterno-claviculaire et sur le tiers médial de la face supérieure de la clavicule.

Trajet : les fibres musculaires forment un corps charnu quadrilatère qui se dirige obliquement en haut et en arrière.

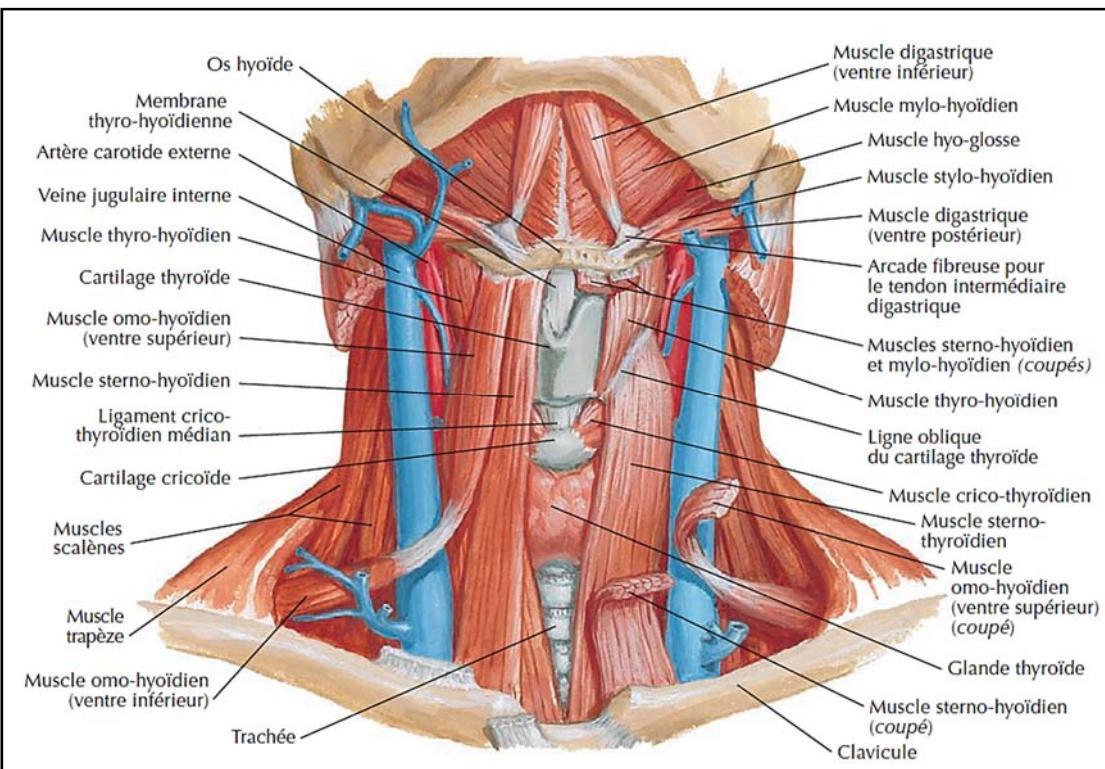


Figure 16 - Muscles infra-hyoïdiens et supra-hyoïdiens [174]

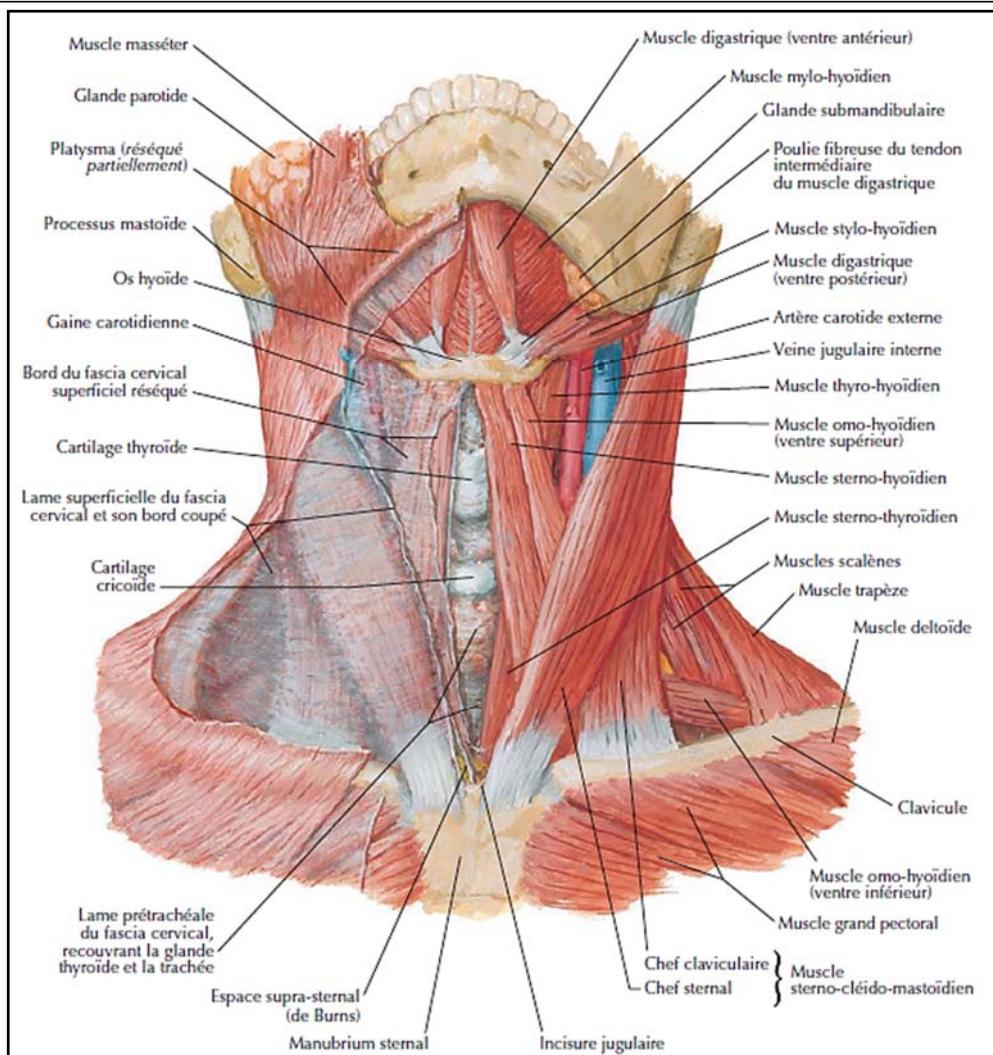


Figure 17 - Muscles du cou : vue antérieure [174]

Insertions distales : elles se font sur le bord antérieur de la mastoïde, sur la face externe de la mastoïde et le long des deux tiers latéraux de la ligne courbe occipitale supérieure.

- **Platysma ou Muscle Peaucier du cou**

Il naît du fascia superficiel recouvrant les parties supérieures des muscles grands pectoral et deltoïde [174].

2. Les muscles de la nuque

Les muscles de la région postérieure du cou sont nombreux et leur disposition est complexe. En effet, on rencontre à côté de muscles courts et profonds (groupe sous-occipital) des muscles longs dont les attaches proximales sont parfois fort éloignées de la région postérieure du cou (sur le sacrum, l'os iliaque, les côtes, les vertèbres lombaires et thoraciques) et qui jouent un rôle de première importance dans le maintien de la station debout, dans l'équilibre de la tête et dans la dynamique de la colonne vertébrale.

Des muscles, qui par leurs attaches et leurs actions appartiennent au membre supérieur, sont également présents dans la région de la nuque ; ce sont le trapèze et l'angulaire de l'omoplate (muscle élévateur de l'omoplate).

Nous diviserons l'étude de ces muscles en quatre parties, en nous dirigeant de la profondeur vers la superficie : les muscles du groupe sous-occipital, les muscles des gouttières vertébrales, le plan des muscles splénius et angulaire et le plan du trapèze.

a. Le groupe sous-occipital

Ce groupe profond comprend quatre muscles tendus entre l'une des vertèbres cervicales supérieures (atlas ou axis) et la surface exocrânienne de l'écaille de l'occipital [90].

- **Le muscle petit droit postérieur de la tête.**
 - **Le muscle grand droit postérieur de la tête.**
 - **Le muscle oblique inférieur de la tête.**
 - **Le muscle oblique supérieur de la tête.**
- Les trois derniers muscles du groupe dessinent un espace triangulaire, le trigone sous-occipital, limité en dedans par le muscle grand droit postérieur, en bas par le muscle oblique inférieur, et en dedans

par le muscle oblique supérieur. La surface de ce triangle répond à l'arc postérieur de l'atlas sur lequel passe l'artère vertébrale ; la branche postérieure du premier nerf cervical traverse le trigone sous-occipital.

b. Le groupe des muscles des gouttières vertébrales

Ces muscles occupent l'espace limité en dedans par les apophyses épineuses, en avant par la face postérieure des lames et les apophyses transverses des vertèbres. Ce sont des muscles longs dont les attaches sont complexes. Leur présentation ici, très simplifiée, est faite en deux plans superposés.

- **Le premier plan musculaire.**

Il est constitué par le muscle transversaire épineux qui comprend deux composants placés sur deux plans : le multifide et le semi-épineux.

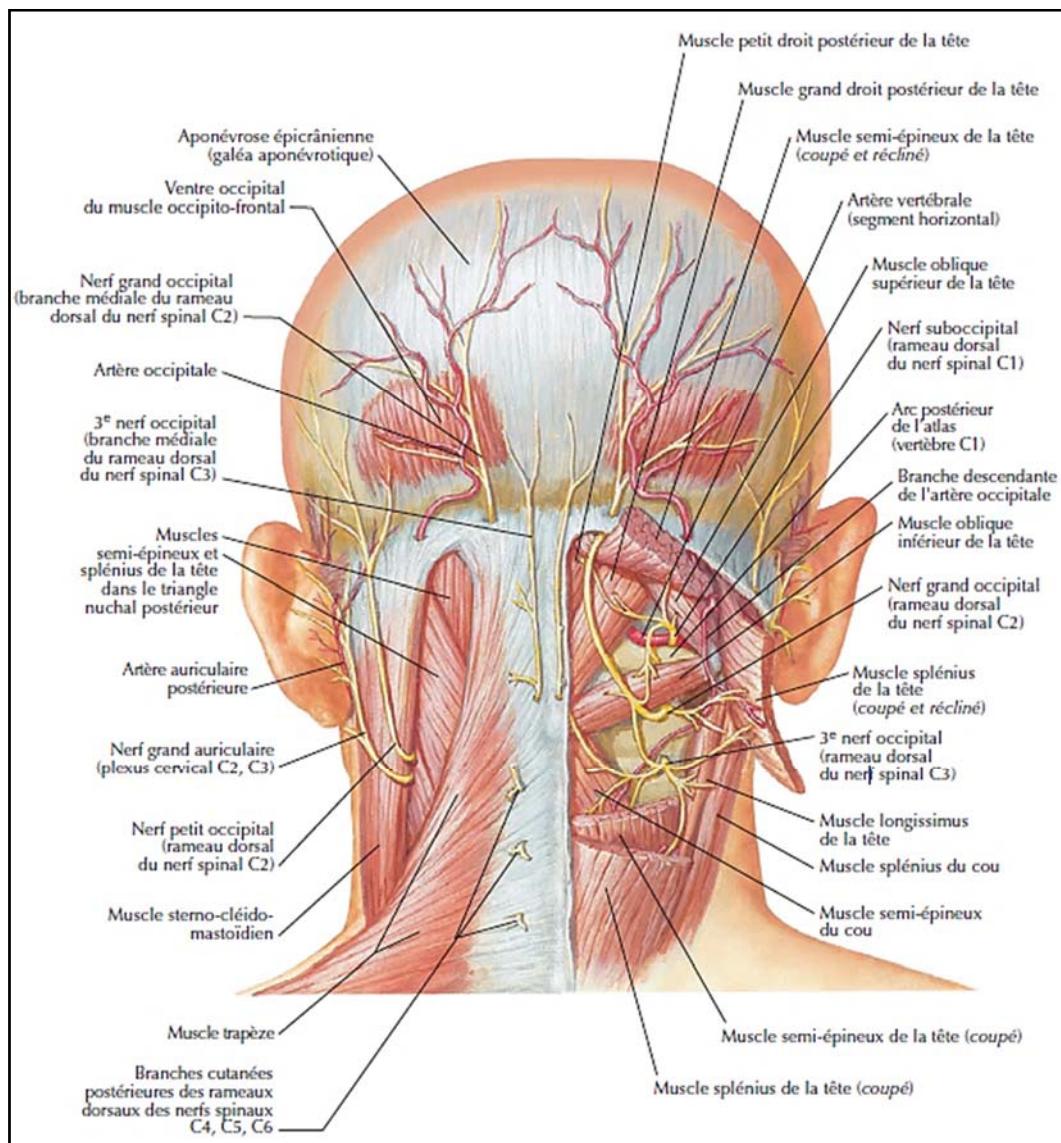


Figure 18 - Le groupe musculaire sous-occipital [174]

- **Le second plan musculaire.**

C'est le plan du muscle érecteur du rachis, puissant et épais qui prend ses attaches en bas sur la face postérieure du sacrum et la crête iliaque. À la hauteur de la douzième côte, cette masse musculaire verticale se divise en trois muscles : le muscle ilio-costal (latéral), le longissimus (intermédiaire) et le muscle épineux (médial).

Chacun de ces trois muscles comporte, au-dessus de portions lombaire et thoracique, une portion cervicale.

c. Plan des muscles splénius et angulaire

- **Les muscles splénius de la tête et splénius du cou.**

Ces muscles présentent une origine, inférieure, commune : apophyses épineuses de la septième vertèbre cervicale et des quatre à cinq premières vertèbres thoraciques.

Le corps charnu se dirige vers le haut et se divise rapidement en deux parties : une médiale, c'est le splénius de la tête et l'autre, latérale, moins importante, le splénius du cou.

Le splénius de la tête s'insère en haut sur la moitié latérale de la ligne courbe occipitale supérieure et le bord postérieur de l'apophyse mastoïde.

Le splénius du cou se termine sur le tubercule transverse de l'atlas et les apophyses transverses de l'axis et de la troisième vertèbre cervicale.

d. Le plan du muscle trapèze

C'est un muscle large et plat qui recouvre la face postérieure du tronc et du cou. Il s'étend de la colonne cervico-thoracique à la ceinture scapulaire.

3. Les aponévroses du cou

Chaque plan musculaire de la région antérieure du cou est engainé par une aponévrose, nous décrirons donc trois formations fibreuses : l'aponévrose prévertébrale pour les muscles prévertébraux et latéro-vertébraux, l'aponévrose cervicale moyenne pour les muscles infra-hyoïdiens et l'aponévrose cervicale superficielle en relation avec le muscle sterno-cléido-mastoïdien.

Une gaine fibro-conjonctive vasculaire entoure l'artère carotide commune, la veine jugulaire interne et le nerf vague (X).

Une mince membrane enveloppe l'axe viscéral aéro-digestif (larynx et trachée, pharynx et œsophage), c'est la gaine viscérale qui prend part à la formation de la gaine de la glande thyroïde [90].

La région postérieure du cou est recouverte par une aponévrose ou fascia nuchal.

L'aponévrose prévertébrale recouvre les muscles prévertébraux et les muscles scalènes. Elle s'étend en hauteur de l'apophyse basilaire de l'occipital vers le médiastin postérieur où elle perd son individualité. Latéralement, cette aponévrose s'étend jusqu'au plan musculaire de l'angulaire de l'omoplate et des splénius, et contient dans son épaisseur le tronc sympathique cervical. À la face profonde du muscle trapèze, cette aponévrose devient mince et lâche.

L'aponévrose cervicale moyenne comprend deux lames superficielle et profonde qui engagent respectivement chacun des deux plans des muscles infra-hyoïdiens.

L'aponévrose cervicale superficielle se dédouble pour former une gaine complète au muscle sterno-cléido-mastoïdien. Elle s'attache en haut à l'apophyse mastoïde et le long du bord inférieur de la mandibule. En bas, elle s'insère sur le bord supérieur de la clavicule et sur le bord antérieur de la fourchette du sternum, cette ligne d'insertion dépasse la ligne médiane pour s'attacher sur la clavicule opposée.

L'aponévrose postérieure du cou ou fascia nuchal.

En avant, et de chaque côté, cette formation se continue, le long du bord antéro-supérieur du muscle trapèze avec l'aponévrose cervicale superficielle. Le fascia nuchal tapisse le trapèze jusqu'à la ligne médiane et se termine en haut sur la ligne courbe occipitale supérieure. De la face profonde de cette aponévrose se détache le septum nuchal, sagittal, qui divise la région de la nuque en deux moitiés symétriques.

D. Vascularisation de la colonne vertébrale

La vascularisation de la colonne vertébrale est assurée par les artères suivantes [23], [247]:

- Les artères vertébrales et cervicales ascendantes, dans le cou.
- Les principales artères segmentaires du tronc ;
- Les artères intercostales postérieures, dans la région thoracique.
- Les artères subcostales et lombaires, dans l'abdomen.

- Les artères ilio-lombaires, sacrales latérales et sacrales médianes, dans le bassin.

Les veines spinales se rassemblent pour former des plexus veineux le long de la colonne vertébrale, à la fois en dedans et en dehors du canal vertébral (canal rachidien). Ce sont, respectivement, les plexus veineux vertébraux interne (plexus veineux épiduraux) (intrarachidien) et externe (extrarachidien).

V. Anatomie descriptive de la moelle épinière

A. Morphologie externe

1. Description

C'est un cordon de tissu nerveux de forme cylindrique et aplatie sur les faces postérieures et antérieures, s'étendant de C1 à L2. Il a environ 43 cm de long chez l'adulte et pèse 30 grammes. [152]

La moelle épinière s'élargit en deux zones : le renflement cervical, d'où sont issus les nerfs destinés aux membres supérieurs et le renflement lombo-sacral, d'où sont issus les nerfs destinés aux membres inférieurs. Puis se termine par le cône terminal, prolongé par le filum terminal. Elle est enveloppée par la dure-mère. [152]

2. Nerfs spinaux (nerfs rachidiens)

Il existe 31 paires de nerfs spinaux qui naissent de la moelle épinière. Ils constituent le premier segment du système nerveux périphérique. Avec deux racines, une racine dorsale sensitive qui est pourvue d'un ganglion spinal, et une racine ventrale motrice. Le nerf spinal est donc un nerf mixte. [225]

Les racines cervicales sont presque horizontales, puis deviennent de plus en plus obliques le long de la moelle dorsale puis de plus en plus verticale au niveau de la moelle lombo-sacrée. Au niveau de la queue de cheval ou cul-de-sac, les racines descendent verticalement sous la moelle épinière. [152]

En tout, il existe 8 nerfs rachidiens cervicaux (de C1 à C8), 12 nerfs rachidiens thoraciques (T1 à T12), 5 nerfs rachidiens lombaires (L1 à L5), 5 nerfs rachidiens sacrés (S1 à S5), 1 nerf rachidien coccygien (C1). [167] Donc il existe 31 paires de nerfs spinaux.

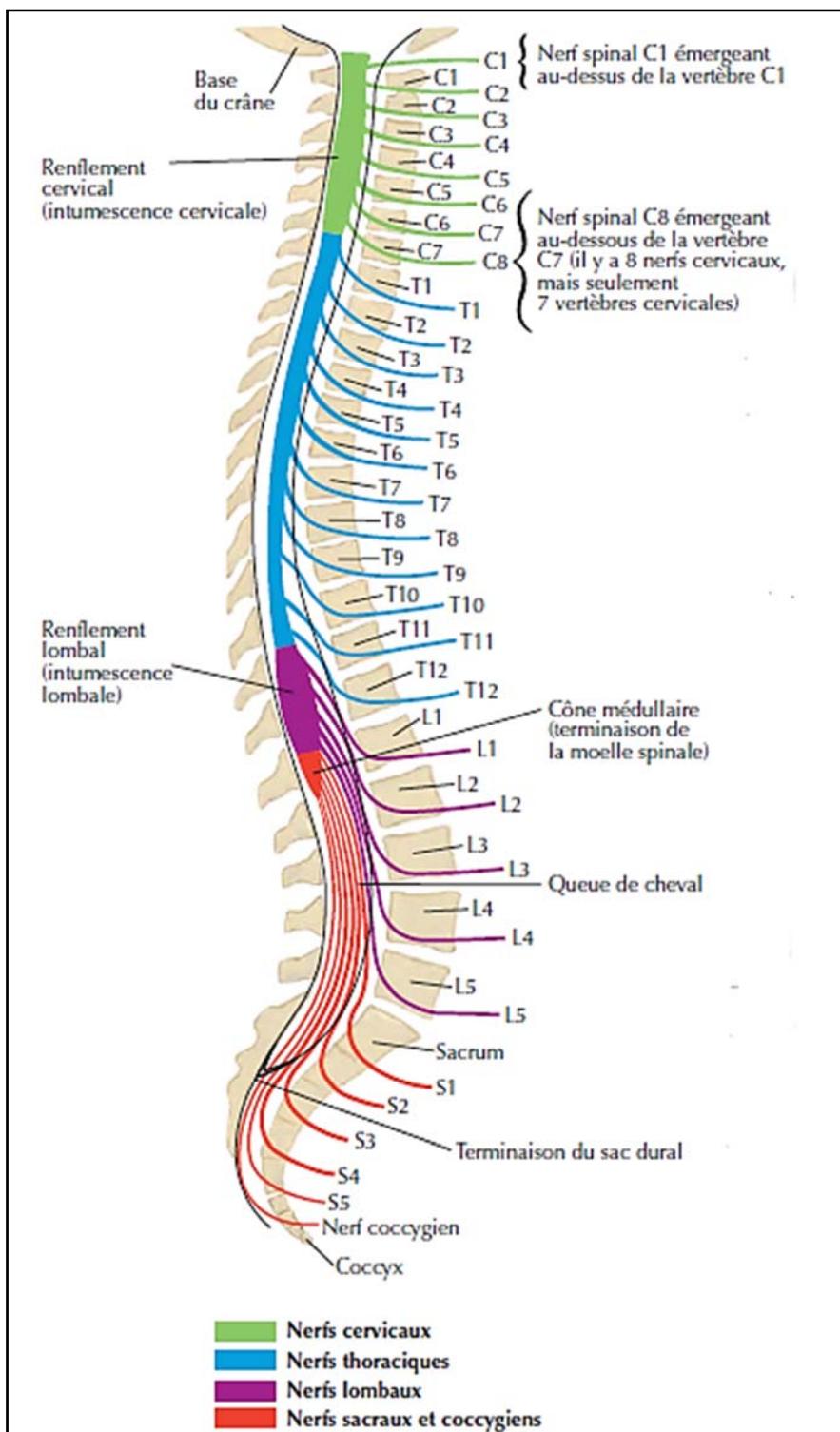


Figure 19 – Nerfs spinaux [174]

3. Notion de dermatomes sensitifs

La projection cutanée des territoires sensitifs des racines détermine à la surface du corps les dermatomes sensitifs. Chacun des dermatomes correspond à un niveau radiculaire précis.

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 1 - Niveaux des principaux dermatomes [225]

| Niveaux des principaux dermatomes | |
|---|--|
| C5 Clavicules | L4 Face médiale du gros orteil |
| C5, 6 Faces latérales des membres supérieurs | L4, 5, S1 Pied |
| C6 Pouce | S1 Bord latéral du pied et du petit orteil |
| C6, 7, 8 Main | S1, 2, L5 Faces latérale et postérieure des membres supérieurs |
| C8 Annulaire et auriculaire | S2, 3, 4 Périnée |
| C8, T1 Faces médiales des membres supérieurs | T4 Niveau du mamelon |
| L1 Régions inguinales ou aines | T10 Niveau de l'ombilic |
| L1, 2, 3, 4 Faces antérieure et médiale des membres inférieurs | T12 Régions inguinales ou aines |

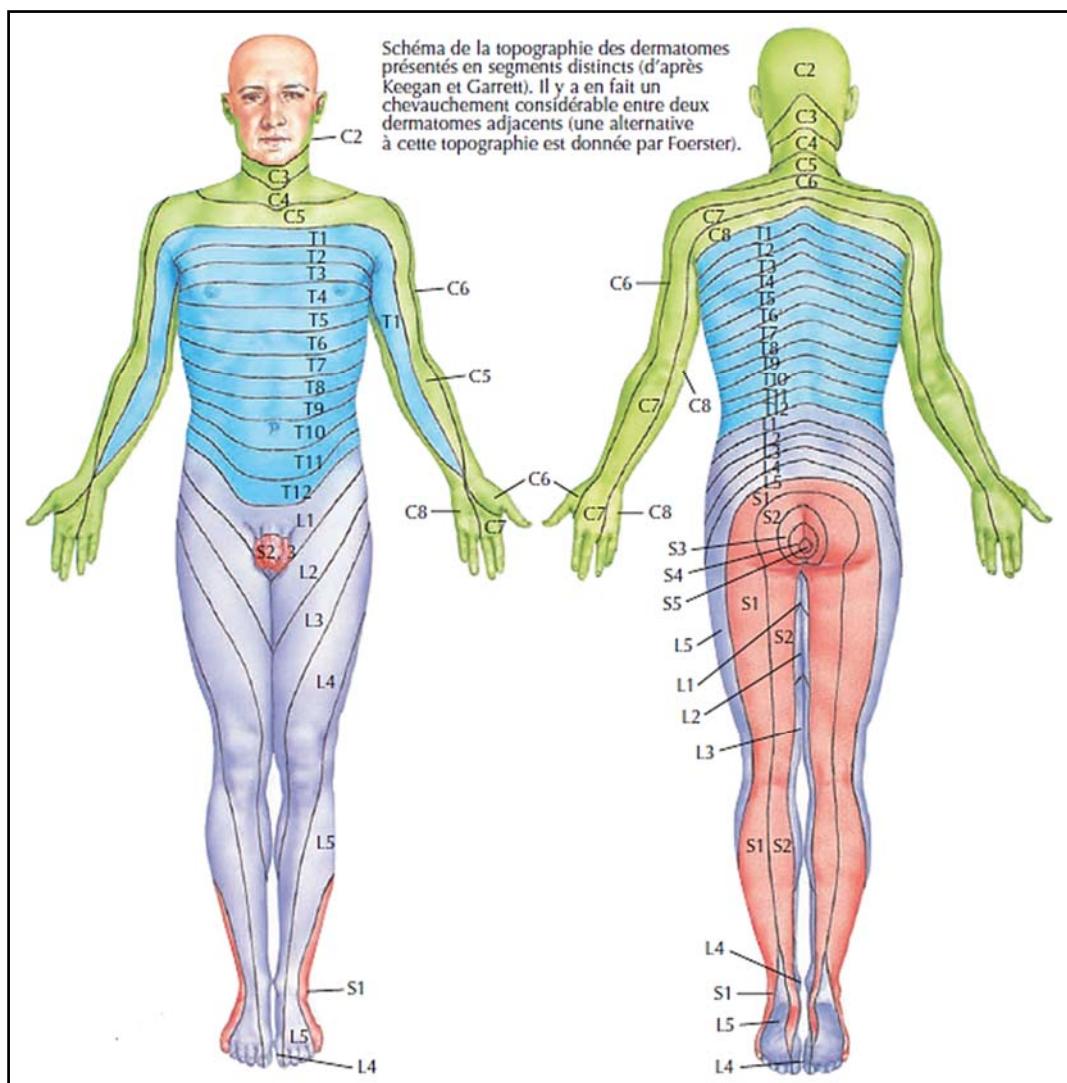


Figure 20 – Dermatomes [174]

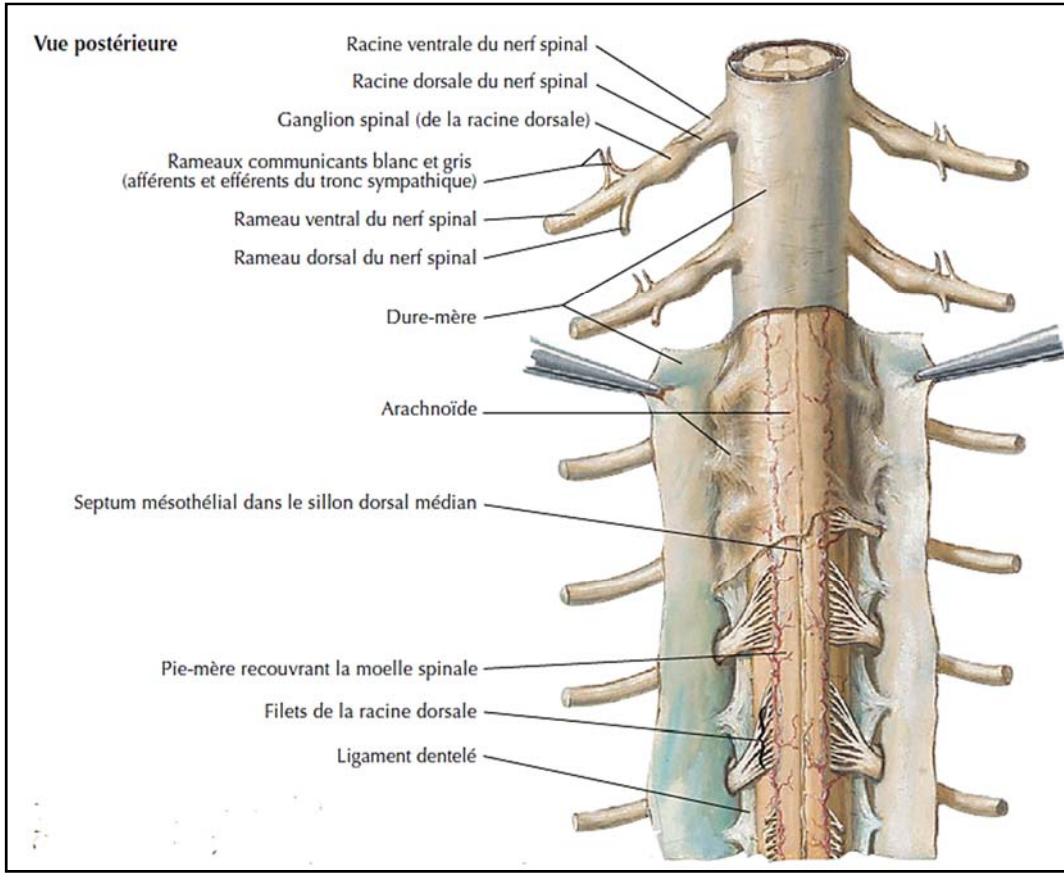


Figure 21 - Méninges et racines nerveuses[174]

B. La vascularisation de la moelle

La vascularisation de la moelle est assurée par un réseau artériel et veineux. Il n'existe pas de drainage lymphatique. [23]

1. Vascularisation artérielle de la moelle épinière

Les artères superficielles de la moelle sont disposées en 3 systèmes verticaux, anastomosés entre eux par un réseau horizontal péri- médullaire : l'artère spinale antérieure, et les deux artères spinales droite et gauche. [247]

- **Les sources artérielles principales**

- Au niveau cervical : les artères vertébrales forment la partie haute de l'artère spinale antérieure. Elles donnent, en plus, deux ou trois artères médullaires.

- Au niveau thoracique, il existe une ou deux artères radiculo-médullaires principales provenant des artères intercostales.
- Au niveau lombaire : c'est l'artère d'ADAMKIEWICZ.

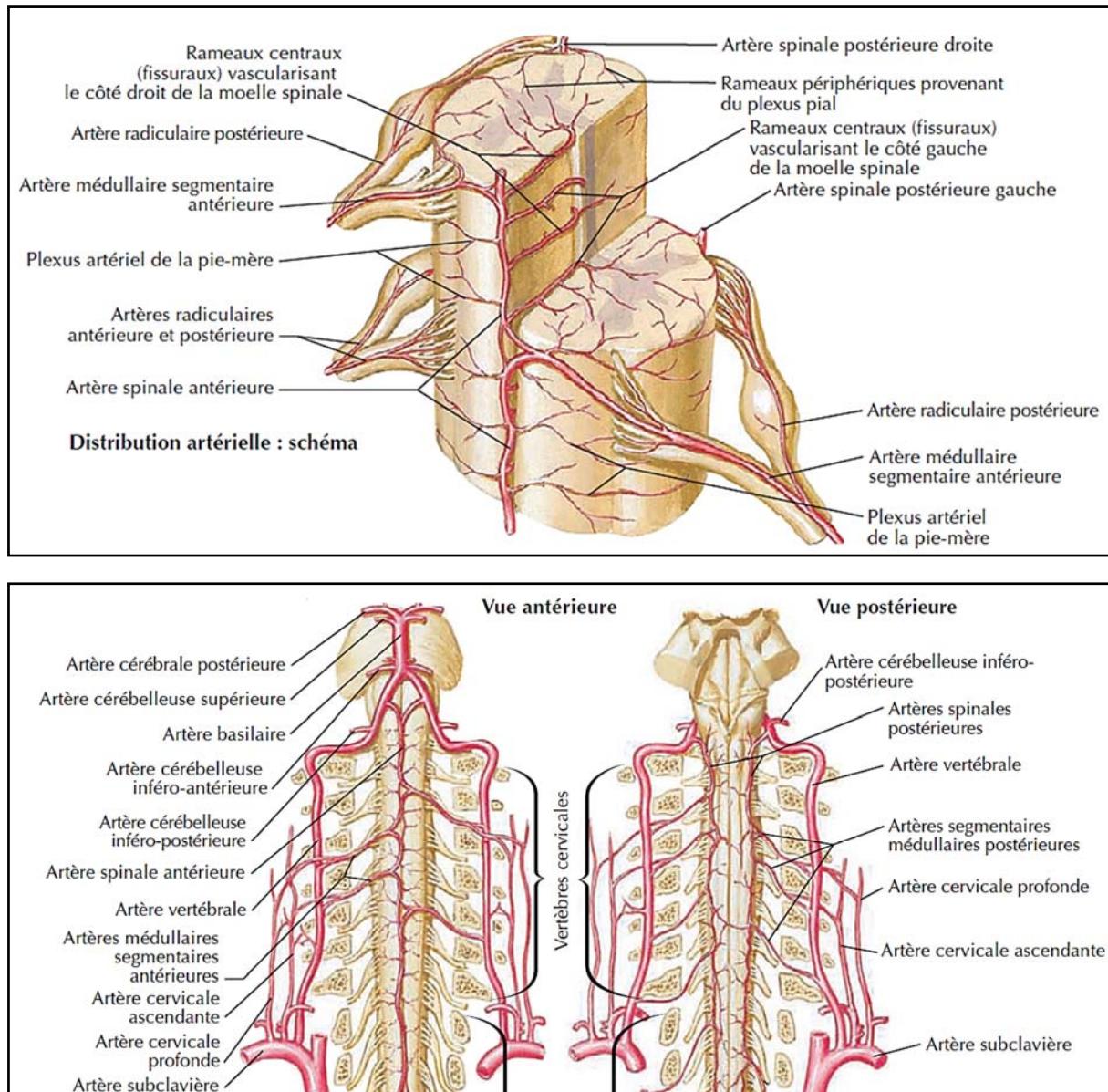


Figure 22 - Vascularisation artérielle médullaire [174]

2. Vascularisation veineuse de la moelle

Les veines médullaires sont plus nombreuses et plus volumineuses. En plus des veines médullaires satellites des artères déjà décrites, il existe, dans le canal vertébral, un plexus veineux extradural. Ce sont les veines épidurales. [152]

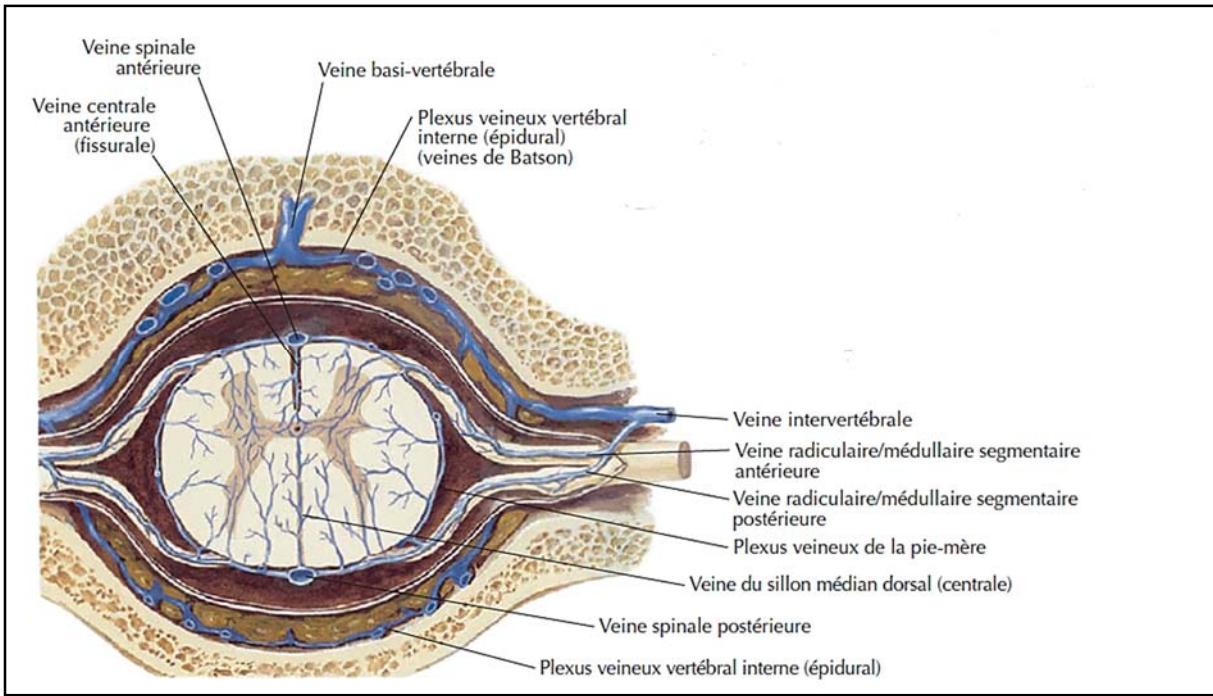


Figure 23 – Vascularisation veineuse de la moelle épinière [174]

C. Morphologie interne

À l'inverse du cerveau, au niveau de la moelle épinière la substance grise est en situation profonde et la substance blanche est en situation externe. Le canal de l'épendyme se trouve lui au centre. [152]

1. La substance grise

La substance grise se trouve autour du canal de l'épendyme, elle est formée par les corps cellulaires des neurones, leurs dendrites et leurs synapses. Elle a la forme d'un H, qui est formé par les cornes ventrales qui ont une fonction motrice, et les cornes dorsales qui ont une fonction sensitive. De part et d'autre du canal de l'épendyme se trouve la commissure grise antérieure et postérieure. [225]

a) Structure de la zone péri-épendymaire

La partie centrale périépendymaire a une fonction végétative et synaptique. Elle contient un grand nombre de courts neurones interposés entre les voies de la sensibilité et les voies de la motricité. Ils sont appelés : interneurones.

b) Structure de la corne ventrale

La corne ventrale a une fonction motrice. Elle contient les motoneurones dont les axones forment les fibres motrices des nerfs périphériques. Ces motoneurones sont groupés en noyaux moteurs.

c) Structure de la corne dorsale [152]

Elle a une fonction sensitive. Ses neurones sont regroupés en 3 noyaux principaux :

- Le noyau de CLARKE
- Le noyau de BETCHEREW
- Le noyau propre de la corne dorsale est le plus volumineux.

Les noyaux de CLARKE et de BETCHEREW relais sur les voies de la sensibilité proprioceptive inconsciente.

Le noyau propre de la corne dorsale est un relais sur la voie des sensibilités protopathiques, thermiques et douloureuses.

Dans la corne dorsale, on distingue, en arrière du noyau propre :

- La substance gélatineuse de ROLANDO
- La zone marginale de WALDEYER
- Le faisceau de LISSAUER

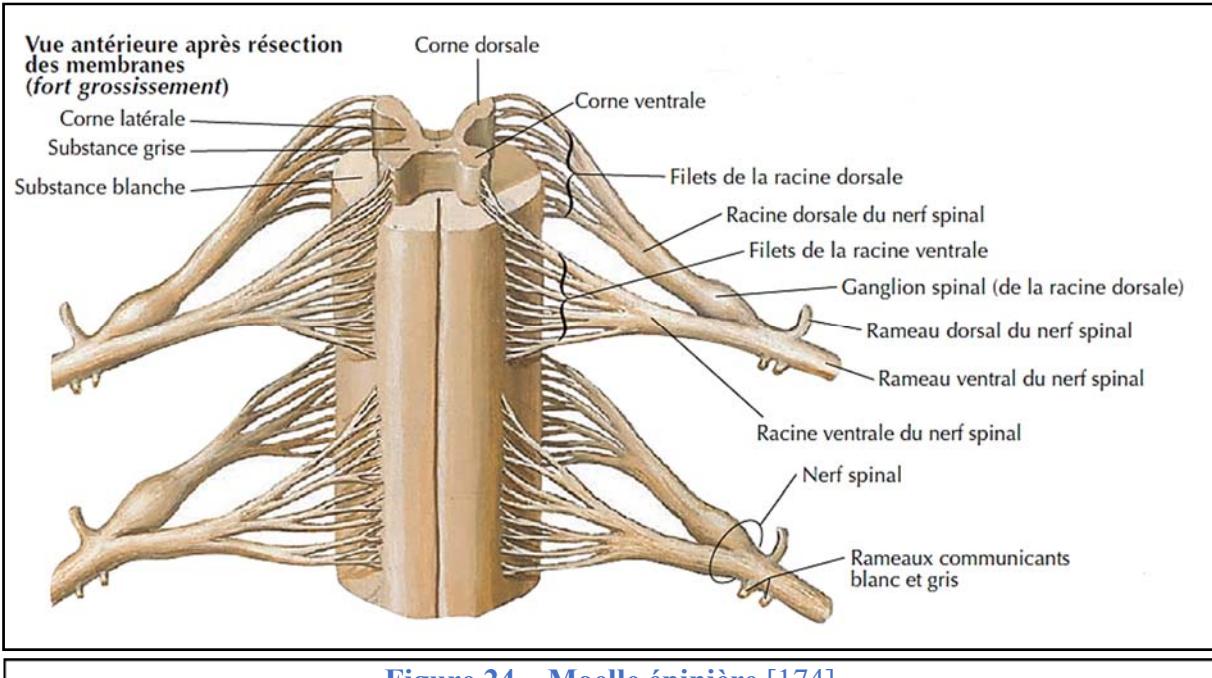


Figure 24 – Moelle épinière [174]

2. La substance blanche [152]

a) Substance blanche proprement dite

Elle est formée par les fibres nerveuses recouvertes de leurs gaines et groupées en faisceaux. Les fibres sensitives montent dans la moelle vers les centres supérieurs. Les fibres motrices descendent vers les motoneurones. On y distingue :

- Les cordons ventraux,
- Les cordons latéraux,
- Les cordons dorsaux.

b) Faisceau propre ou faisceau fondamental

Il s'agit d'une couche mince de substance blanche située en périphérie de la substance grise. Elle contient des fibres verticales d'association intersegmentaire s'articulant principalement avec les interneurones de la lame VII.

VI. Anatomie fonctionnelle du rachis cervical

On peut en réalité schématiquement distinguer 5 fonctions à la colonne cervicale [241]:

- Fonction d'un mât disposé en lordose dans le plan sagittal ;
- Fonction de ressort encaissant des contraintes réparties entre les disques et les articulations ;
- Fonction de flexible autorisant 2 mouvements principaux de flexion-extension et d'inclinaison-rotation automatiquement associés ;
- Fonction de protection pour la moelle, les racines et l'artère vertébrale ;
- Fonction d'information nociceptive très riche et intriquée avec la région de l'épaule.

A. Fonction de mât

L'empilement des vertèbres cervicales est rectiligne de face et concave en arrière, ce qui détermine la lordose cervicale. Cette lordose est spécifique de la fonction bipède comme la lordose lombaire [243].

B. La lordose cervicale

La lordose cervicale se constitue dans les premiers mois après la naissance par redressement de la tête. Une étude de l'indice de lordose d'Arlet pendant la croissance a montré que la lordose diminuait jusqu'à l'âge adulte. Par ailleurs, l'angle de protraction qui caractérise la position du conduit auditif externe par rapport à la pointe de l'épineuse de C7 diminue de 42° à 38° de 8 à 16 ans. [241]

Pendant la croissance, lordose cervicale et protraction diminuent.

Enfin, il faut rappeler que cette courbure s'intègre dans un équilibre sagittal global qui sera maintenu si le conduit auditif externe (correspondant au centre de gravité de la tête) s'aligne verticalement sur les têtes de fémur.

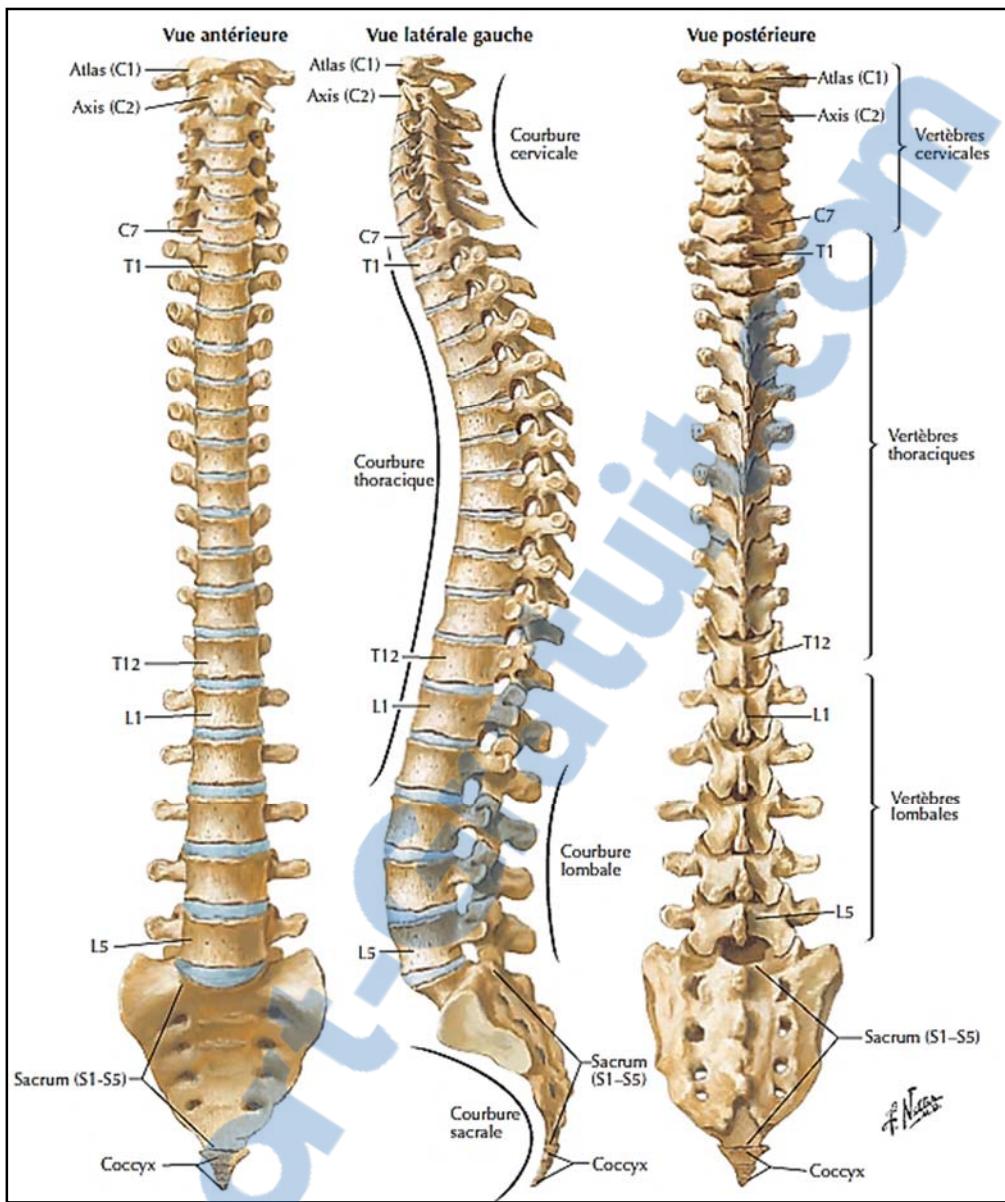


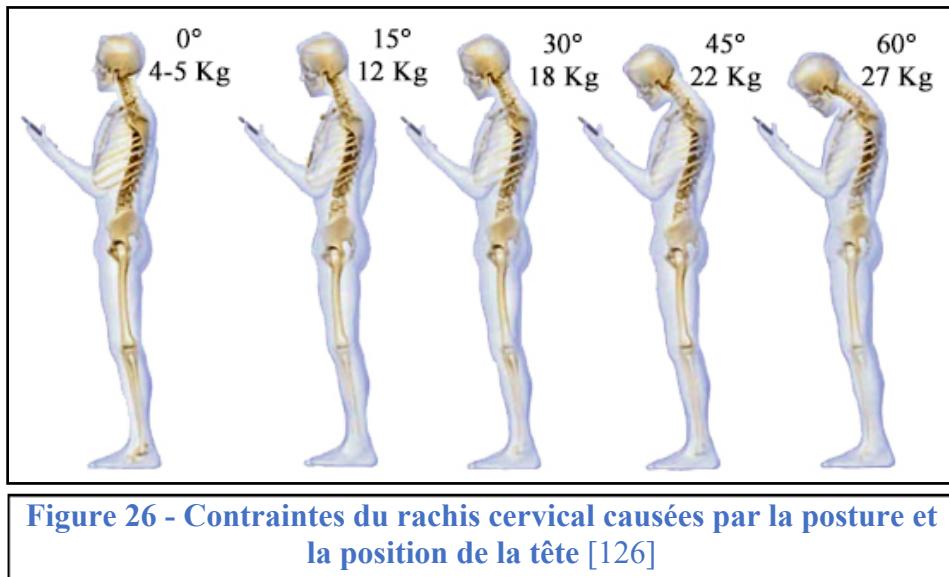
Figure 25 – Courbures physiologiques de la colonne vertébrale [174]

C. Fonction de ressort ou d'amortisseur

En position de référence, le regard oblique à 30° vers le bas et l'avant, l'axe de gravité de la tête qui se projette à proximité du conduit auditif externe tombe en avant de la colonne vertébrale. Chez un sujet de 70kg, la contrainte appliquée en avant des corps vertébraux est de 13 kg (poids de la tête et du cou).

La grande majorité des contraintes axiales est donc encaissée par le complexe disco-corporéal (80 %) contre 20% pour les articulaires postérieures. Ce n'est qu'en hyperextension que les articulaires postérieures seront plus contraintes. [241]

La hernie discale cervicale est un accident aigu qui a une incidence annuelle de 6,5/100 000 chez l'homme et 4,6/100 00 chez la femme. Le niveau C5-C6 serait le plus touché, puis les niveaux C6-C7 et C4-C5. La notion du traumatisme cervical est retrouvée pour la plupart des auteurs dans 10% des cas [125].



D. Fonction de flexible

Les amplitudes des mouvements

Le segment cervical est le plus mobile au niveau rachidien. La flexion a une amplitude de 70°, l'extension de 80°, l'inclinaison latérale de 15 à 30° et la rotation de 50°.

Au niveau occipito-cervical, il ne se produit que 15° de flexion. Au seul niveau C1-C2, il se produit 15° de flexion-extension, 15° d'inclinaison latérale et surtout la moitié de l'amplitude de rotation. Les mouvements d'inclinaison-rotation sont automatiquement associés et s'expriment toujours dans un torticolis, quelle qu'en soit la cause [241].

E. Fonction de protection radiculo-médullaire

Les vertèbres cervicales en s'empilant les unes sur les autres délimitent le canal rachidien central ou foramen vertébral qui contient la moelle épinière et les racines des nerfs rachidiens cervicaux. On mesure le plus souvent le foramen vertébral dans le plan sagittal et on décrit le diamètre sagittal fixe, car osseux,

déterminé dans sa taille dès l'âge de 5-6 ans ; il peut être rétréci de façon constitutionnelle ou après microtraumatismes répétés, mais survenant précocement dans la croissance. Il peut être mesuré par la méthode de Torg et Pavlov : en dessous de 0,8 l'indice permet de reconnaître un rétrécissement. Le diamètre sagittal mobile est situé en regard du disque et des articulaires (segment mobile de Junghanns) et va se rétrécir dans le phénomène de dégénérescence arthrosique. Ce diamètre sagittal mobile diminue en extension et augmente en flexion [243].

La dynamique radiculo-médullaire a bien été décrite par Louis [147]

En flexion, la moelle s'allonge et avance vers le corps et les disques ; les radicelles se tendent. En extension la moelle et les radicelles se détendent ; la moelle recule vers l'arc postérieur.

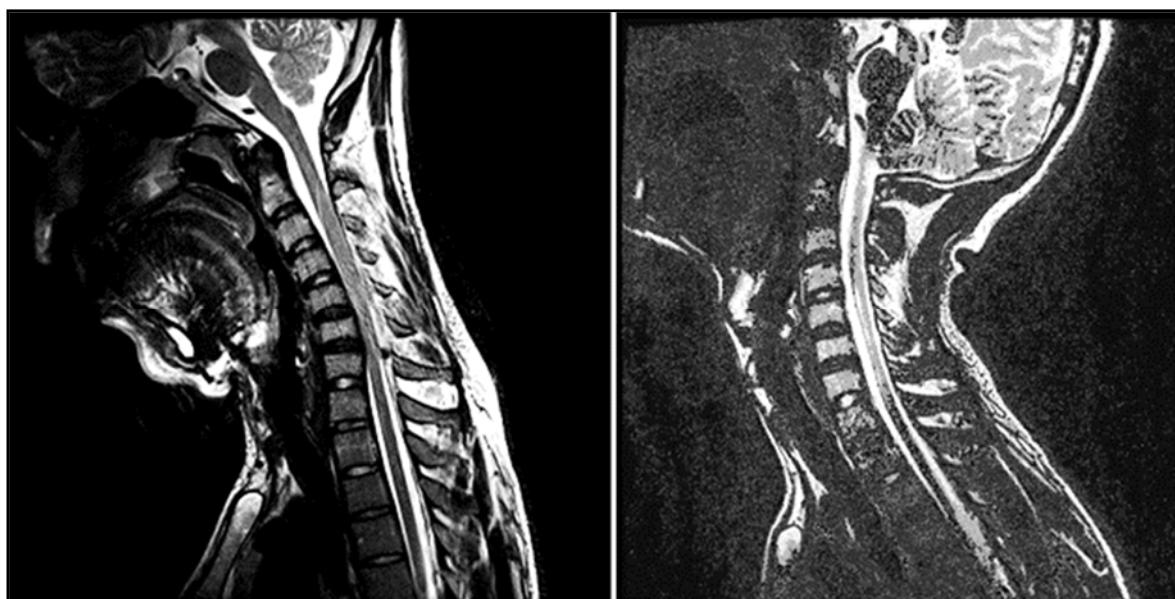


Figure 27 –Dynamique médullaire en flexion [17]

VII. Physiopathologie de l'atteinte médullaire

Malgré l'énorme progrès scientifique dans notre compréhension des TVM, les médecins restent sans un traitement robuste et efficace pour les dommages neuronaux. Actuellement, l'offre principale pour les patients atteints de TVM est de simples soins de soutien. L'importance de ces soins a nettement réduit la mortalité liée aux traumatismes médullaires cervicaux aigus. [211] Cependant, il reste un manque énorme de thérapeutiques neuroprotectrices ou qui augmentent la régénération neurale.

A. Phases de la lésion médullaire traumatique

Un progrès critique dans la compréhension des lésions médullaires traumatiques a été la reconnaissance que la lésion de la moelle épinière conduit à une période prolongée de dommages aux tissus. Les dommages tissulaires consécutifs à un traumatisme médullaire ont donc été divisés en phases primaire et secondaire. [137], [200]

Les phases temporelles des traumatismes médullaires décrites dans la littérature sont résumées dans Erreur ! Source du renvoi introuvable. Ainsi que les principaux processus pathologiques auxquels ils sont associés.

1. La lésion primaire (lésion mécanique)

Elle résulte de l'impact et de la compression initiale contre la moelle épinière, ce qui va causer des dommages aux petits vaisseaux intramédullaires provoquant une hémorragie dans la substance grise centrale et peut-être un vasospasme.

La force délivrée à la moelle épinière lors du traumatisme peut y provoquer des tableaux différents [7]:

- La commotion (concussion des anglophones), qui correspond à un état transitoire de dépression des fonctions médullaires sans lésion anatomique visible ;
- La contusion, qui est une lésion médullaire définitive, mais incomplète, avec pour traduction anatomique une moelle œdématisée et ecchymotique en surface ; la récupération est beaucoup plus

- rare et aléatoire ;
- La laceration ou attrition, pouvant aller jusqu'à la section médullaire complète.

Tableau 2 - Phases temporelles des traumatismes médullaires [65]

| Phases temporelles des lésions médullaires post-traumatiques | | |
|---|------------------------------------|--|
| Phases de la lésion | Temps écoulé après lésion primaire | Principaux processus et événements |
| Immédiat | <2h | <ul style="list-style-type: none"> • Les blessures mécaniques primaires (rupture des axones) • Hémorragie de la matière grise et ischémie • Activation microgliale • Libération de facteurs pro-inflammatoires : Interleukine-1β, nécrose tumorale, Facteur α, interleukine-6, autres |
| Précoce/aiguë | <48h | <ul style="list-style-type: none"> • Oedème vasculaire et cytotoxique • Production d'espèces d'oxygène réactif : Peroxydation lipidique • Glutamate-mediated excitotoxicity • Hémorragie, ischémie et nécrose • Invasion de neutrophiles • Perméabilité de la barrière hémato-encéphalique • Démyélinisation précoce (mort d'oligodendrocyte) • Mort neuronale • Gonflement axonal • Les événements systémiques (choc systémique, choc médullaire, hypotension, hypoxie) |
| Subaiguë | <14 jours | <ul style="list-style-type: none"> • Infiltration de macrophages • Initiation de la cicatrice astrogiale (astrocytose réactive) • Réparation de la BHE et résolution de l'oedème |
| Intermédiaire | <6 mois | <ul style="list-style-type: none"> • Formation continue de cicatrice gliale • Formation des kystes • Stabilisation des lésions |
| Chronique | >6 mois | <ul style="list-style-type: none"> • Dégénérescence wallérienne prolongée • Persistance des axones épargnés et démyélinisés • Potentiel de plasticité structurelle et fonctionnelle du tissu médullaire épargné |

2. Lésions secondaires

Il est maintenant admis qu'une période retardée, progressive et prolongée de lésion tissulaire suit la lésion médullaire primaire. Parce que ces processus cellulaires interdépendants conduisent à une perte cellulaire et axonale de façon retardée, ces événements représentent des cibles thérapeutiques

potentielles. [68] De plus, ces mécanismes sont également observés dans d'autres formes de lésion du système nerveux central (SNC), comme le traumatisme crânien et les accidents vasculaires cérébraux. Ces processus de lésions médullaires traumatiques secondaires incluent l'apoptose, l'ischémie [4], [40], la lésion cellulaire à médiation ionique et l'excitotoxicité, [182] la neuroinflammation, [190] la dysfonction mitochondriale et les lésions cellulaires oxydatives. [158], [185]

a. Apoptose

L'apoptose est une forme de mort cellulaire programmée qui se produit dans une grande variété d'états pathologiques dans des cellules eucaryotes. Contrairement à la nécrose, l'apoptose est un processus actif caractérisé par le rétrécissement cellulaire, l'agrégation de la chromatine et la pycnose nucléaire.[120] Les cellules meurent et sont englouties par les phagocytes, sans déclencher une réaction inflammatoire ou sans décharger leur contenu cellulaire dans l'environnement extracellulaire. Ceci est initié par des stimuli physiologiques, internes ou externes.[146] L'apoptose est un processus étroitement régulé avec une séquence d'étapes d'activation qui nécessitent de l'énergie et une synthèse macromoléculaire spécifique comme transcription génétique de novo. [120]

Néanmoins, la nécrose est caractérisée par un gonflement cellulaire plus passif, avec des lésions mitochondrielles et une perturbation de l'homéostasie interne, conduisant à la lyse des membranes, à la libération des contenus intracellulaires et à la provocation d'une réponse inflammatoire intense. [153],[15],[22],[173],[186],[196]

b. Ischémie

La survenue d'une hypoperfusion au niveau de la substance grise médullaire après un traumatisme a été clairement démontrée par plusieurs études [67], [197]. Concernant la substance blanche, les choses sont moins nettes puisque certains auteurs y trouvent une hyperhémie et d'autres une ischémie [128], [207], mais il est bien établi que la substance blanche résiste mieux à l'ischémie que la substance grise. Cette hypoperfusion peut être en partie due à la libération, au niveau du site lésionnel, de certaines substances vasoconstrictrices, comme les thromboxanes, les leucotriènes et le platelet activating factor (PAF) [179].

D'autres mécanismes ont été évoqués pour expliquer cette hypoperfusion : hypotension systémique

post-traumatique ou perte d'autorégulation de la circulation médullaire. Cette baisse de la perfusion conduit rapidement à une baisse de la teneur en oxygène au sein du tissu lésé qui peut persister pendant quelques heures. [67], [179]

c. Excitotoxicité et déséquilibre ionique

La dysrégulation ionique et l'excitotoxicité sont des facteurs auto-perpétuels, intimement liés, aux processus de lésions secondaires. Suite à une lésion, les niveaux extracellulaires d'acides aminés excitateurs tels que le glutamate et l'aspartate augmentent rapidement en raison de leur libération des cellules perturbées ou des terminaisons nerveuses présynaptiques et de l'échec des transporteurs dépendant de l'énergie qui les séquestrent normalement [145].

L'hypercalcémie qui en résulte active les enzymes destructrices telles que les phospholipases, la calpaïne, la caspase et l'oxyde nitrique synthase (NOS) [182][209] [93]. Le résultat est la perte des neurones et de la glie à la fois par la mort des cellules nécrotiques et apoptotiques.

d. Dysfonctionnement mitochondrial

De façon remarquable, la dysfonction mitochondriale peut empêcher les tissus du SNC lésé d'utiliser de l'oxygène pour alimenter la respiration cellulaire même lorsque l'apport en oxygène est suffisant.

Le processus de perméabilité mitochondriale décrit par Kroemer [132] est un processus induit par l'hypercalcémie associé à une perméabilité accrue de la membrane mitochondriale interne au moyen de pores de transition de perméabilité mitochondriale (MPTPs). L'ouverture des MPTP entraîne une perte de potentiel transmembranaire, une génération de radicaux libres, un gonflement de la mitochondrie et une éventuelle rupture de la membrane mitochondriale externe [132].

e. Radicaux libres et peroxydation lipidique

Les radicaux libres, qui sont synonymes d'espèces réactives d'oxygène (ROS reactive oxygen species), sont normalement présents à faibles niveaux, car ils sont des sous-produits normaux du métabolisme oxydatif dans les mitochondries. Ils remplissent également des rôles physiologiques importants tels que la signalisation et la destruction des bactéries par les leucocytes polymorphonucléaires [215][86]. Les

antioxydants endogènes limitent les dommages associés aux faibles niveaux de ROS.

L'hypercalcémie qui suit un traumatisme médullaire induit non seulement le dysfonctionnement mitochondrial causal, mais inactive également les enzymes antioxydantes [214] [215]. Une telle inactivation peut entraîner des dommages à tous les composants cellulaires, y compris les protéines, les glucides, les acides nucléiques et les lipides, ce qui inhibe leur fonction.

Ces dommages conduisent finalement à la mort des neurones et de la glie [102]. On pense également que les modestes effets neuroprotecteurs du traitement par la méthylprednisolone après un traumatisme médullaire sont dus, du moins en partie, à l'inhibition de la peroxydation lipidique [74][137]. Les thérapies antioxydantes sont un domaine important de l'investigation en cours dans les lésions médullaires traumatiques.

f. Neuroinflammation

Le processus inflammatoire après lésion médullaire traumatique est très complexe. La perturbation de la barrière hémato-spinale qui suit le traumatisme médullaire permet un afflux de cellules inflammatoires telles que la microglie, les lymphocytes T, les neutrophiles et les monocytes envahissants.

Ces cellules élaborent à leur tour de nombreux médiateurs inflammatoires, y compris le facteur de nécrose tumorale α (TNF- α), les interférons et les interleukines [191][63]. La réponse immunitaire après traumatisme médullaire est une cible thérapeutique stimulante, car elle a des effets bénéfiques et délétères. Les ROS libérés par les cellules inflammatoires peuvent être nuisibles comme discuté précédemment.

La réponse inflammatoire à la lésion du système nerveux périphérique (SNP) est significativement plus importante que celle de la lésion du SNC. Il a été suggéré que cette réponse plus importante est associée à un dégagement amélioré de débris cellulaires tels que la myéline, qui inhibe la régénération neurale, et que le dégagement amélioré peut au moins en partie expliquer la régénération supérieure observée suite à une lésion d'un nerf périphérique [84][63].

3. Obstacles à la régénération

La capacité de régénération limitée du SNC a été longtemps reconnue, mais a été décrite scientifiquement pour la première fois par Ramón y Cajal en 1928 [39], [194]. Il a fallu plus de 50 ans de progrès scientifiques supplémentaires pour nous permettre de mieux comprendre pourquoi le SNC ne se régénère pas aussi solidement que le SNP.

Bien qu'il reste beaucoup à apprendre, il est maintenant clair que le SNC possède une capacité de régénération plus inhérente qu'on ne le pensait autrefois. La découverte de cellules précurseuses neuronales et d'éléments du SNC qui inhibent l'autoréparation du SNC ont été des avancées significatives qui ont conduit à de nouvelles stratégies expérimentales pour améliorer les résultats après traumatisme médullaire [106].

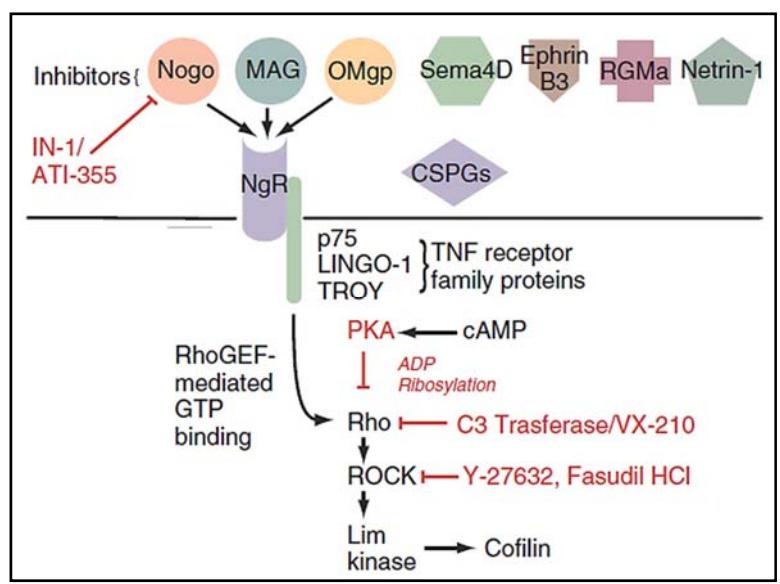


Figure 28 - Mécanismes moléculaires de l'inhibition de la myéline et potentiel d'intervention thérapeutique. [65]

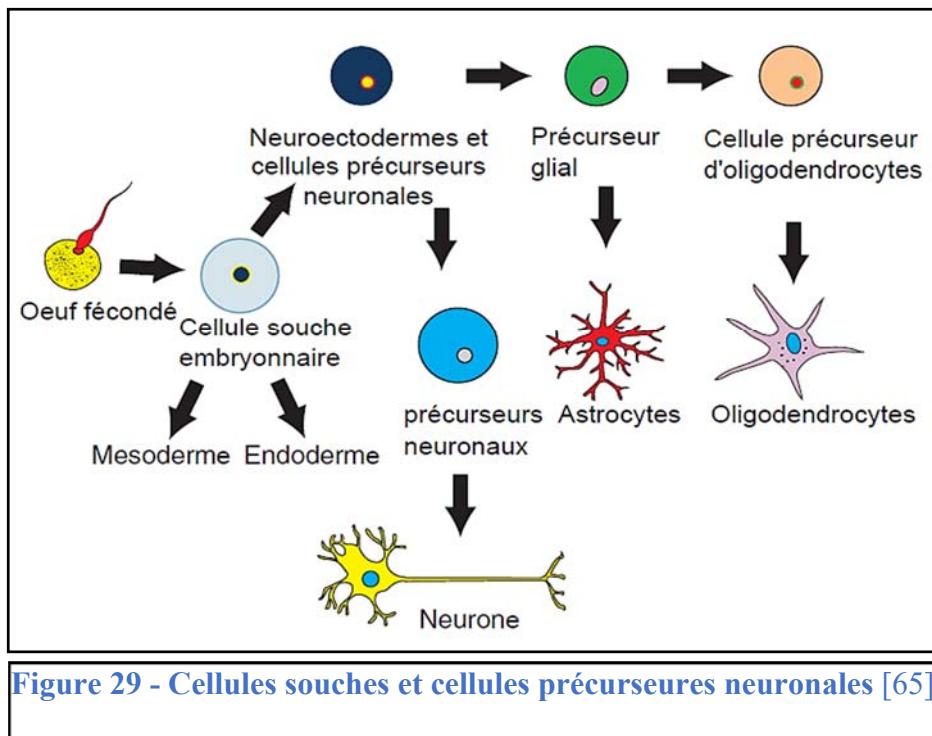
a. Capacité de régénération limitée des axones centraux

Jusqu'à récemment, on croyait que le SNC blessé manquait de mécanismes de réparation. Bien que cette notion ait été prouvée fausse, il est clair que le SNC n'a pas la même capacité de régénération inhérente que celle observée dans le SNP.

Comme les axones périphériques, les axones centraux poussent et tentent de se régénérer pendant des mois après une blessure [143], [157]. Cette capacité régénératrice diminue avec le temps [136] et est

moins robuste que celle observée dans les axones périphériques [229].

La régénération axonale est associée à l'expression d'un certain nombre de gènes associés à la régénération, y compris les gènes GAP43 et tubuline [100]. Ces gènes sont exprimés en niveaux inférieurs dans le SNC suite à une blessure que dans le SNP, ce qui peut expliquer au moins en partie la différence de capacité régénératrice.



b. Myéline et inhibiteurs de la matrice extracellulaire

L'un des progrès les plus importants dans le domaine de la réparation neurale a été la découverte que le SNC a une capacité de réparation, contrairement aux enseignements antérieurs. David et Aguayo [55] ainsi que Richardson et associés [195] ont fait la découverte décisive que les neurones du SNC sont capables de se régénérer par des greffes de nerfs périphériques. Cette découverte a suggéré que les neurones du SNC, comme les neurones du SNP, ont une capacité inhérente à se régénérer, mais que l'environnement du SNC inhibe cette régénération.

c. Cicatrices fibreuses et gliales

La cicatrice est un deuxième élément inhibiteur important dans le SNC. Son importance dans l'inhibition

de la régénération a été reconnue avant la découverte de la myéline et des inhibiteurs de l'ECM, mais la cicatrisation a posé un plus grand défi thérapeutique [216]. Les raisons sont que la cicatrice est à la fois une barrière physique et une barrière chimique, est hétérogène dans sa composition, et a à la fois des caractéristiques bénéfiques et nocives.

d. Cellules souches et cellules progénitrices

Une croyance de longue date - une fois encore remontant à Cajal - considérait le système nerveux central mature comme incapable de neurogénèse. Cette idée retranchée a été réfutée lorsque la recherche contemporaine a prouvé l'existence de la neurogénèse chez l'adulte et son importance dans l'apprentissage du chant aviaire. Des recherches ultérieures ont localisé des régions de neurogénèse intense à la région subépendymale et à la couche de cellules subgranulaires de l'hippocampe.

Les espoirs pour la médecine régénérative ont été très élevés en neurotraumatisme, compte tenu des graves déficits qui accompagnent les blessures ainsi que de la réparation endogène limitée inhérente au SNC.

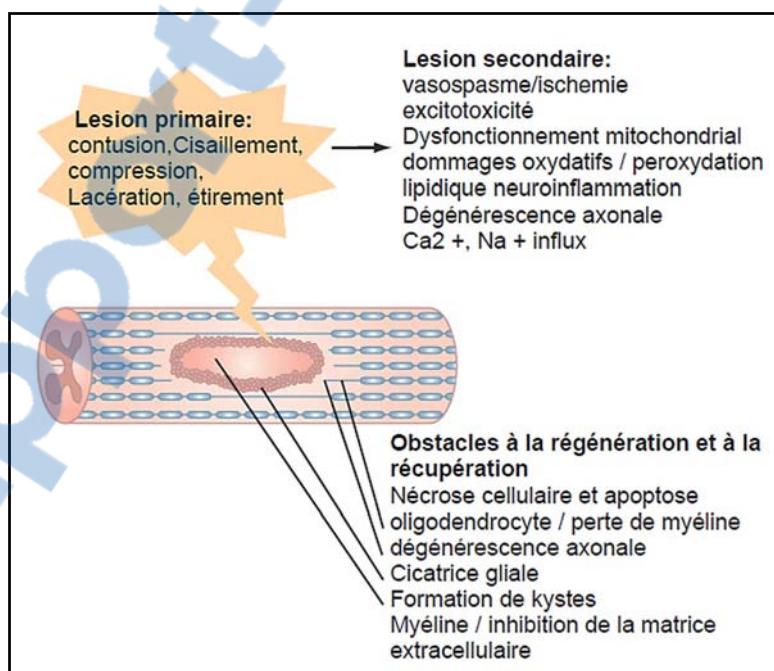


Figure 30 - Phases et pathophysiologie des lésions de la moelle épinière [65]

VIII. Évaluation clinique

La première étape lors de l'accueil d'un traumatisé vertébro-médullaire est de faire une évaluation neurologique, mais aussi des lésions associées, ces lésions peuvent parfois engager le pronostic vital et donc il est plus urgent de la traiter en premiers.

L'examen neurologique lors de l'admission est fondamental sur le plan diagnostique, pronostique et thérapeutique. Il permettra de déterminer un niveau lésionnel médullaire, et recherchera des signes en faveur d'une atteinte (in)complète et de donner une référence en matière d'évolution. Il sera comparé à l'examen neurologique (de référence) effectué lors du ramassage.

La prise en charge neurochirurgicale qui en découle permettra d'éviter l'aggravation des lésions neurologiques et de traiter les lésions vertébro-médullaires (décompression, recalibrage et fixation).

A. Évaluation globale

Les TVM font courir un triple risque :

- Vital, en fonction du niveau lésionnel et de l'éventuel contexte de polytraumatisme ;
- Neurologique, par atteinte de la moelle épinière et des racines ;
- Fonctionnel orthopédique, par atteinte de l'appareil ostéoarticulaire.

La prise en charge de ces patients nécessite donc une reconnaissance de la lésion rachidienne dès la prise en charge sur le lieu de l'accident, une caractérisation parfaite de la lésion ostéoarticulaire et de l'atteinte neurologique et un traitement adapté visant à rétablir une anatomie et une fonction normales d'une part, et d'autre part à prévenir l'aggravation secondaire de l'atteinte médullaire ou la survenue des complications. Les lésions associées, qui sont présentes dans 47 à 60 % des cas [54], [204], doivent être diagnostiquées et traitées. La tension artérielle doit être maintenue à un niveau correct, puisque l'hypotension est un facteur d'aggravation reconnu. L'hypotension associée à une bradycardie probablement liée à un choc neurogénique, souvent présent après un traumatisme sévère de la région

thoracolombaire [262], doit être distinguée d'une hypotension par hémorragie et doit être traitée par l'utilisation des amines pressives [208]. La prise en charge initiale est donc celle d'un polytraumatisé.

L'examen neurologique complet doit donc faire partie d'un examen clinique général précis visant à détecter d'autres lésions pouvant aggraver le pronostic fonctionnel ou vital du traumatisé médullaire [7].

B. Évaluation neurologique

1. Le rachis

On recherche une douleur spontanée ou provoquée par la palpation ou la percussion des épineuses. À la palpation on peut également percevoir l'existence d'un décalage ou d'une saillie d'une épineuse.

Une douleur au toucher pharyngée ou l'existence d'un hématome à ce niveau doit faire penser à une fracture de l'odontoïde.

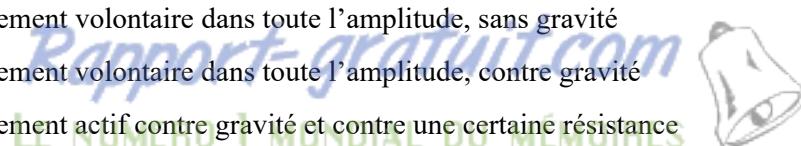
2. Examen neurologique

Il comprend l'évaluation de l'état de conscience du patient (Glasgow Coma Scale), l'examen de la force musculaire des 4 membres, l'examen du tonus du sphincter anal, ainsi qu'un examen de la sensibilité superficielle (pique-touche et chaud-froid) et profonde. Les réflexes ostéotendineux sont systématiquement recherchés, ainsi que le signe de Babinski. Le score ASIA (American Spinal Injury Association), [9] il est le score le plus utilisé, regroupant l'examen moteur et sensitif, auquel il faut ajouter les résultats de l'examen de la sensibilité profonde et des sphincters.

a. Cotation musculaire :

On doit examiner la motricité et coter la force musculaire de 0 à 5 de façon soigneuse territoire par territoire :

- 0 : Aucun mouvement volontaire
- 1 : Palpation ou contraction visible
- 2 : Mouvement volontaire dans toute l'amplitude, sans gravité
- 3 : Mouvement volontaire dans toute l'amplitude, contre gravité
- 4 : Mouvement actif contre gravité et contre une certaine résistance



- 5 : Mouvement volontaire, contre résistance maximale
- 5*: Mouvement volontaire limité par autre facteur que la lésion médullaire
- NE : Impossible d'évaluer

Cette cotation permet des examens comparatifs, et est nécessaire pour déterminer le Score ASIA Moteur.

- **Score ASIA Moteur**

Le score ASIA moteur est sur 100, 10 mouvements actifs sont à exécuter. On comprendra aisément que l'évaluation motrice s'effectuera de façon proximo-distale. Ainsi, au niveau du membre supérieur :

La flexion du coude, l'extension du poignet et du coude, la flexion de la troisième phalange du médius et l'abduction du cinquième doigt permettront d'explorer respectivement les racines de C5 à T1

Au niveau du Membre inférieur, La flexion de hanche, l'extension du genou, la flexion dorsale de la cheville, l'extension du gros orteil la flexion plantaire de cheville permettront d'explorer respectivement les racines de L2 à S1

b. Examen du tonus musculaire

Résistance passive à la mobilisation des segments de membre, épreuve de ballottement des membres.

c. Examen des réflexes :

- **Réflexes ostéo-tendineux : l'étude doit être comparative.**

- C5 : Fléchisseurs du coude
- C6 : Extenseurs du poignet
- C7 : Extenseur du coude
- C8 : Long fléchisseur doigt
- T1 : Abducteur 5e doigt
- L2 : Fléchisseur hanche
- L3 : Extenseur genou
- L4 : Fléchisseur dorsaux
- L5 : Extenseur 1^{er} orteil
- S1 : Fléchisseur plantaire

- **Les réflexes cutanés :**

- Réflexes cutanés abdominaux : on notera leur présence ou leur absence
- Réflexes cutanés plantaires : ils sont normalement en flexion, lorsqu'ils se manifestent en extension des gros orteils ils sont dits pathologiques : c'est le signe de Babinski qui signe une atteinte du faisceau pyramidal.

d. Examen de la sensibilité

la sensibilité thermique est explorée avec un tube d'eau chaude et un tube d'eau froide, la sensibilité douloureuse est explorée par la piqûre à l'épingle.

- La sensibilité tactile fine est explorée par l'effleurement d'un coton ou la reconnaissance de signes symboliques (croix, rond, barre, lettre ou chiffre).
- La sensibilité proprioceptive consciente ou profonde est explorée avec le Diapason sur les reliefs osseux et la recherche du sens de position des doigts ou des orteils.

• **Score ASIA sensitif**

L'évaluation sensitive se réalise par l'épreuve de la piqûre et du toucher. Afin d'évaluer ces deux sensibilités, un score sur 112 permettra d'évaluer la déficience sensitive de la racine C2 à S5. La recherche sensitive s'effectuera au niveau des zones autonomes des racines en fonction de la typologie des dermatomes.

Le patient se verra attribuer :

- 0 : Absent → Le patient ne sent pas le toucher léger
- 1 : Altéré → Le patient sent le toucher léger, mais la sensation est différente de celle ressentie au front
- 2 : Normal → Le patient est en mesure de sentir le toucher léger et la sensation est semblable à celle du front
- NT : Non Testable → Le point clé n'est pas accessible ou le patient n'est pas en mesure de sentir le toucher léger au front.

e. Recherche de troubles génito-sphinctériens

Au niveau vésical on peut rencontrer une rétention ou une incontinence. Au niveau des organes génitaux masculins, un priapisme est le signe d'un syndrome de section médullaire grave.

L'Examen anal et sacré :

- Permet de différencier une lésion complète vs incomplète
- Détermine si présence d'une contraction anale volontaire
- Évaluation du réflexe bulbo-caverneux (BCR)
- Détermine si présence d'une sensation anale
- Essentiel afin de déterminer le score ASIA

Tableau 3 - rappel des principaux niveaux lésionnels [7]

| Niveau atteint | Examen neurologique |
|--------------------------|--|
| C4 et sus-jacents | Pronostic vital engagé par atteinte des centres phréniques |
| C5 | Fonction diaphragmatique intacte Tétraplégie complète Sensibilité perçue par tête, cou et épaule |
| C6 | Deltoïdes et biceps présents Flexion du coude possible Sensibilité présente sur la face externe du bras |
| C7 | Présence des muscles radiaux : extension du poignet Sensibilité : Face externe de l'avant-bras |
| C8 | Présence du triceps : extension du coude Présence des extenseurs des doigts Sensibilité de la face externe du membre supérieur |
| D1 | Présence des fléchisseurs des doigts Sensibilité : Face interne du bras et de l'avant-bras |
| D4 | Sensibilité abolie en dessous du mamelon |
| D6 | Sensibilité abolie en dessous de la xiphoïde |
| D10 | Sensibilité abolie en dessous de l'ombilic |
| D12 | Sensibilité abolie sous le pli de l'aine et le pubis |
| L1 | Aucun muscle au membre inférieur ni aucune sensibilité |
| L2 | Présence du couturier |
| L3 | Présence du psoas (flexion de la hanche) |
| L4 | Verrouillage du genou par le quadriceps (extension) Sensibilité antérieure jusqu'au genou |
| L5 | Flexion dorsale possible (jambier antérieur) Anesthésie : selle, face postérieure de cuisse et de jambe, face externe de jambe, pieds |
| S1 | Présence des ischio-jambiers |
| S2 | Présence des triceps (flexion plantaire) Anesthésie : selle et face postérieure de la cuisse |
| S3 – S5 | Tous les muscles des membres inférieurs sont intacts Atteinte des 3 fonctions sacrées (vésico-sphinctérienne, ano-rectale, génito-sphinctérienne) |

| Évaluation motrice | | Score ASIA | | Identité du patient | |
|--------------------|---|---|--|---------------------------------|--|
| D | G | | | | |
| C2 | | | | | |
| C3 | | | | | |
| C4 | | | | | |
| C5 | | | | | |
| C6 | | | | | |
| C7 | | | | | |
| C8 | | | | | |
| T1 | | | | | |
| T2 | | | | | |
| T3 | | | | | |
| T4 | | | | | |
| T5 | | | | | |
| T6 | | | | | |
| T7 | | | | | |
| T8 | | | | | |
| T9 | | | | | |
| T10 | | | | | |
| T11 | | | | | |
| T12 | | | | | |
| L1 | | | | | |
| L2 | | | | | |
| L3 | | | | | |
| L4 | | | | | |
| L5 | | | | | |
| S1 | | | | | |
| S2 | | | | | |
| S3 | | | | | |
| S4-5 | | | | | |
| | | Date de l'examen | | | |
| | | ----- | | | |
| | | Niveau neurologique* | | | |
| | | Sensitif droite | | <input type="checkbox"/> gauche | |
| | | Moteur droite | | <input type="checkbox"/> gauche | |
| | | *Segment le plus caudal ayant une fonction normale | | | |
| | | <u>Lésion médullaire</u> ** : Complète ou Incomplète | | | |
| | | ** Caractère incomplet défini par une motricité ou une sensibilité du territoire S4-S5 | | | |
| | | <u>Échelle d'anomalie ASIA</u> : A B C D E | | | |
| | | A = complète : aucune motricité ou sensibilité dans le territoire S4-S5 | | | |
| | | B = incomplète : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5 | | | |
| | | C = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3 | | | |
| | | D = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous du niveau a un score ≥ 3 | | | |
| | | E = normale : la sensibilité et la motricité sont normales | | | |
| | | <u>Préservation partielle</u> *** | | | |
| | | Sensitif droite | | <input type="checkbox"/> gauche | |
| | | Moteur droite | | <input type="checkbox"/> gauche | |
| | | *** Extension caudale des segments partiellement invalidés | | | |
| | | <u>Syndrome clinique</u> : | | | |
| | | Centromédullaire <input type="checkbox"/> | | | |
| | | Brown-Sequard <input type="checkbox"/> | | | |
| | | Moelle antérieure <input type="checkbox"/> | | | |
| | | Cône terminal <input type="checkbox"/> | | | |

Évaluation sensitive

| | Toucher | | Piqûre | |
|------|---------|---|--------|---|
| | D | G | D | G |
| C2 | | | | |
| C3 | | | | |
| C4 | | | | |
| C5 | | | | |
| C6 | | | | |
| C7 | | | | |
| C8 | | | | |
| T1 | | | | |
| T2 | | | | |
| T3 | | | | |
| T4 | | | | |
| T5 | | | | |
| T6 | | | | |
| T7 | | | | |
| T8 | | | | |
| T9 | | | | |
| T10 | | | | |
| T11 | | | | |
| T12 | | | | |
| L1 | | | | |
| L2 | | | | |
| L3 | | | | |
| L4 | | | | |
| L5 | | | | |
| S1 | | | | |
| S2 | | | | |
| S3 | | | | |
| S4-5 | | | | |

Score «toucher» : /112
 Score «piqûre» : /112
 Sensibilité anale : oui/nor

0 = absente
 1 = diminuée
 2 = normale
 NT, non testable

Figure 31 - score ASIA (American Spinal Injury Association) [7]

3. Présentation clinique

a. Syndrome complet

Il s'agit d'une atteinte médullaire complète (motricité volontaire, sensibilité consciente), dans les territoires situés au-dessous du niveau de la lésion médullaire.

b. Syndromes incomplets

- **Syndrome centromédullaire**, souvent présent chez les patients ayant un canal rachidien rétréci et victime d'un traumatisme en hyperextension et associant, dans sa forme typique, une diplégie brachiale et une paraparésie des membres inférieurs.
- **Syndrome de l'atteinte antérieure** : par atteinte des faisceaux antérieurs de la moelle, se traduit par une atteinte sévère de la motricité et de la sensibilité thermoalgésique, avec conservation de la sensibilité profonde et épicroitique.
- **Syndrome latéral ou syndrome de Brown-Séquard** : atteinte motrice et atteinte de la sensibilité profonde et tactile épicroitique homolatérale et une atteinte de la sensibilité thermoalgique controlatérale.
- **Syndrome postérieur** : la sensibilité profonde est altérée par atteinte des colonnes postérieures.
- **Syndrome de commotion médullaire** : La définition en est clinique : Interruption médullaire complète récupérant totalement en quelques heures (pas de phase d'automatisme médullaire). La pathogénie en est inconnue. Ce syndrome est possible uniquement en l'absence de solution de continuité, et impose évidemment une grande prudence pronostique en phase aiguë.

c. Syndrome radiculaire :

- **Section radiculaire** : anesthésie, paralysie flasque (avec amyotrophie précoce) et aréflexie dans le territoire de la racine concernée.
- **Compression radiculaire** : atteinte sensitivomotrice variable et douleur caractéristique (trajet, impulsivité)

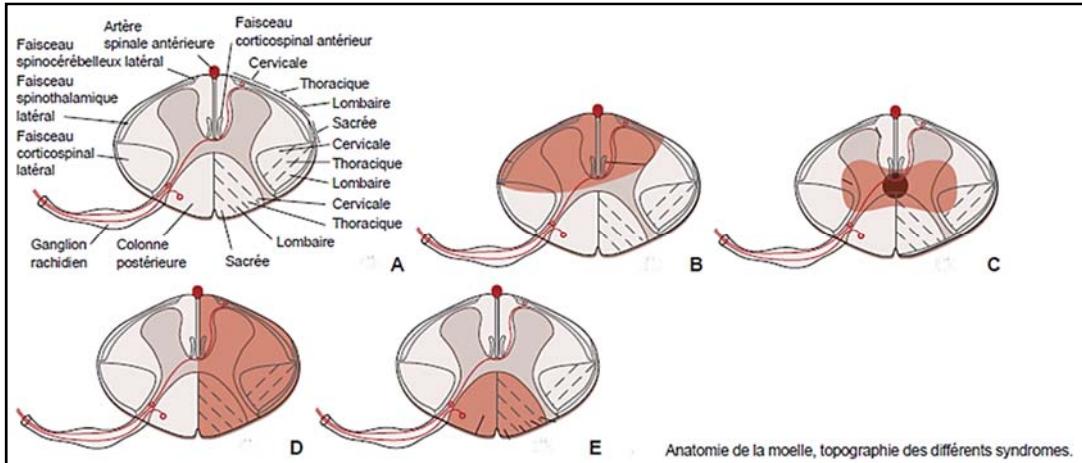


Figure 32 – Les Syndromes médullaires [7]

A- Syndrome complet. B- Syndrome antérieur. C- Syndrome centromédullaire. D- Syndrome latéral. E- Syndrome postérieur.

C. Echelle d'anomalie ASIA ou ASIA Impairement Scale « AIS »

Il permet de classer le blessé médullaire en fonction de son niveau d'atteinte neurologique. Il est représenté conventionnellement par le segment le plus caudal ayant une fonction normale. (Figure 31)

L'échelle d'anomalie ASIA regroupe 5 types d'atteintes médullaires, de « A » à « E » en fonction du score moteur et du score sensitif, mais aussi en fonction de la sensibilité et de la motricité anale :

- A → complète : aucune motricité ou sensibilité dans le territoire S4-S5
- B → incomplète : la sensibilité, mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5
- C → incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3
- D → incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous du niveau a un score ≥ 3
- E = normale : la sensibilité et la motricité sont normales S4 et S5

À la fin de cet examen neurologique, qui sera répété tout au long de l'hospitalisation du patient afin de permettre un suivi et une évaluation continue, sera résumé en Score ASIA, à savoir :

- Score ASIA moteur (droit et gauche)
- Score ASIA sensitif toucher et piqûre (droit et gauche)
- Un niveau neurologique moteur (droit et gauche)
- Un niveau neurologique sensitif (droit et gauche)
- Le type du syndrome médullaire

La conclusion neurologique qui va ressortir et qui va déterminer la gravité et le pronostic de la blessure, sera classé en l'ASIA Impairment Scale AIS ou score d'anomalie ASIA.

IX. Imagerie

A. Radiographies

Malgré l'avènement des nouvelles techniques d'imagerie, comme la tomodensitométrie et l'IRM, les radiographies standard restent un examen de première intention. [64]

Le bilan initial comprend au moins une face et un profil de bonne qualité avec une bonne exposition des charnières occipito-cervicale et cervico-thoracique. Les clichés dynamiques sont contre-indiqués en urgence. [27]

Par contre chez le polytraumatisé, une TDM en urgence est indiquée, la radiographie standard passe au second plan. [64]

B. Scanner

La TDM du rachis cervical a initialement été réservée à l'étude des charnières cervico-occipitale [28], [45] et cervico-thoracique. [115] La TDM est plus sensible que les radiographies chez le polytraumatisé et révèle de nombreuses lésions méconnues. [64], [177]

La TDM devient un examen de première intention chez le polytraumatisé. [25], [202]

C. Imagerie par résonance magnétique

1. Intérêt

L'IRM a provoqué une véritable révolution dans la prise en charge des traumatismes du rachis, elle permet d'explorer le contenu du canal rachidien et des parties molles périvertébrales. Elle permet de poser le diagnostic de compression médullaire, et donc la myélographie devient inutile. Elle devient indiscutable en cas de troubles neurologiques après un traumatisme. Pour le bilan osseux, on préfèrera la radiographie et la TDM, et donc l'IRM devient complémentaire après ces examens [64], [113], [123].

2. Résultats

- Lésions osseuses**

Les lésions corporelles vertébrales vont se traduire par des anomalies de signal de la moelle osseuse, pouvant faire évoquer des fractures, ou des contusions. [64], [161]

- Lésions du segment mobile rachidien**

Les LLA et LLP, ligaments jaunes et ligaments interépineux, sont très bien appréciés sur les coupes sagittales. En cas de rupture, l'IRM permet de visualiser une perte de continuité, un œdème et/ou un hématome périligamentaire. [56], [64]

Les hernies discales post traumatiques sont importantes à diagnostiquer en traumatologie, surtout quand elles sont compressives avec troubles neurologiques, et donc peuvent orienter vers un abord antérieur plutôt que postérieur. [53][56], [64]

- Anomalies canalaires**

Le canal rachidien peut-être réduit de diamètre, responsable donc de compression médullaire et donc de troubles neurologiques, il s'agit d'une urgence diagnostique et donc nécessite un traitement chirurgical de réduction/décompression en urgence. [193]

- Lésions médullaires**

Différents types de lésions de la moelle épinière peuvent être reconnus à l'IRM. [133], [170] Il existe rarement une section médullaire visible à l'IRM et donc signant un très mauvais pronostic surtout en région cervicale haute.

Typiquement, les lésions médullaires se présentent comme une tuméfaction fusiforme de la moelle comportant une zone centrale d'hémorragie et une zone périphérique d'œdème. Le foyer d'hémorragie est généralement situé à l'épicentre du traumatisme, au sein de la substance grise.

L'aspect de ces plages hémorragiques varie en IRM selon l'état de dégradation de l'hémoglobine [64] :

- Iso-intense en T1 et hyper-intense en T2 au stade d'oxyhémoglobine (hyperaigu) ;**

- Iso-intense en T1 et hypo-intense en T2 au stade de désoxyhémoglobine (aigu) ;
- Hypo-rintense en T1 et hypo-intense en T2 au stade de méthémoglobine intracellulaire (subaigu précoce) ;
- Hyper-intense en T1 et hyper-intense en T2 au stade de méthémoglobine intracellulaire (subaigu tardif) ;
- Hypo-intense en T1 et hypo-intense en T2 au stade d'hémosidérine (chronique).

L'identification de foyers hémorragiques médullaires est intéressante, car elle est corrélée au pronostic fonctionnel. Les lésions hémorragiques étendues sont volontiers associées à un déficit neurologique complet [83].

L'œdème au niveau de la moelle épinière apparaît comme une image mal limitée hyper-intense en T2 avec une augmentation du diamètre de la moelle. Il peut s'y associer une hémorragie. Plusieurs travaux expérimentaux et cliniques ont montré qu'on peut distinguer trois types d'aspects : hémorragie prédominante (type I) ; œdème prédominant (type II) ; mixte (type III). Le type I est associé à un déficit neurologique sévère ; le type II est associé à un déficit neurologique régressif. [30]

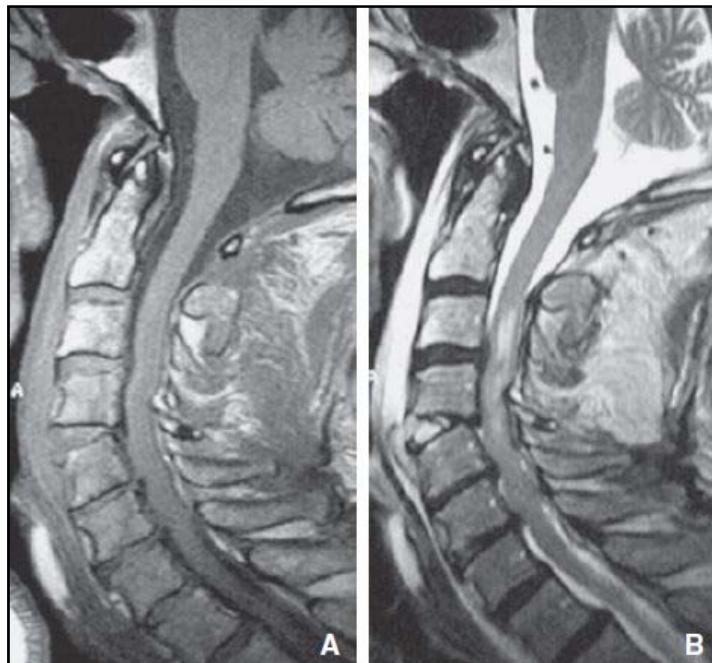


Figure 33 - Traumatisme en hyperextension. [27]
IRM, coupes sagittales T1 (A) et T2 (B) montrant une rupture du LLA, avec hématome prévertébral, déchirure discale et contusion médullaire.





Figure 34 - Lésion des ligaments jaunes. [27]
Patiante victime d'un accident de la route. IRM coupe sagittale T2 montrant une interruption des ligaments jaunes (flèches), artefacts liés à l'ostéosynthèse (astérisque).

D. Autres techniques

1. Explorations myélographiques

Le myéloscanner a été dépassé par l'IRM qui permet presque toujours l'évaluation du cordon médullaire. [37], [64]

2. Explorations vasculaires

L'angio-IRM et surtout l'angioscanner peuvent être réalisés dans le même temps que l'exploration osseuse et nerveuse, au prix d'une injection de produit de contraste. [64]

X. Classifications des traumatismes du rachis cervical inférieur

A. Notion d'instabilité

Une ambiguïté significative reste à définir en ce qui concerne la stabilité clinique. La définition générale la plus largement acceptée de la stabilité de la colonne vertébrale est celle promulguée par White et Panjabi [2].

Elle définit la stabilité comme la capacité de la colonne vertébrale sous les charges physiologiques à résister au déplacement des structures vertébrales afin de ne pas endommager ni irriter les éléments neuraux, le développement d'une déformation ou d'une douleur incapacitante due à un changement structurel. La stabilité du rachis est réalisée par l'interaction de trois sous-systèmes :

- Les vertèbres fournissant un cadre osseux ;
- Les disques intervertébraux, articulations apophysaires et ligaments fournissant un soutien dynamique ;
- La coordination de la réponse musculaire par le contrôle neural.

La colonne vertébrale peut être rendue instable lorsqu'une perturbation anatomique suffisante par un traumatisme ou une maladie perturbe gravement l'un ou l'autre de ces systèmes. Par conséquent, lors de l'évaluation d'un patient blessé, il faut évaluer trois types principaux de stabilité :

- Stabilité mécanique immédiate
- Stabilité neurologique
- Potentiel de stabilité à long terme

Une appréciation des aspects anatomiques et biomécaniques sous-jacents de la colonne vertébrale normale et lésée est une condition préalable à l'évaluation efficace de la stabilité, car ce sont les fondements de l'interprétation, de la prise en charge et du pronostic des traumatismes.

B. Systèmes de classifications

Les systèmes de classification des traumatismes sont importants pour la prise en charge des patients afin de fournir un modèle pour une communication effective et efficace entre soignants, ainsi que de classer les types de blessures de groupe précis pour les études de recherche comparative. La classification des lésions du rachis cervical inférieur est particulièrement importante, car les erreurs de communications et les différences mineures de blessure peuvent changer le pronostic et le traitement de façon drastique. Les systèmes de classification peuvent également fournir des traitements suggérés pour des scénarios de traumatismes particuliers.

Bien que de nombreux systèmes de classification aient été développés au fil du temps [138] [112] [104] [237] [168] [236], il n'existe actuellement aucun système de classification des traumatismes du rachis cervical inférieur largement accepté.

Van Middendorp et col [159], ont décrit les caractéristiques d'un système de classification idéal, dont certaines comprennent des définitions claires sans ambiguïté, all-inclusive et mutuellement exclusive, et étant direct.

La première description des lésions du rachis par Böhler, qui a décrit les mécanismes des traumatismes basés sur des radiographies uniquement [138].

C. Système de classification d'Allen-Fergusson

En 1982, Ben Allen et al ont publié la classification « Fractures fermées et indirectes et luxations de la colonne vertébrale cervicale inférieure » [10]. Ils émettent l'hypothèse que le mécanisme qui provoque une blessure peut être déduit à partir des résultats radiographiques, que les blessures similaires sont causées par des mécanismes de blessures similaires et que dans chaque classe de blessures "il y a un spectre de blessure qui va de trivial à sévère" [10]. Basés sur l'étude de 165 cas, ils optent pour une classification mécanistique et dans chaque groupe ils classent chaque lésion en un sous-groupe (stade) basé sur la pathologie radiographique.

- Flexion-compression (5 Stades)
- Compression verticale (3 Stades)
- Flexion distractrice (4 Stades)
- Extension-compression (5 Stades)
- Extension distractrice (2 Stades)
- Flexion latérale (2 étages)

D. Système de classification de Harris

En 1986, Harris et al publiaient “A Practical Classification of Acute Cervical Spine Injuries” [104]. Leur but été d’élaborer un système de classification utile et compréhensive, qui était «simple, pragmatique, compréhensible et a une application égale pour le clinicien et le théoricien » [104]. La classification comporte 7 catégories principales avec sous-groupes :

- Flexion (5 sous-groupes)
- Flexion-rotation
- Extension-rotation
- Compression verticale (2 sous-groupes)
- Hyper-extension (7 sous-groupes)
- Flexion latérale
- Mécanismes divers ou imprécis (2 sous-groupes)

E. Le système SLIC (The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System)

Vaccaro et al ont publié en 2007 le Système de classification des lésions du rachis cervical inférieur, fondé à la fois sur l'opinion des experts et sur une revue de la littérature. En outre, les auteurs ont comparé le nouveau système de classification SLIC à la classification d'Allen et de Harris.

Le système SLIC se compose de 3 composantes principales :

- La morphologie des lésions,
- Le complexe disco-ligamentaire (DLC)

- Et le statut neurologique

Tableau 4 - SLIC (The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System) [237]

| Classification SLIC | | |
|--|--------------------------------|--------|
| Mécanisme/morphologie | Sans anomalie | 0 |
| | Compression | 1 |
| | Burst (Eclatement) | +1 = 2 |
| | Distraction | 3 |
| Complexe disco-ligamentaire DLC | Flexion/extension/Translation | 4 |
| | Intact | 0 |
| | Indéterminé | 1 |
| | Lésé | 2 |
| Statut neurologique | Sans déficit | 0 |
| | Blessure radiculaire | 1 |
| | Atteinte médullaire complète | 2 |
| | Atteinte médullaire incomplète | 3 |
| | Compression en cours | +1 |

La somme des 3 classes dans l'échelle SLIC est alors calculée et les facteurs de confusion 2 sont notés.

Si le score est compris entre 1 et 3, le patient ne reçoit pas de chirurgie, tandis que pour un score ≥ 5 la chirurgie est recommandée [237].

F. Cervical Spine Injury Severity Score (CSISS)

Le « Cervical Spine Injury Severity Score» a été publié par Moore et al en 2006 [168]. Ils proposent un système de notation où 0 à 5 points sont donnés en fonction de la sévérité de la lésion ostéo-ligamentaire dans les 4 piliers vertébraux (antérieur, postérieur, pilier droit, pilier gauche), 0 n'étant pas de lésion et 5 étant la pire lésion possible dans le pilier concerné. Les 4 piliers vertébraux définis incluent les structures suivantes [12] :

- **Pilier antérieur** : corps vertébral, disque vertébral, ligaments longitudinaux antérieur et postérieur, processus uncinés et processus transversaux
- **Pilier postérieur** : le processus épineux, les lames, le complexe ligamentaire postérieur et le ligament jaune
- **Piliers latéraux** : masses latérales, pédicules, processus transversaux, processus articulaires supérieurs et inférieurs et les capsules facettaires.

Les scores sont ensuite additionnés à un score final de gravité du traumatisme.

G. Système de classification d'Argenson

La classification proposée par Argenson fait suite aux travaux précédents de Allen [10], Harris [104] et Senegas (24). Il distingue :

1. Lésions en compression (type A)
 - a. Tassement du plateau supérieur (type A1)
 - b. Fracture comminutive (type A2)
 - c. Lésion de type « Tear-drop » (type A3)

Il s'agit d'une lésion consécutive à un mécanisme de compression associé à une flexion tel qu'on l'observe lors des chocs en eau peu profonde. Elle est caractérisée par le détachement du coin antéro-inférieur du corps et qui lui donne ce nom (Tear-drop), mais il existe d'autres lésions caractéristiques :

- Présence d'une fracture sagittale du corps ;
- Rétrolisthésis avec réduction canalaire, pouvant être à l'origine de troubles neurologiques médullaires ;
- Fracture des deux lames.
- Cette lésion touche le plus souvent C5 (60 %) et un peu moins souvent C6 (23 %), mais jamais C7.

[47]

- Il existe une atteinte osseuse et discoligamentaire, avec toujours déchirure du disque inférieur, mais atteinte ou non du disque supérieur.



Figure 35 - Tear drop fracture de C5. [27]
Coupes scanner axiale (A) et sagit-tale (B) montrant les deux traits de fracture frontale et sagittale et le fragment osseux antérieur caractéristique.

2. Lésions en flexion (type B)

a. Entorse bénigne (type B1)

Elle survient généralement après un traumatisme dit en coup du lapin (whiplash injury). Il s'agit d'un diagnostic d'élimination après la réalisation de clichés dynamiques, en général deux semaines après le traumatisme, en attendant le traumatisé a été immobilisé par un collier cervical souple.

b. Entorse grave (type B2)

On la suspecte s'il existe un pincement discal sur a radiographie de profil ainsi que la mise en évidence d'articulaire non alignées. Les clichés dynamiques poseront le diagnostic et donc on retrouve les critères suivants :

- Écart anormal des épineuses ;
- Découverte de plus de 50 % de l'articulaire inférieure ;
- Recul du mur postérieur de 3 mm ;
- Ou angle de plus de 15° entre les deux lignes parallèles au mur postérieur des vertèbres concernées.

L'association de ces signes confirme la rupture de l'ensemble des éléments du segment mobile de Junghans, ça savoir : les ligaments surépineux, interépineux, les capsules articulaires, le LLP et postérieure du disque. Seul le LLA n'est pas rompu.

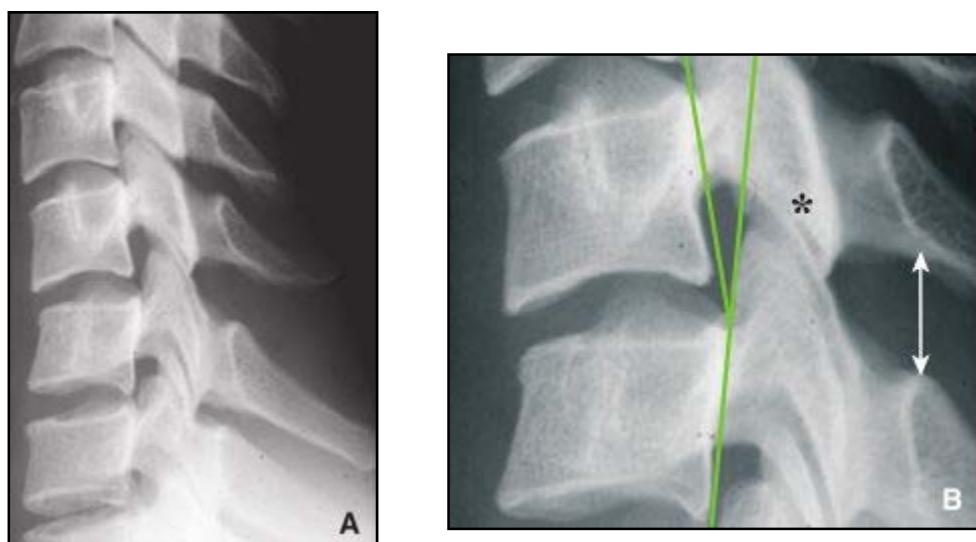


Figure 36 - Entorse cervicale grave (A, B). [27]
Écart interépineux (flèche) ; subluxation des processus articulaires (astérisque) ; angulation et anté- listhésis (lignes vertes).

c. Luxation biarticulaire (type B3)

C'est une lésion qui est souvent associée à un syndrome médullaire complet, le mécanisme est le même que celui de l'entorse grave.



Figure 37 - Luxations cervicales bilatérales. [27]
Radiographies de profil montrant les luxations en C4/C5 (A) et en C5/C6 (B).

3. Lésions en extension (type C)

a. Entorses en extension (type C1)

Quand il n'y a pas de fracture associée, elles sont dites bénignes. L'IRM retrouve dans certains cas une rupture du LLA. On peut aussi observer une lésion de type Tear drop inversé. Les épineuses qui sont en surcharge postérieure peuvent aussi se fracturer. [47]

b. Traumatismes en extension sur canal cervical étroit (type C2)

Assez fréquents, touchent des sujets âgés et arthrosiques. Le tableau typique est celui d'un syndrome de Khan et Schneider avec tétraplégie incomplète touchant surtout la motricité des extrémités des membres supérieurs. Les radiographies simples montrent un canal étroit avec indice de Torg souvent au-dessous de 0,8. L'IRM médullaire objective un CCE et parfois un hypersignal médullaire. [47]

c. Fractures-luxations complexes (type C3)

Elles sont consécutives à des mécanismes en extension avec des déplacements secondaires en flexion.

4. Lésions en rotation (type D)

Elles sont caractérisées par l'atteinte unilatérale des massifs articulaires, avec parfois compression radiculaire et exceptionnellement compression médullaire. Le disque intervertébral est toujours atteint, car déchiré par le mouvement de rotation. [47]

a. Luxations uniarticulaires (type D1)

Reconnues sur les radiographies de profils avec l'image typique en « bonnet d'âne » signant la rotation et donc l'image de double contour des deux articulaires de la même vertèbre ; la TDM est un complément indispensable.

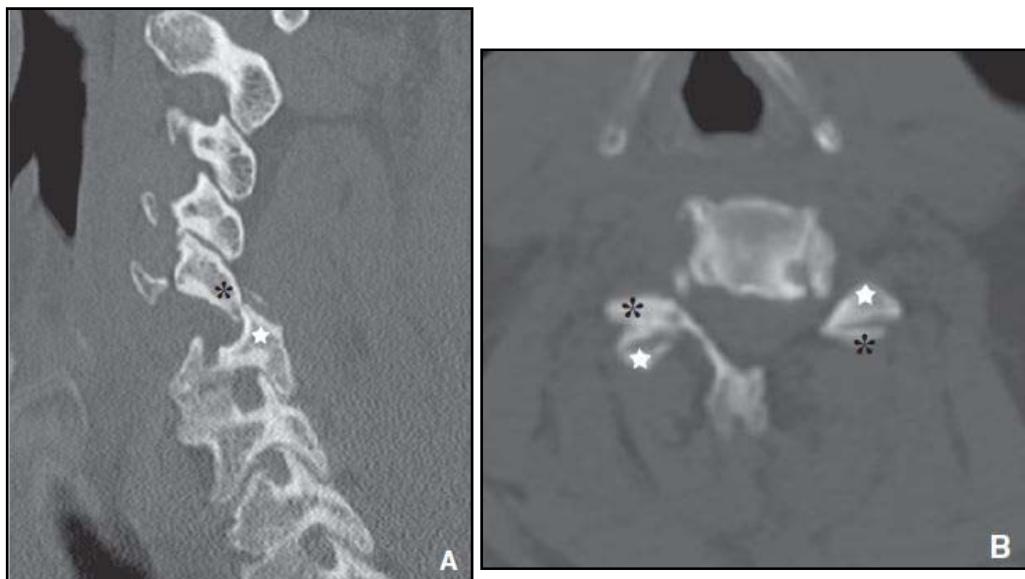


Figure 38 - Luxation cervicale unilatérale droite. [27]
Scanner, coupe sagittale (A) et axiale (B). Perte de l'alignement des articulations postérieures, avec passage de l'articulaire supérieure (astérisques noirs) en avant de l'articulaire inférieure (étoiles).

b. Fractures uniarticulaires (type D2)

Visible sur les radiographies de profil avec un décalage modéré et sur le scanner, une triple image en coupe axiale.

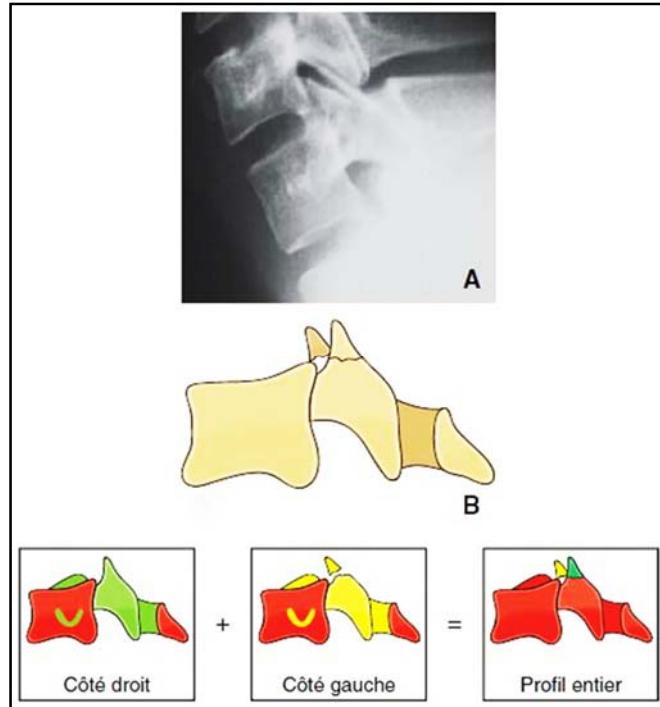


Figure 39 - Signe du « bonnet d'âne » [27]
Témoignant d'une fracture unilatérale déplacée du processus articulaire supérieur de C7 (A à C).

c. Fractures-séparation du massif articulaire (type D3)



Figure 40 - Fracture–avulsion du massif articulaire de C4. [27]
Coupe axiale au scanner montrant le trait de fracture (flèche)

5. Hernie discale traumatique (type E)

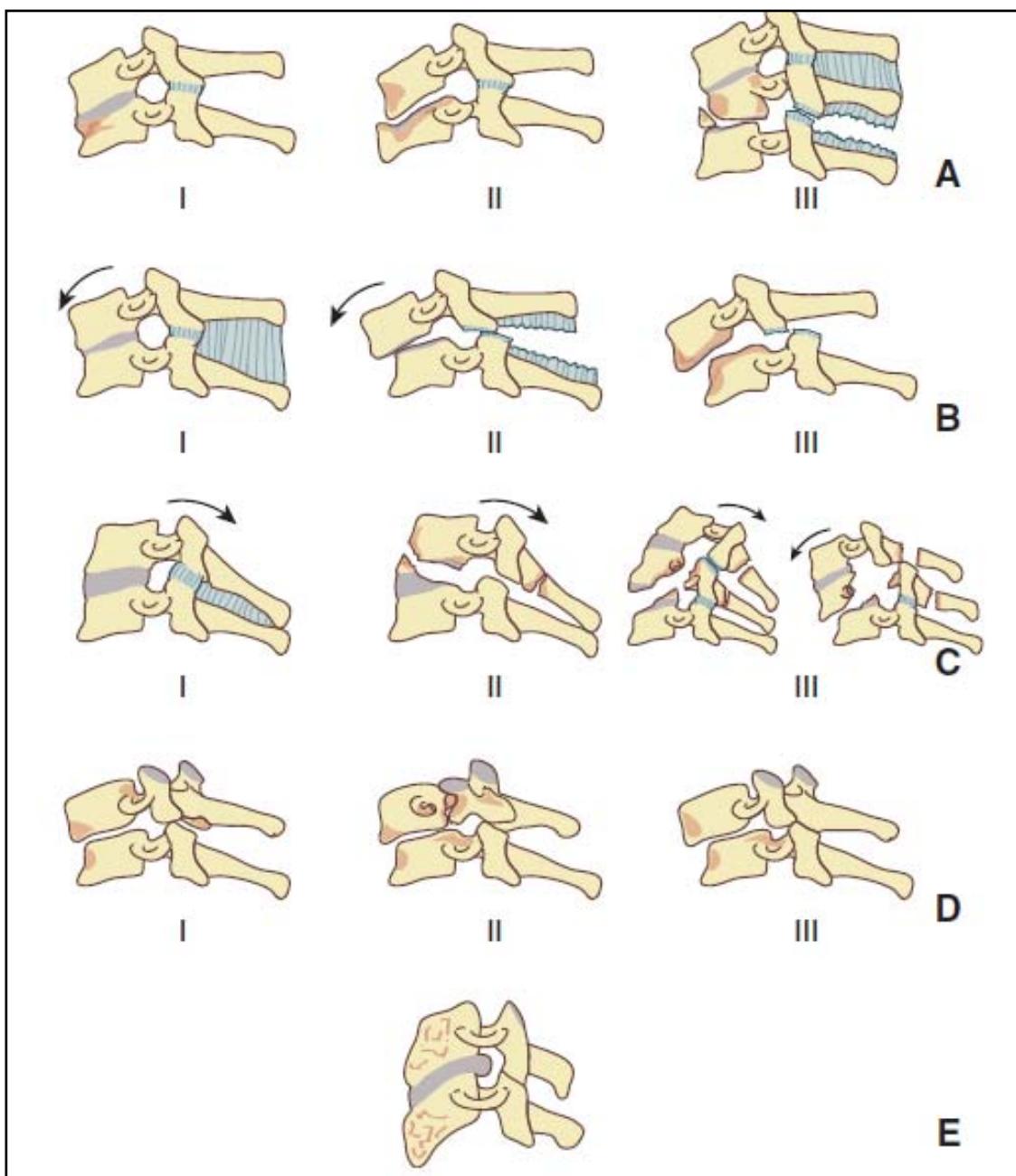


Figure 41 – Système de classification d'Argenson [98]
A. Compression. B. Flexion. C. Extension. D. Rotation. E. Hernie.

H. Système de classification d'AOSpine

Actuellement, le système de classification des traumatismes du rachis cervical inférieur d'AOSpine (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) est en cours d'élaboration et de validation [236]. L'objectif dans le développement de ce système de classification est d'avoir un système global qui soit simple et universellement accepté. Les descriptions de blessures suivantes sont basées sur le nouveau système AOSpine. La classification décrit les blessures selon les quatre critères suivants :

- La morphologie des blessures (A – B – C)
- Les facettes (F1 – F2 – F3 – F4 +/- BL)
- Le statut neurologique (N0 – N1 – N2 – N3 – N4 – NX)
- Et la présence de modificateurs spécifiques (M1 – M2 – M3 – M4)

A. La morphologie des blessures

1. Lésions par compression (A)

Les lésions par compression du rachis cervical inférieur entraînent une atteinte des structures antérieures (corps vertébral) et/ou des structures postérieures (apophyses épineuses, lames), avec des degrés de gravité variables :

- **Sous-type A0** : lors des lésions relativement mineures entraînent des fractures lamaires isolées ou des processus épineux.
- **Sous-type A1** : Les fractures de compression ne s'étendent pas au mur postérieur du corps vertébral et peuvent impliquer un seul plateau vertébral.
- **Sous-type A2** : Les fractures de compression ne s'étendent pas au mur postérieur du corps vertébral et peuvent impliquer les deux plateaux lorsqu'il existe une fracture coronale ou un tassement.
- **Sous-type A3** : Les fractures par éclatement « ou BURST Fracture » s'étendent au mur postérieur du corps vertébral et peuvent impliquer un seul plateau vertébral.
- **Sous-type A4** : Les fractures par éclatement « ou BURST Fracture » s'étendent au mur postérieur du corps vertébral et peuvent impliquer les deux plateaux vertébraux avec recul du mur postérieur dans le canal vertébral à degrés variables.

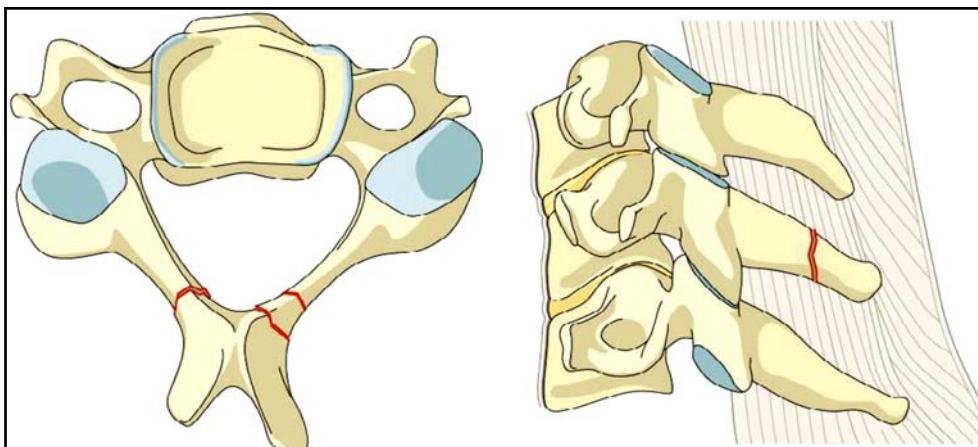


Figure 42 - Sous-type A0 - AO Spine Classification [236]

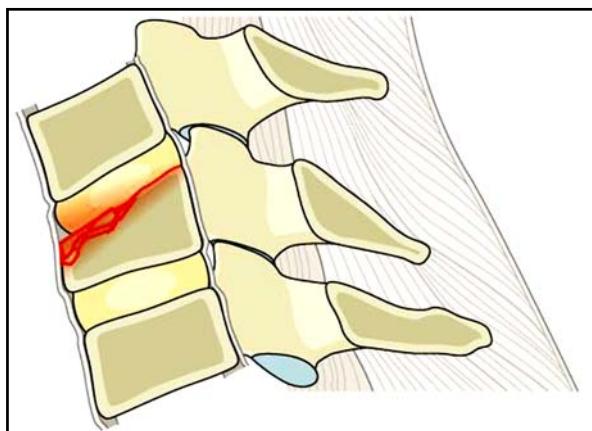


Figure 43 - Sous-type A1 - AO Spine Classification [236]

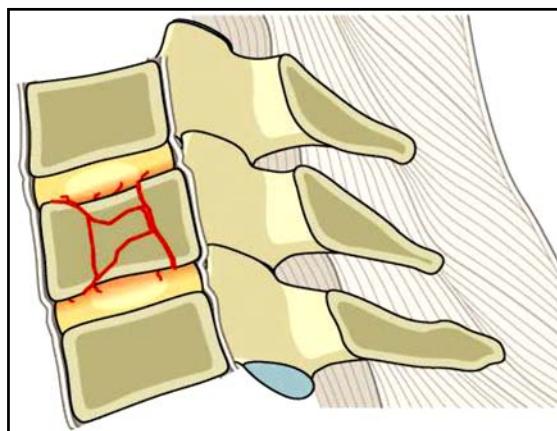


Figure 44 - Sous-type A2 - AO Spine Classification [236]

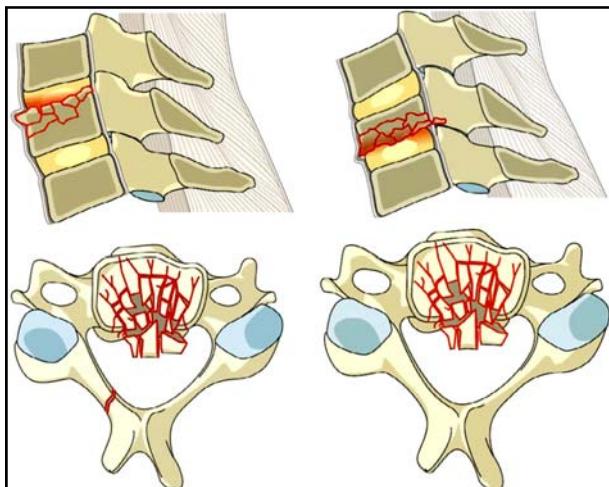


Figure 45 - Sous-type A3 - AO Spine Classification [236]

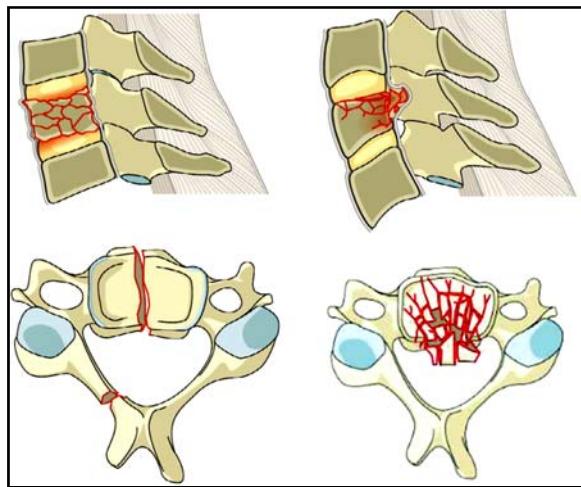


Figure 46 - Sous-type A4 - AO Spine Classification [236]

2. Lésions de la bande de tension « Tension Band Injuries » (B)

Ce type de lésions impliquent soit une flexion/distraction soit une extension/distraction.

- **Sous-type B1-B2 :** Une lésion de la bande de tension postérieure qui implique uniquement les structures osseuses « B1 » ou les structures capsulaires et ligamentaires, ou les deux « B2 ».
- **Sous-type B3 :** Ces blessures peuvent également s'étendre dans les structures antérieures telles que le disque intervertébral, ces lésions de la bande de tension antérieure impliquent une rupture physique du corps ou du disque intervertébral, avec une charnière postérieure intacte qui empêche le déplacement complet.
- En cas de déplacement, ces blessures seraient classées comme des blessures par translation.

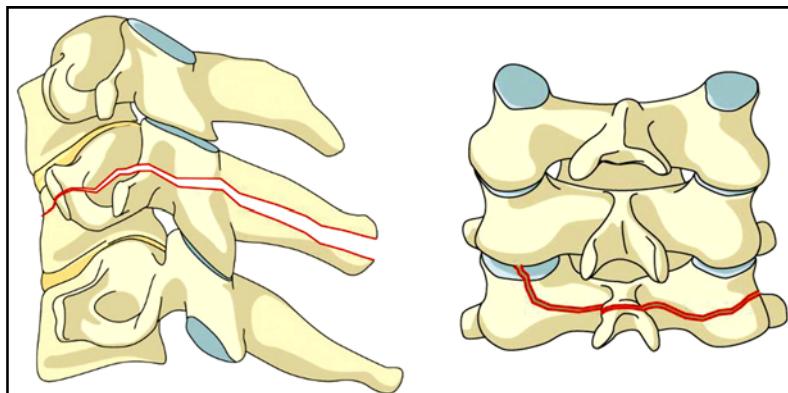


Figure 48 - Sous-type B1 - AO Spine Classification [236]

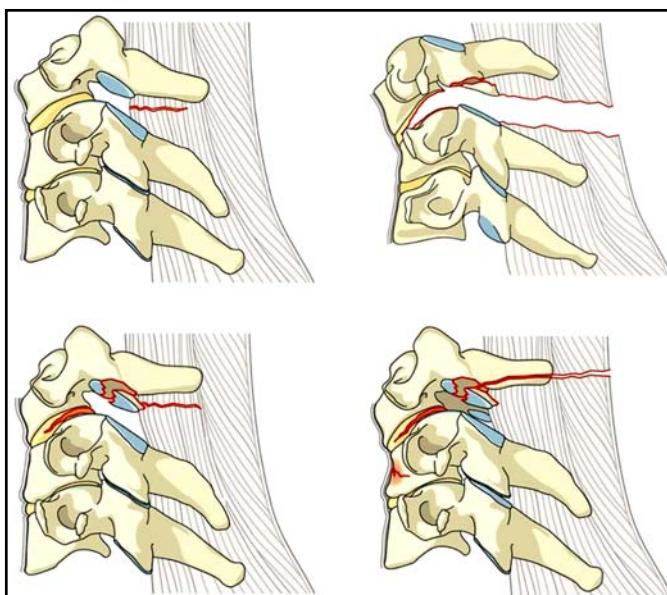


Figure 47 - Sous-type B2 - AO Spine Classification [236]

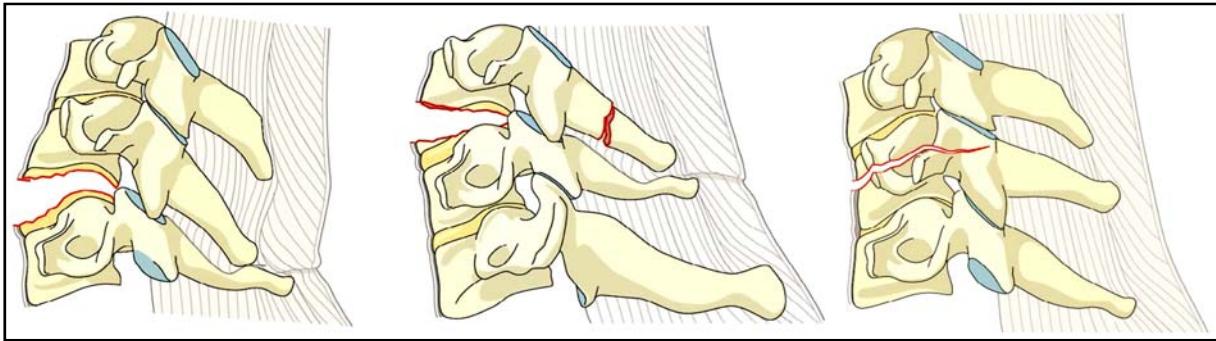


Figure 49 - Sous-type B3 - AO Spine Classification [236]

3. Lésions de translation (C)

Les lésions par translation résultent du déplacement d'un corps vertébral par rapport à un autre. Cela peut se produire dans n'importe quelle direction (antérieure, postérieure, latérale, verticale), et peut souvent associer une fracture corporéale ou d'un des éléments postérieurs. Ce sont des blessures très instables.

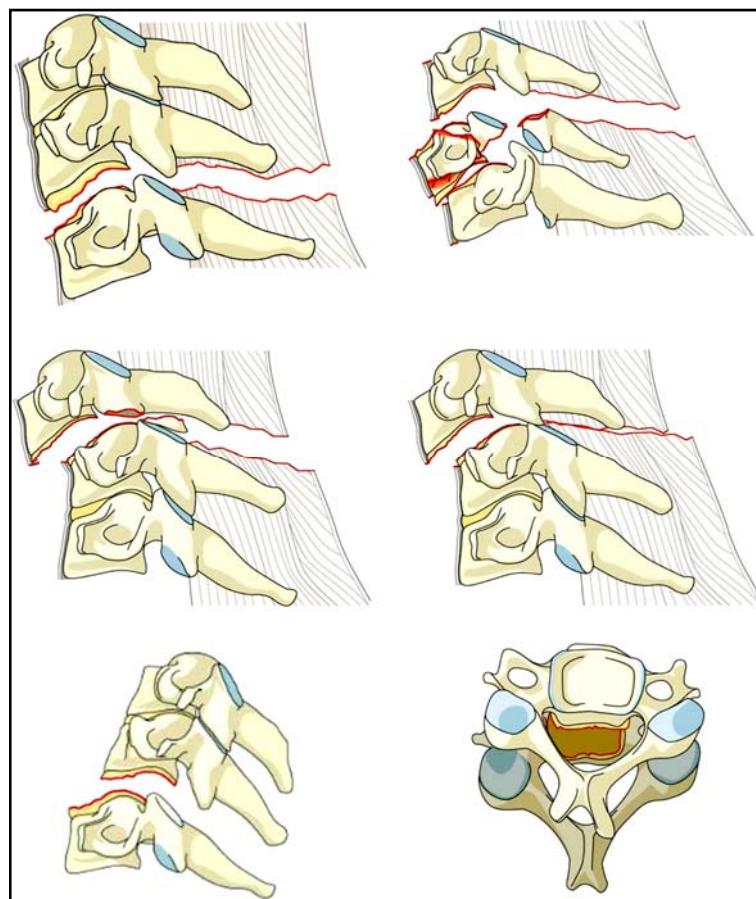


Figure 50 - Sous-type C - AO Spine Classification [236]

B. Lésions des facettes articulaires (F)

L'intégrité du complexe articulaire facettaire est un déterminant important de la stabilité du rachis cervical sous-axial.

S'il y a plusieurs blessures à la même facette (par exemple, une petite fracture et une luxation), seul le niveau de blessure le plus élevé est classé (dislocation). Si les deux facettes de la même vertèbre sont blessées, la blessure par facette droite est répertoriée avant la blessure du côté gauche si les blessures sont des sous-catégories différentes. Le modificateur « Bilatéral » (BL) est utilisé si les deux facettes ont le même type de blessure. Si seules les blessures par facette sont identifiées (pas de blessures A, B ou C), elles sont classées en premier après le niveau de blessure.

- **Sous-type F1** : fractures facettaire mineures non déplacées. (Facettes supérieures ou inférieures): fragment < 1 cm, masse latérale < 40%.
- **Sous-type F2** : fractures facettaire déplacées, avec potentiel d'instabilité (facettes supérieures ou inférieures) : fragment > 1 cm, >40% de masse latérale ou déplacée.
- **Sous-type F3** : fractures latérales flottantes
- **Sous-type F4** : Des degrés variables de subluxations ou de dislocations de facettes.

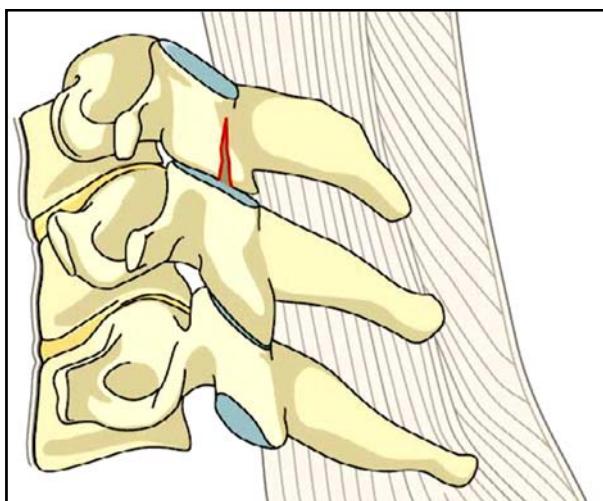


Figure 51 - Sous-type F1 - AO Spine Classification [236]

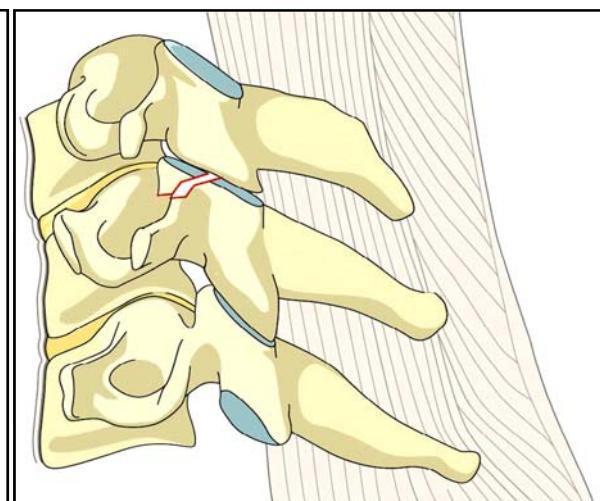


Figure 52 - Sous-type F2 - AO Spine Classification [236]

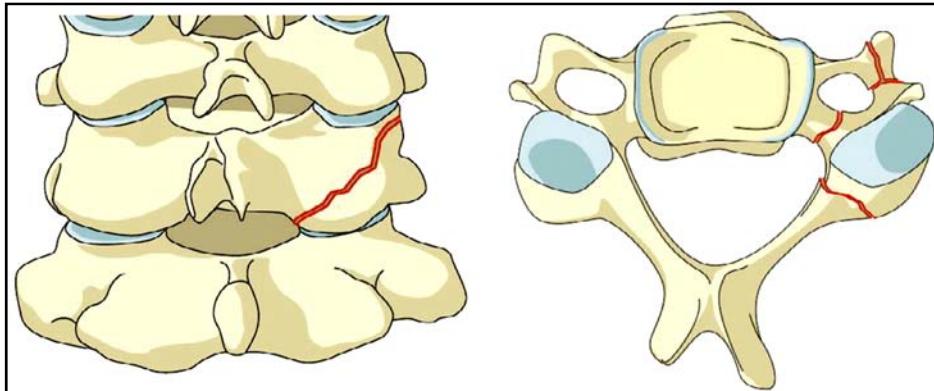


Figure 54 - Sous-type F3 - AO Spine Classification [236]

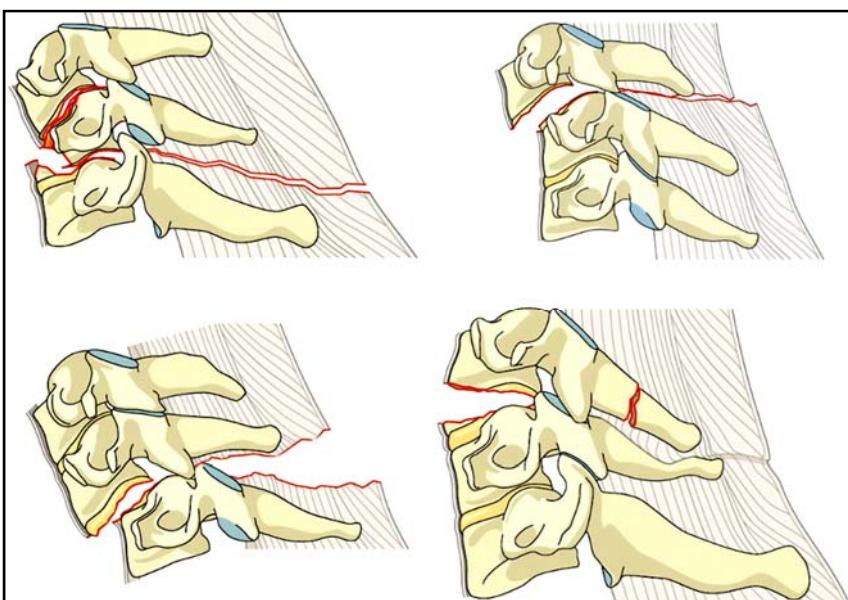


Figure 53 - Sous-type F4 - AO Spine Classification [236]

- **BL** : Modificateur bilatéral utilisé lorsque le même type de blessure par facette est observé bilatéralement sur la même vertèbre.

Pour les patients présentant des fractures unilatérales de facettes, la stabilité peut être prédite en fonction du pourcentage de masse latérale impliquée, mesurée à la tomodensitométrie. Dans une étude portant sur 24 patients atteints de 26 fractures unilatérales de facettes, Spector et ses collègues ont constaté un risque accru d'échec du traitement non opératoire si la fracture impliquait plus de 40% de la hauteur de la masse latérale intacte ou une hauteur absolue supérieure à 1 cm [223].

Le complexe ligamentaire postérieur CLP est couramment blessé à des degrés divers avec des blessures de type distractif. Cela comprend les lésions des ligaments supra-épineux et interspinieux, ainsi que les

capsules facetaires.

L'intégrité de la capsule facettaire peut différencier les blessures mineures des blessures avec instabilité importante Cependant, la détermination de l'étendue de la blessure du complexe ligamentaire postérieur basé sur l'IRM seule s'est révélée incohérente et l'IRM ne doit pas être utilisée seule pour déterminer le traitement [181].

C. Statut Neurologique

Le statut neurologique est classé en six parties :

- N0 : Aucun déficit neurologique
- N1 : Déficit neurologique transitoire qui a été complètement résolu au moment de l'examen clinique (habituellement dans les 24 heures suivant la blessure)
- N2 : Radiculopathie
- N3 : Atteinte médullaire incomplète
- N4 : Atteinte médullaire complète
- N5 : indéterminé
- « + » est ajoutée si compression médullaire en cours,

D. Modificateurs spécifiques

Des modificateurs supplémentaires ont été ajoutés pour décrire des conditions uniques intéressant la prise de décision clinique :

- M1 - Traumatisme du complexe capsulo-ligamentaire postérieur sans interruption complète : ce modificateur désigne les blessures, qui peuvent sembler stables d'un point de vue osseux.
- M2 - Hernie discale traumatique compressive.
- M3 : Traumatisme sur rachis pathologique (SA – OLF – OPPL...).
- M4 - Signes de lésion de l'artère vertébrale.

AOSpine Subaxial Classification System

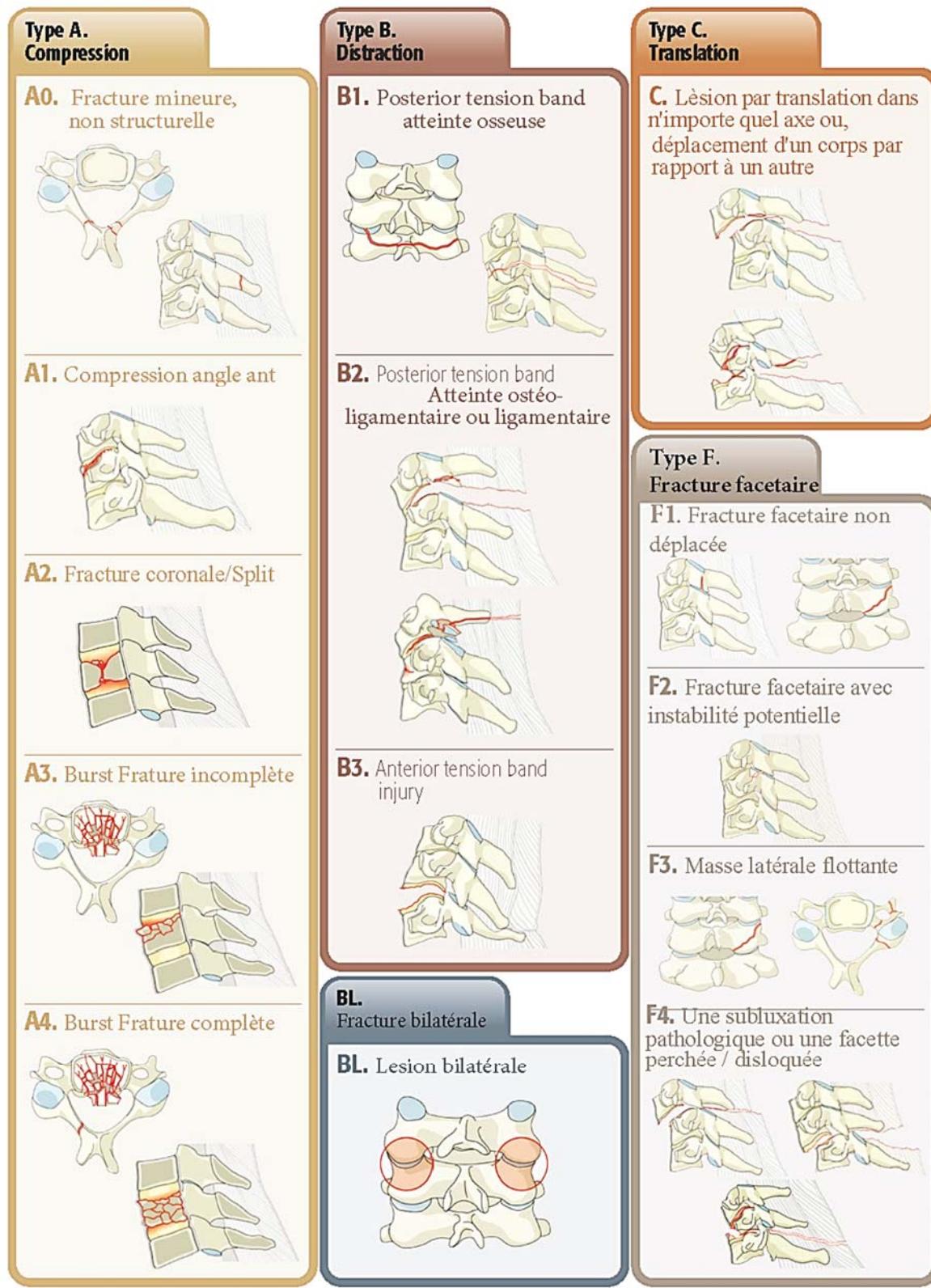


Figure 55 - Système de classification d'AOSpine [236]

3. Algorithme pour la Classification biomécanique

AOSpine Subaxial Classification System

Algorithme pour la Classification biomécanique

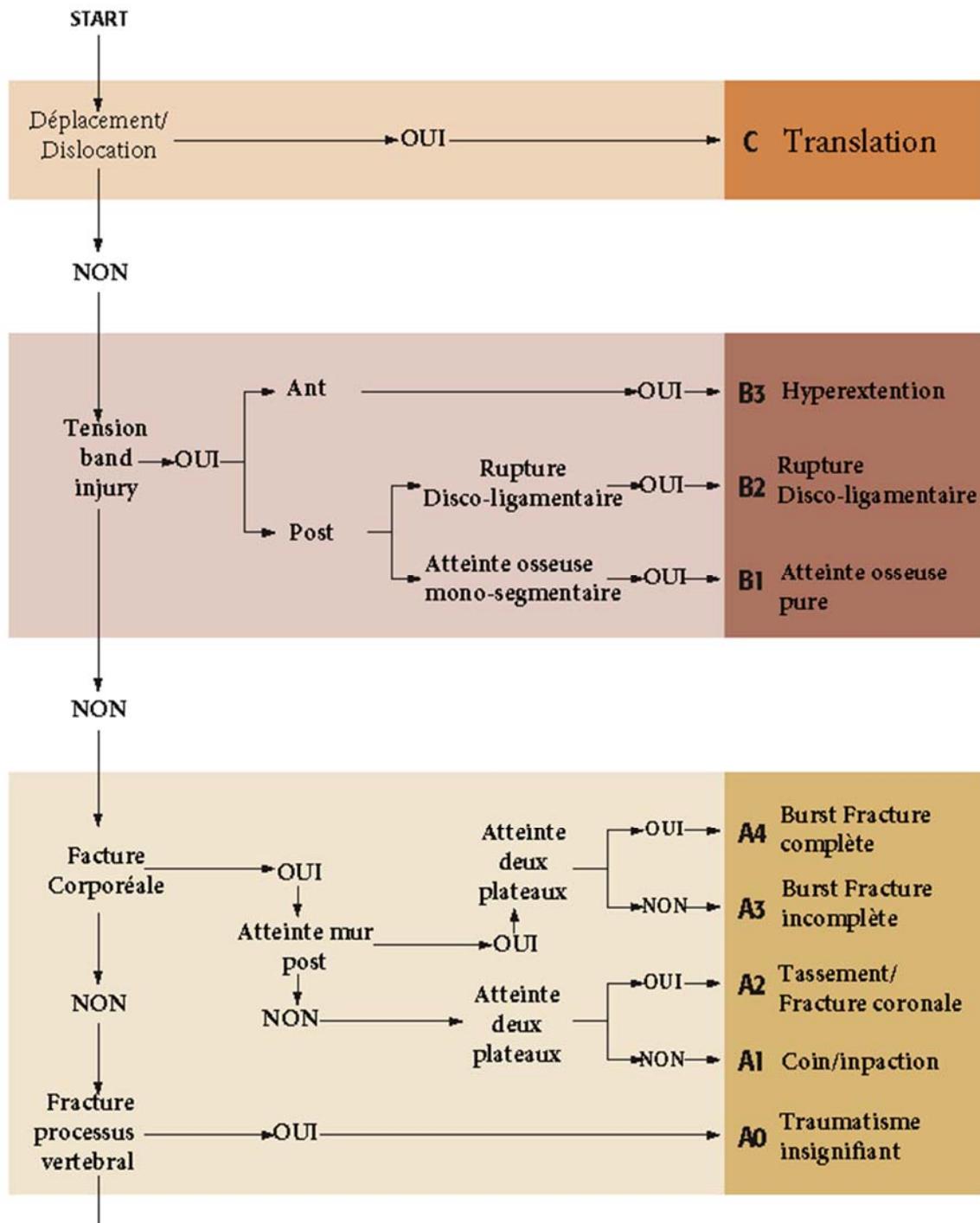


Figure 56 - Algorithme pour la Classification biomécanique [236]

XI. Prise en charge des patients avec traumatisme vertébro-médullaire

A. Période extrahospitalière

La prise en charge médicale extrahospitalière est primordiale, car c'est là où le traumatisme du rachis est évoqué, l'évaluation neurologique est pratiquée et l'éventuel retentissement cardiorespiratoire est recherché et corrigé, elle permet aussi de décider de l'orientation du blessé, le premier examen médical neurologique permet par la suite de suivre l'évolution.

Le diagnostic de TVM doit être évoqué et recherché chez tous les blessés graves avant d'arriver en a l'hôpital, en particulier au décours des accidents à haute cinétique. Chez un patient inconscient, le TVM est envisagé jusqu'à preuve du contraire. La mise en évidence d'une hypotension artérielle isolée, d'une bradycardie, d'un priapisme ou d'une bânce anale sont des éléments très évocateurs [213].

1. Immobilisation du blessé

Tout patient chez qui on suspecte une atteinte rachidienne ou médullaire doit bénéficier d'une immobilisation stricte du rachis pendant toute la durée de la prise en charge extrahospitalière.

2. Évaluation préhospitalière

Sans retarder la prise en charge, l'examen neurologique doit être complet et reproductible : outre l'examen de l'état de conscience (Glasgow Coma Scale), des pupilles, des réflexes ostéotendineux et cutanée plantaire, il doit être fait sur le principe du score ASIA. L'horaire et les résultats de l'examen doivent être notés et transmis à l'équipe médicale hospitalière. [213]

L'évaluation de la fonction respiratoire est impérative. Si l'atteinte médullaire cervicale est haute, elle est souvent à l'origine d'une détresse respiratoire précoce, les autres niveaux lésionnels peuvent s'accompagner d'une insuffisance respiratoire retardée au travers du déficit neurologique et des lésions associées.

Le maintien d'une pression artérielle dite optimale est recommandé. Parfois la détresse respiratoire nécessite une ventilation assistée.

3. Orientation du blessé

L'orientation du blessé doit s'effectuer rapidement, quand ce dernier présente un traumatisme rachidien cervical avec atteinte médullaire suspectée ou avérée, vers un centre spécialisé.

B. Période hospitalière

1. Interrogatoire

Celui-ci doit noter :

- L'heure et la date de survenue de l'accident
- Les circonstances de survenue (accident de la route, du travail, chute de sa hauteur)
- Le mécanisme du traumatisme qui est important à connaître puisqu'il conditionne le type anatomique de la lésion et donc la conduite à tenir.
- Enfin il faut noter les signes neurologiques au ramassage et à l'arrivée à l'hôpital, leur présence ou leur absence, ceci permet de mettre en évidence une aggravation secondaire.

2. Bilan initial

Un bilan initial dans la structure hospitalière d'accueil est fait d'évaluation cardio-respiratoire et d'éliminer une indication chirurgicale en urgence avant de faire l'imagerie et le transfert éventuel vers centre de référence. La radiographie du rachis, du thorax et du bassin et l'échographie abdomino-pelvienne sont réalisées en première intention.

3. Immobilisation du blessé

Une cause potentielle de lésion secondaire suite à TVM est un traumatisme mécanique accidentel causé par la manipulation d'un rachis instable. Par conséquent, les patients à risque raisonnable de lésions instables du rachis doivent être manipulés et traités avec précautions et ont leur rachis immobilisé jusqu'à l'arrivée dans un établissement de soins de santé. La combinaison d'un collier cervical rigide

correctement ajusté et de blocs de soutien sur un panneau rigide est efficace pour obtenir une immobilisation sûre de la colonne vertébrale pour le transport [239]. L'immobilisation des patients sur un panneau pendant des périodes de temps prolongées peut cependant provoquer des ulcères sacrés et occipitaux [104], ainsi que la douleur ischémique et l'inconfort [136].

4. Évaluation neurologique

L'évaluation neurologique d'un blessé présentant un TVM est obtenue en utilisant le score ASIA. Il doit être comparé à l'examen initial lors du ramassage. Il doit être obtenu dans la mesure du possible avant l'induction d'une anesthésie générale.

5. La TDM rachidienne

C'est l'examen de référence :

- Lorsque l'examen clinique ne permet pas d'éliminer une lésion vertébromédullaire ;
- Lorsqu'il existe un haut risque de lésion rachidienne : traumatisme crânien, déficit neurologique attribuable à une lésion médullaire ou radiculaire, fractures multiples ;
- Chez le patient polytraumatisé.

6. L'IRM vertébro-médullaire

Elle est indiquée en cas de :

- Lésion médullaire probable sans anomalie radiologique (SCIWORA, Spinal Cord Injury WithOut Radiological Abnormalities) : hernie discale, hématome extradural, contusion médullaire ;
- Déficit neurologique avec cervicarthrose et/ou canal spinal étroit sans lésion osseuse de nature traumatique ;

XII. Traitement médical

A. Unité de soins intensifs

Les patients qui ont subi un TVM cervical doivent être stabilisés et surveillés dans une unité de soins intensifs (USI) pendant les 7 à 14 premiers jours, au cours desquels les patients sont particulièrement sensibles à une blessure secondaire [203]. La durée médiane de séjour en USI aux États-Unis après TVM est de 11 jours, et est plus longue chez les patients atteints de lésions neurologiques complètes [85]. En accord avec les lignes directrices de l'Advanced Trauma Life Support, l'évaluation initiale des patients traumatisés devrait se concentrer sur la sécurisation des voies respiratoires, le soutien ventilatoire et l'hémodynamique circulatoire [48].

1. Effets de la lésion de la moelle épinière sur la fonction respiratoire

Les patients avec un traumatisme médullaire cervical aigu, en particulier ceux avec une lésion cervicale complète, rencontrent un ensemble unique de défis de ventilation. En fonction du niveau de lésion, les patients peuvent subir une interruption de l'innervation phrénique (C3-5), intercostale (T1-11) ou abdominale (T12-L1).

Dans le scénario le plus sévère, une interruption complète du nerf phrénique entraîne une paralysie du diaphragme et une apnée ; si le patient ne reçoit pas de ventilation assistée en quelques minutes en pré-hospitalier. Si le patient ne reçoit pas de ventilation assistée en quelques minutes dans le préhospitalier, ce type de blessure est habituellement mortel. La perte de l'innervation du muscle intercostal avec préservation du diaphragme (un scénario commun avec des lésions à C5-6 ou C6-7) permet un volume courant adéquat et des respirations au repos, mais une incapacité à prendre des respirations à pleine capacité inspiratoire. De plus, la paralysie flasque des muscles intercostaux entraîne une respiration mécaniquement inefficace et intensive en raison de la perte d'une proportion significative de l'effort respiratoire lors de la rétraction intercostale et de la paroi thoracique. Enfin, la perte de l'innervation musculaire abdominale empêche l'expiration forcée et la toux.

2. Gestion des voies aériennes

La prise en charge des voies respiratoires chez les patients atteints d'une lésion médullaire aiguë documentée ou suspectée est particulièrement difficile. Le maintien de l'immobilité de la colonne vertébrale chez les patients présentant une colonne vertébrale cervicale instable pendant les procédures respiratoires est impératif pour prévenir les blessures mécaniques de la moelle épinière vulnérable, mais cette immobilisation rend l'intubation trachéale potentiellement plus difficile en limitant l'amplitude des mouvements de la tête, du cou et du pharynx. L'intubation à séquence rapide avec immobilisation spinale en ligne est la méthode préférée d'intubation lorsqu'une voie aérienne est requise d'urgence. L'utilisation de laryngoscopes à fibre optique est associée à un mouvement accru du rachis cervical comparé à l'intubation bronchoscopique par fibre optique [51][254]. Dans les scénarios électifs, l'intubation à fibre optique éveillée avec anesthésie locale est préférable parce qu'elle offre une visualisation directe sans mouvement de la colonne cervicale.

3. Bradycardie et arythmies cardiaques

Il existe une relation complexe entre les systèmes nerveux central et autonome et le système cardiovasculaire. Dans le cas d'une lésion aiguë, les changements cardiaques les plus prononcés sont observés initialement et s'améliorent souvent graduellement au cours des 2 à 6 semaines suivant la lésion [141][88]. Le tonic sympathique cardiaque est fourni par T1-4 et le TVM au-dessus de ce niveau entraîne la contractilité cardiaque anormale, la bradycardie et le choc neurogène de la stimulation vagale sans opposition.

Bien que la physiopathologie du contrôle cardiovasculaire anormal chez les patients atteints de lésions aiguës ne soit pas complètement comprise, au moins cinq éléments des circuits autonomes ont été identifiés comme des facteurs potentiellement contributifs :

- Perturbation des voies cardiovasculaires descendantes,
- Les neurones pré-ganglionnaires sympathiques cardiaques et vasomoteurs,
- La germination et la formation potentielle de synapses inappropriées avec les interneurones rachidiens,

- Les efférents anormaux de la colonne vertébrale
- Le développement de la transmission neurovégétative sympathique altérée et la réactivité des muscles lisses.

4. Choc neurogène

La diminution de la résistance vasculaire systémique conduit à la mise en commun du sang dans les artéries et le système veineux, aboutissant à un tableau clinique de l'hypotension réfractaire à la réanimation fluide, la bradycardie relative et la peau chaude.

Environ 25% des patients atteints de SCI cervicale présentent une composante du choc neurogène, et les patients avec atteinte médullaire complète sont 5,5 fois plus susceptibles de développer une hypotension réfractaire que ceux dont l'atteinte médullaire est incomplète [235].

Pour favoriser la pression de perfusion de la moelle épinière et éviter l'ischémie, la prévention de l'hypotension (pression artérielle systolique <90 mm Hg) et le maintien d'une pression artérielle moyenne de 85 mm Hg ou plus pour les 7 premiers jours après la blessure ont montré des résultats favorables [235][238].

B. Pharmacothérapie

De nombreux agents neuroprotecteurs ont été étudiés par expérimentation animale et des études cliniques humaines au cours des dernières décennies. La naloxone, l'hormone libérant de la thyrotropine, la nimodipine et le mésylate de tirilazad ont fait l'objet d'essais cliniques chez l'homme afin d'étudier leur profil d'innocuité et d'efficacité. Les corticostéroïdes et le ganglioside GM1 (Sygen, Laboratoire Medidom, Genève, Suisse) ont tous deux démontré un bénéfice modeste dans les essais cliniques de lésion médullaire incomplète, bien qu'ils n'aient pas été universellement acceptés en raison de données contradictoires dans les études cliniques ou d'effets secondaires significatifs qui réduisent la tolérance.

1. Corticostéroïdes

Le succinate de sodium de méthylprednisolone (MPSS) est un glucocorticoïde synthétique qui a été étudié en profondeur depuis les années 1960. Ses mécanismes d'action proposés incluent la protection

des membranes neuronales, la diminution de la libération du facteur de nécrose tumorale α , l'amélioration de la perfusion de la moelle épinière et la réduction de l'influx de calcium neuronal [101]. Il a été étudié dans plusieurs essais randomisés contrôlés (ECR) chez l'homme en Europe et en Amérique du Nord, y compris les essais I, II et III du National Acute Spinal Cord Injury Study (NASCIS). [32] L'étude NASCIS III a comparé le protocole NASCIS II de l'administration MPSS de 24 heures avec un protocole plus long de 48 heures. L'analyse des résultats a conclu que l'infusion de MPSS de 24 heures était adéquate pour les patients présentant dans les 3 heures de la blessure, mais les patients présentant 3 à 8 heures après blessure bénéficieront d'un plus long cours de perfusion, plus de 48 heures. Les critiques des essais du NASCIS indiquent que la plupart des avantages ont été observés uniquement dans les analyses de sous-groupes, et les complications indésirables associées à l'administration de MPSS incluaient des taux accrus d'infections de plaies, de septicémie, de complications pulmonaires, de complications gastro-intestinales, d'infections urinaires et de myopathies stéroïdiennes.

Dans le contexte d'avantages incohérents, le rôle des corticostéroïdes dans les TVM continue d'être controversé et devrait être considéré sur une base de patients individuels. Il reste une option pour les patients qui se présentent dans les 8 heures d'une lésion médullaire aiguë non pénétrante et incomplète chez la population jeune, non diabétique et immunocompétente. Surtout chez les patients avec un TVM cervical, chez qui la récupération neurologique est la plus critique et la plus sensible, l'administration de corticostéroïdes par le schéma NASCIS II peut être envisagée.

2. GM1 Ganglioside

GM1 ganglioside (Sygen) est un membre d'une famille hétérogène de glycosphingolipides complexes qui sont abondantes naturellement dans les neurones. Dans des études en laboratoire, Sygen réduit l'excitotoxicité à médiation par le glutamate et l'apoptose subséquente, et imite également les facteurs neurotrophiques émitogènes qui stimulent la croissance et la réparation des fibres nerveuses. Il a été exploré comme une thérapie pour de multiples maladies neurodégénératives, produisant des données prometteuses pour les animaux. En 1991, un petit essai de phase 2 du ganglioside GM1 dans les TVM a suggéré une meilleure récupération neurologique. L'année suivante, le plus important essai clinique de phase 3 pour TVM à ce jour, avec un effectif de près de 800 participants, a été lancé pour évaluer le rôle

de Sygen à faible dose et à forte dose contre le placebo [91].

C. Thérapies émergentes

Au cours de la dernière décennie, une émergence de données cliniques et de laboratoire a conduit à des techniques prometteuses de pharmacothérapie et d'intervention pour le traitement des TVM. Il s'agit notamment d'agents neuroprotecteurs pharmacologiques, de thérapies de remplacement des cellules souches et de techniques d'hypothermie et de drainage du liquide céphalo-rachidien (LCR).

1. Agents neuroprotecteurs

- **Minocycline**

La minocycline est un antibiotique synthétique de la tétracycline et un inhibiteur de la métalloprotéinase qui a des propriétés anti-inflammatoires et antiapoptotiques, agissant pour supprimer la production de cytokines, l'activation microgliale et la mort neuronale [248]. Les résultats de la première traduction humaine de ces données sous forme d'essai de phase 2, a montré une amélioration dans plusieurs mesures de résultats, approchant l'importance de l'amélioration motrice dans le groupe TVM cervical incomplet [41]. Une ECR de phase 3, l'étude Minocycline in Acute Spinal Cord Injury, est en cours pour étudier l'efficacité de la minocycline intraveineuse pendant les 7 premiers jours du TVM.

- **Riluzole**

Le riluzole est un inhibiteur des canaux sodiques du benzothiazole qui devrait atténuer les mécanismes neurotoxiques en inhibant la libération de glutamate présynaptique et en augmentant l'absorption de glutamate à haute affinité, réduisant ainsi la dégénérescence des neurones moteurs [78]. Il a été approuvé par la US Food and Drug Administration pour le traitement de la sclérose latérale amyotrophique , et plusieurs études précliniques sur les TVM ont associé l'administration de riluzole avec des résultats fonctionnels améliorés et une préservation accrue des tissus neuronaux. Sur la base de ces résultats, le riluzole a suscité un intérêt considérable pour le traitement des TVM. Un essai de phase 1/2a évaluant la sécurité et le profil pharmacocinétique du riluzole a démontré l'efficacité avec des taux de complications acceptables [78]. Les résultats ont été mieux observés chez les patients atteints de TVM

cervicale : à 3 mois, ce sous-groupe a obtenu un gain moyen de 28 points ASIA Motor Score. À la suite de ces résultats prometteurs, un ECR de phase 3, le Riluzole dans l'étude des lésions de la moelle épinière, a été lancé. [78],[75]

- **Cethrin**

Cethrin (BioAxone Thérapeutique, Montréal, Québec, Canada) est une combinaison du mastic de fibrine Tisseel (Baxter International, Deerfield, IL) et de l'inhibiteur de Rho BA-210 qui peut être appliqué à la dure-mère au moment de la décompression chirurgicale. Après la TVM, la myéline et les inhibiteurs de matrice extracellulaire déclenchent l'effondrement des cônes de croissance des axones de régénération par la voie Rho.57 BA-210 est une toxine dérivée de bactéries et une forme perméable aux cellules de la C3 transférase qui inhibe la voie Rho, La myéline et les inhibiteurs de la matrice extracellulaire.

- **Magnésium-polyéthylèneglycol**

Le magnésium (Mg) est un antagoniste physiologique des récepteurs N-méthyl-daspartate et joue un rôle clinique dans la prééclampsie et l'arrêt cardiaque. Il est également étudié intensément en tant qu'agent neuroprotecteur potentiel dans l'accident vasculaire cérébral, les TCG et les TVM. Le polyéthylèneglycol (PEG) est un polymère hydrophile utilisé pour l'administration de médicaments, avec des propriétés neuroprotectrices indépendantes. Les études chez l'animal sur les polymères de Mg-PEG dans les TVM ont démontré des volumes réduits de lésions, une diminution de la peroxydation lipidique, un stress oxydatif atténué, une réduction de la myéline dorsale et une amélioration des scores moteurs cliniques [61], [148–150].

- **Facteur stimulant la colonie de granulocytes**

Le facteur de stimulation des colonies de granulocytes (G-CSF) est une glycoprotéine sécrétée par divers tissus pour stimuler la prolifération et la différenciation des cellules de la lignée myéloïde. Il a été utilisé traditionnellement comme facteur de croissance hématopoïétique pour le traitement de la neutropénie. Récemment, on a trouvé que le G-CSF présentait un spectre d'activités dans le système nerveux central, comprenant l'activation de plusieurs voies antiapoptotiques, la suppression de l'expression des cytokines et la stimulation de la différenciation neuronale des cellules souches neurales adultes [210]. Dans les

modèles animaux de lésion médullaire aiguë, Le G-CSF a démontré la capacité de recruter la microglie sur le site de la lésion et de favoriser l'expression de facteurs neurotrophiques. Un essai de phase 1/2a du G-CSF a démontré un bon profil de sécurité et une augmentation de l'échelle de détérioration de l'ASIA de deux sur deux dans 9 des 16 patients avec un TVM [228]. À la suite de ce résultat prometteur, un essai multicentrique, ouvert, non randomisé, impliquant 41 patients atteints d'une LM aiguë a été achevé en 2014. Dans le groupe qui a reçu 5 jours consécutifs d'administration intraveineuse de G-CSF, 15 des 17 patients ont présenté une amélioration du grade ASIA et de l'ASIA Motor Score [227].

- **Facteurs de croissance des fibroblastes**

Les facteurs de croissance des fibroblastes (FGF) sont une famille de facteurs de croissance impliqués dans l'angiogenèse, la cicatrisation des plaies, le développement embryonnaire et diverses voies de signalisation endocrine. Les études protéomiques des FGF ont démontré qu'elles initient une série de processus biologiques pour atténuer les lésions secondaires, telles que l'activation des astrocytes, la neuroinflammation et la cicatrisation [234]. Une étude de phase 1 de cinq patients atteints de lésion médullaire cervicale chronique qui ont été traités avec du FGF acide avec de la colle de fibrine par laminectomie a démontré une amélioration du score ASIA Moteur et sensitif [257].

2. Thérapie de remplacement par les cellules souches

Les traitements médicaux actuels pour les lésions de la moelle épinière se concentrent sur l'amélioration de la survie des cellules existantes, alors que la transplantation de cellules souches offre une méthode de remplacement cellulaire en plus de la préservation. Les cellules souches régulent la gliose et la cicatrisation, empêchent la formation de kystes et augmentent l'allongement de l'axone [205]. Grâce à la sécrétion de facteurs neurotrophiques antiapoptotiques et proangiogènes, ils cultivent également un environnement favorisant la neuroplasticité et la régénération [240].

En plus de soutenir et de préserver les cellules survivantes, ils remplacent les neurones endommagés et les cellules gliales, remyélinisent les axones survivants et les cavités de la lésion du pont à travers le tissu glial et cicatriel. [169],[252],[183]



3. Hypothermie thérapeutique

L'hypothermie thérapeutique a été intensément étudiée dans des modèles animaux et des conditions humaines d'arrêt cardiaque et de TCG. Des études de laboratoire ont démontré que l'hypothermie réduit les besoins en énergie cellulaire, ralentit l'activité enzymatique et diminue le taux métabolique cérébral et les besoins en glucose.

4. Drainage des liquides céphalorachidiens

Une technique utilisée pour abaisser la pression intrathécale, le drainage du LCR est systématiquement réalisé dans une chirurgie d'anévrisme aortique thoracoabdominal pour prévenir l'ischémie de la moelle épinière et la paraplégie. Dans les TVM, on pense qu'il augmente la pression de perfusion de la moelle épinière, atténue l'ischémie et fournit une neuroprotection. Un essai de phase 1/2 impliquant 22 patients atteints de lésions aiguës a été complété pour étudier les changements de pression intrathécale avant et après la décompression chirurgicale, ainsi que pour évaluer la sécurité, la faisabilité et l'efficacité du drainage des LCR [134]. Le drainage du LCR n'était pas associé aux effets indésirables, mais n'a pas amélioré les résultats neurologiques dans cette étude.

D. Gestion des complications subaiguës

Les perturbations du fonctionnement autonome, sensoriel et moteur de la moelle épinière normale entraînent des modifications physiologiques et mécaniques qui posent des problèmes à la santé du patient. Ces changements sont dynamiques au cours des premiers mois suivant une lésion aiguë, car les réflexes spinaux changent et peuvent s'améliorer en dessous du niveau de la lésion.

1. Complications cardiovasculaires

Dans les semaines qui suivent le TVM, la bradycardie et le choc neurogène se résolvent et un nouvel équilibre cardiovasculaire est atteint. La tension artérielle et le rythme cardiaque reviennent à des niveaux plus normaux, bien que souvent inférieurs aux taux pré-lésionnels, en particulier chez les patients atteints de TVM cervicale ou thoracique élevée. [50], [256]

2. Hypotension orthostatique

L'hypotension orthostatique, définie comme une baisse symptomatique ou significative (> 20 mm Hg

systolique ou > 10 mm Hg diastolique) dans la pression artérielle dans les 2 à 5 minutes de positionnement vertical[87], affecte fréquemment les patients avec TVM dans les 1 à 6 mois de la blessure.

Une étude prospective a révélé une prévalence de 74% au cours de manœuvres de physiothérapie orthostatique avec des patients atteints de lésion médullaire aiguë [1].

L'hypotension orthostatique chez les patients avec TVM peut être liée à une combinaison de facteurs. La diminution de la production sympathique efférente et la perte de la vasoconstriction réflexe caudale au niveau de la lésion peuvent conduire à une accumulation veineuse excessive dans les membres inférieurs et les viscères. Il en résulte une diminution du volume diastolique et du volume ventriculaire, qui se manifeste par une diminution de la tension artérielle et des symptômes d'étourdissement, de vertiges, de fatigue, de dyspnée et de syncope. Chez les patients atteints de TVM, l'immobilité prolongée et la décroissance conduisent à un déconditionnement musculaire et cardiovasculaire, ce qui peut exacerber l'hypotension orthostatique [88].

3. Dysréflexie autonome

La dysréflexie autonome est un symptôme clinique potentiellement mortel qui se caractérise par une décharge sympathique réflexe sans opposition et une hypertension aiguë. Chez les patients atteints de TMV au-dessus de T6, l'incidence de dysreflexie autonome était de 48 à 90%, le plus souvent en période subaiguë, bien que des épisodes antérieurs aient été décrits [130][144].

4. Complications respiratoires

La fonction respiratoire peut s'améliorer dans les mois qui suivent une lésion aiguë, même en l'absence de toute autre récupération neurologique. Les améliorations apportées à la CVF ont été documentées au cours de la première année suivant la lésion médullaire, ce qui a été attribué à l'amélioration de la performance du diaphragme, à l'activité réflexe des muscles intercostaux et à l'amélioration des performances des muscles accessoires du cou [35]

5. Thromboembolie veineuse

La thrombose veineuse profonde et l'embolie pulmonaire sont des complications courantes des TVM en raison de facteurs contribuant à l'immobilité et à un état hypercoagulable aigu. Malgré les progrès dans le calendrier de l'initiation, la durée et le type de prophylaxie mécanique et pharmacologique, les TEV continuent à représenter 10% de tous les décès dans la première année suivant un TVM [244].

6. Escarres de Décubitus

Chez les patients avec un TVM et qui sont immobilisés, les escarres de décubitus sont fréquentes aussi bien chez les nouveaux patients que chez les patients en réhabilitation. Dans une étude, les escarres de décubitus se sont formées dans 24% des patients avec TVM pendant la réhabilitation, les sites les plus courants étant le sacrum (39%), les talons (13%), l'ischion (8%) et l'occiput (6%) [43]. Des lits rotatifs spécialisés peuvent être utilisés pour dissiper l'impact et éviter les ulcérations. De plus, l'identification et la prise en charge de toutes les conditions médicales sous-jacentes et le traitement de la malnutrition et du diabète peuvent contribuer à une guérison optimale.

7. Complications gastro-intestinales et nutrition

Les patients atteints de TVM présentent un risque élevé d'ulcération due à un tonus vagal parasympathique augmenté. Une hémorragie gastro-intestinale s'est produite chez 3% des patients atteints de lésion médullaire pendant l'hospitalisation initiale et 1% pendant la rééducation [43]. Dans l'analyse des facteurs de risque, on a observé une incidence plus élevée d'hémorragie gastro-intestinale chez les patients âgés de plus de 50 ans et tétraplégiques. La prophylaxie avec des antagonistes de l'histamine H₂ pendant 4 semaines est recommandée dès l'admission [258].

XIII. Traitement chirurgical

A. Voies d'abords

1. Voie d'abord présternocléidomastoïdienne prévasculaire

a. Anatomie chirurgicale

Le fascia cervical est constitué de trois lames qui enveloppent les différentes structures antérieures et postérieures. La lame superficielle enveloppe le sterno-cléido-mastoïdien et le trapèze. La lame prétrachéale se dédouble et enveloppe les muscles sous-hyoïdiens et l'omohyoïdien. La lame prévertébrale enveloppe les longs du cou. Les muscles longs du cou recouvrent la face antérolatérale du rachis cervical à la jonction entre processus transverses et corps vertébraux. Ils présentent trois faisceaux et ils s'étendent de C1 à T4 [98] :

- Un faisceau oblique, ascendant, supérieur, qui s'étend des processus transverses de C5 à C6 au tubercule antérieur de l'atlas ;
- Un faisceau longitudinal, profond, paramédian qui s'étend du corps de C2 à celui de T3 ;
- Un faisceau oblique descendant, inférieur, qui s'étend des processus transverses de C4 à C7 aux corps de T2 et T3.

L'axe vasculonerveux jugulo-carotidien est contenu dans la gaine carotidienne. (Artère carotide interne, veine jugulaire interne, nerf pneumogastrique, branche descendante du nerf hypoglosse)

Lors de l'abord, on retrouve de haut en bas les structures vasculonerveuses suivantes :

- Le nerf hypoglosse
- Le nerf laryngé supérieur
- La carotide externe et ses branches : l'artère occipitale, l'artère faciale, l'artère linguale et l'artère thyroïdienne supérieure
- Le tronc veineux thyro-linguo-facial de Farabeuf

- La veine jugulaire externe
- Les veines thyroïdiennes moyennes
- L’artère thyroïdienne inférieure, branche du tronc thyrocervical
- Le nerf laryngé inférieur ou nerf récurrent

Le nerf laryngé inférieur gauche est plus médial et près de l’axe viscéral que le nerf récurrent droit, car il naît sous la crosse de l’aorte, contrairement au récurrent droit qui naît sous l’artère subclavière.

Le nerf récurrent droit est plus antérieur, plus latéral et plus oblique que le gauche. Il apparaît donc plus vulnérable [72]. Il est à noter que le nerf laryngé inférieur peut être non récurrent dans 1% des séries chirurgicales et dans 2% des dissections [154]. Ce qui pousse certains chirurgiens à aborder du côté gauche de façon systématique. L’artère vertébrale naît de l’artère subclavière et rejoint le foramen transversaire au niveau de C6 (segment V1). Elle chemine dans ce foramen, accompagnée des veines vertébrales qui constituent le plus souvent un plexus (segment V2). Dans 5% des cas, l’artère vertébrale peut passer en avant du tubercule de Chassaignac.

b. Intérêt

L’abord antérolatéral présternocléidomastoïdien prévasculaire permet la réalisation d’arthrodèses et d’ostéosynthèses cervicales antérieures. Il peut être utilisé en pathologie dégénérative, en traumatologie ou en pathologie tumorale. Il autorise la réalisation d’une décompression médullaire et radiculaire antérieure. Il permet un abord de C2 à T2 et donne accès aux corps vertébraux, aux disques intervertébraux, à la face antérieure des apophyses transverses et au segment V2 des artères vertébrales [47].

c. Préparation et installation

Le patient est installé en décubitus dorsal, les bras allongés le long du corps. Deux bandes adhésives seront fixées sur les épaules et les membres supérieurs qui seront fixés à la table opératoire, afin d’exercer une traction et permettre de visualiser le rachis cervical bas et la jonction cervico-thoracique sur l’amplificateur de brillance. La sonde d’intubation sera fixée afin de ne pas perturber la visualisation du rachis cervical lors de radiographies peropératoires avec l’amplificateur de brillance. Les perfusions

et le matériel d'anesthésie sont installés à l'extrémité caudale du patient. Un petit billot sera glissé sous les épaules pour une légère extension du rachis cervical. L'hyperextension doit être évitée lors d'une décompression antérieure pour myélopathie cervicarthrosique. Une traction transcrânienne peropératoire avec un étrier de Gardner est parfois nécessaire avec 1/10 du poids du patient. L'amplificateur permet la réalisation du repérage préopératoire et de contrôles radiographiques peropératoires (niveaux, contrôle de la décompression, mesure de la taille des implants), il sera inclus dans le champ opératoire pour une meilleure asepsie. Le champ opératoire inclut l'angle mandibulaire, la fourchette sternale, le bord supérieur de la clavicule et la crête iliaque (en cas de greffe).

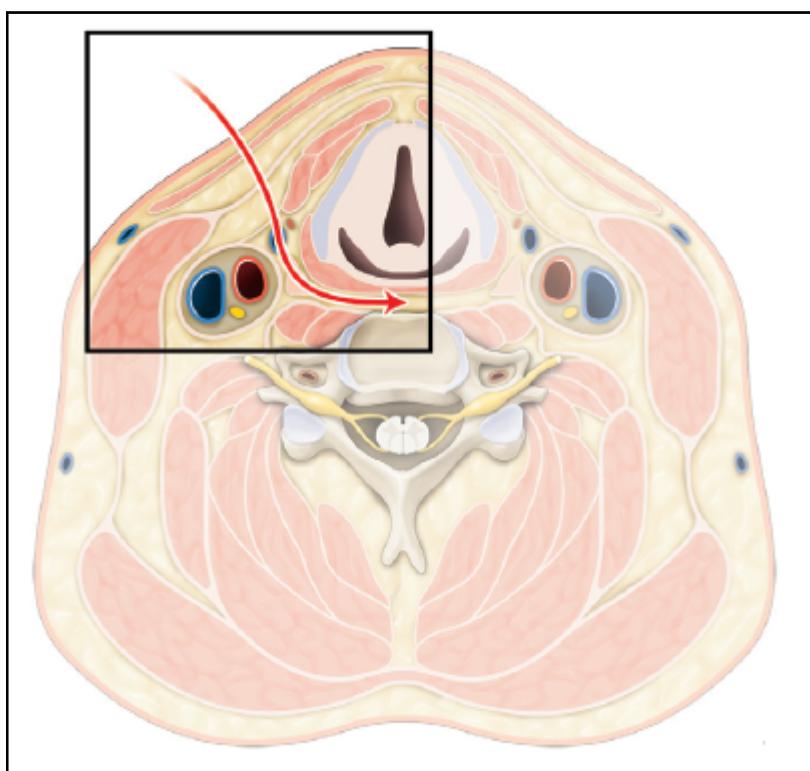


Figure 57 - Abord présterno-cléido-mastoïdien prévasculaire et antérolatéral [98]

d. Voie d'abord

La voie permet un passage en avant du muscle sternocléidomastoïdien, entre le paquet vasculonerveux jugulocarotidien en dehors et l'axe viscéral trachéo-oesophagien en dedans.

Le choix du côté est fonction des habitudes des équipes chirurgicales, du siège de la lésion à traiter, du niveau opéré. Le côté est le plus souvent déterminé par le côté dominant du chirurgien ; s'il est droitier,

il est plus à l'aise à droite et inversement. Il est cependant préférable de réaliser un abord gauche pour accéder à la charnière cervico-thoracique en prenant garde à ne pas léser le canal thoracique qui se jette dans la veine sous-clavière au-dessous de C7. Le trajet de l'incision est variable en fonction du niveau à aborder. On distingue classiquement deux portions selon les niveaux rachidiens à aborder : une portion haute sus-hyoïdienne et une portion basse sous-hyoïdienne, nous allons aborder cette dernière qui nous intéresse :

- **Portion basse ou sous-hyoïdienne**

Cet abord permet d'accéder à la face antérieure du rachis cervical de C2-C3 à C7-D1. L'incision cutanée peut être horizontale dans un pli du cou pour un abord d'un niveau intersomatique, ou être verticale le long du bord antérieur du sternocléidomastoïdien dans les autres cas. Dans le cas d'un abord horizontal, l'incision mesure 5 cm, plus étendue vers la ligne médiane et doit dépasser de 1cm en arrière le bord antérieur du sternocléidomastoïdien. Un repérage préopératoire à l'amplificateur de brillance est très utile. Les repères cliniques utilisables sont la face antérieure de l'os hyoïde qui correspond à C4, la face antérieure du cartilage cricoïde correspond à C6 et du tubercule de Chassaignac sur le processus transverse de C6. De plus, le disque C3-C4 se projette deux travers de doigt en dessous vasculaires : les artères linguale et faciale au-dessus de C3, le tronc veineux thyro-linguo-facial de Farabeuf en C3-C4, l'artère thyroïdienne supérieure en C4, la veine thyroïdienne moyenne, l'artère thyroïdienne inférieure en C6. La lame prétrachéale est ensuite incisée ainsi que le muscle omohyoïdien (en regard de C5-C6). La mise en place d'un écarteur afin de récliner l'axe trachéo-oesophagien, la thyroïde et les muscles sous-hyoïdiens vers la ligne médiane, cela va permettre l'exposition de la face antérieure des corps vertébraux. Le LLA est incisé au milieu puis avec la coagulation monopolaire permet de ruginer les muscles longs du cou. L'écarteur autostatique est placé sous les muscles longs du cou. Un second écarteur peut être positionné dans le sens longitudinal afin d'améliorer l'exposition [98].

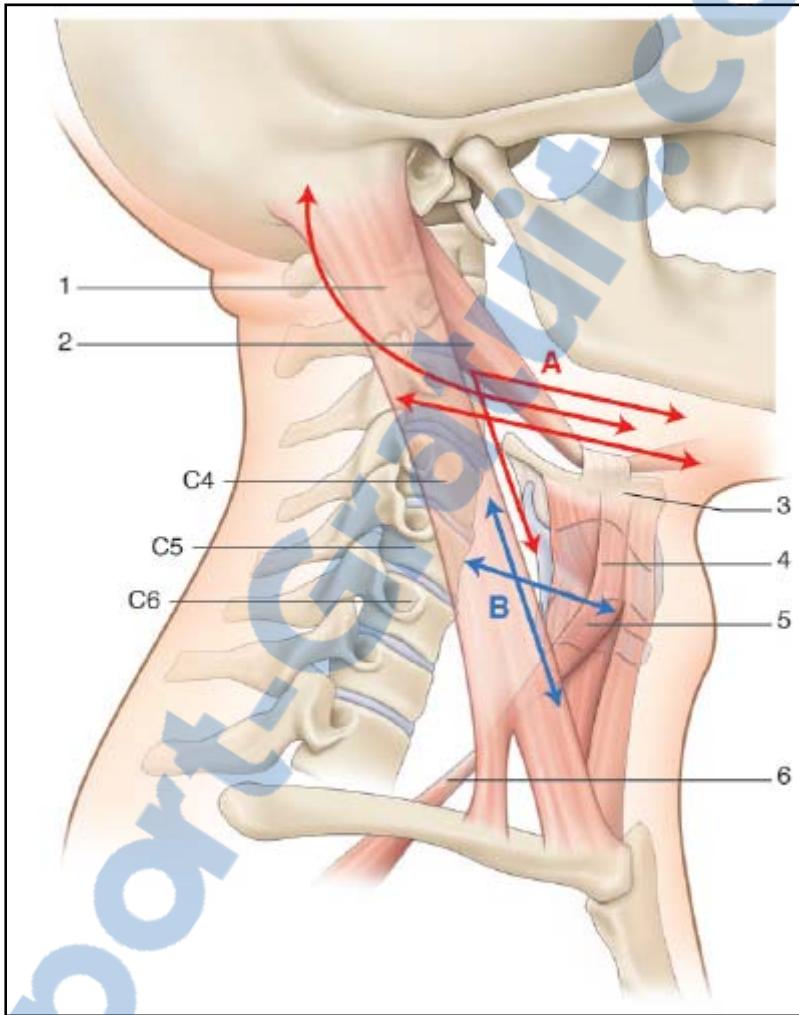


Figure 58 - Abord antérieur pré-sterno-cléido-mastoïdien. Repères cutanés et projection vertébrale. [98]

À (en rouge) : abord cervical haut, incision en L inversé, en L et horizontale ; B (en bleu) : abord cervical moyen et inférieur, longitudinal ou horizontal (1 niveau). 1. Muscle sternocléidomastoïdien ; 2. muscle digastrique ; 3. os hyoïde en regard de C4 ; 4. cartilage thyroïde en regard de C4-C5 ; 5. cricoïde en regard de C6 ; 6. muscle omohyoïdien.

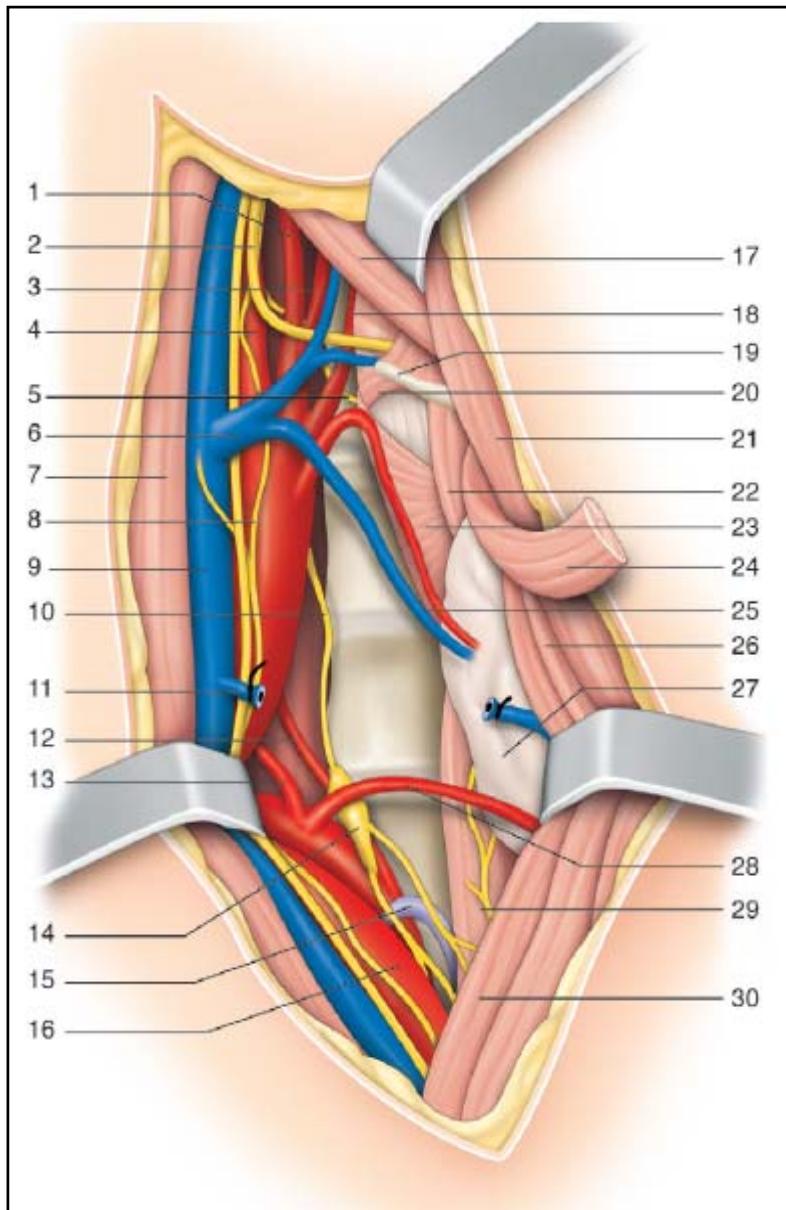


Figure 59 - Abord cervical antérieur pré-sterno-cléido-mastoïdien gauche étendu. [98]

1. Artère faciale ; 2. nerf hypoglosse ; 3. artère carotide externe ; 4. artère carotide interne ; 5. nerf laryngé supérieur ; 6. confluent veineux thyro-lingo-facial ; 7. muscle sterno-cléido-mastoïdien ; 8. anse cervicale profonde ; 9. veine jugulaire interne ; 10. tronc du sympathique ; 11. veine thyroïdienne moyenne ; 12. artère vertébrale ; 13. Artère cervicale ascendante ; 14. ganglion stellaire ; 15. canal thoracique ; 16. artère sous-clavière ; 17. muscle digastrique ; 18. artère linguale ; 19. Os hyoïde ; 20. muscle constricteur moyen du pharynx ; 21. muscle peaucier ; 22. muscle thyrohyoïdien ; 23. muscle constricteur inférieur du pharynx ; 24. muscle omohyoïdien ; 25. artère et veine thyroïdienne supérieure ; 26. muscle sternohyoïdien ; 27. thyroïde ; 28. artère thyroïdienne inférieure ; 29. oesophage et nerf laryngé recurrent ; 30. muscle sternothyroïdien.

e. Techniques antérieures : Dissectomie/arthrodèse

L'arthrodèse est réalisée par voie antérieure présternocléidomastoïdienne, le plus souvent on utilise une incision horizontale ou verticale en cas de plusieurs étages, elle se fait généralement à droite ou à gauche pour accéder à la charnière cerviothoracique afin de ne pas lésionner le nerf récurrent. L'écarteur de Caspar permet un meilleur jour intersomatique. La dissectomie doit se faire en totalité ; le LLP sera ouvert, surtout s'il existe des troubles neurologiques. Les foramens sont également ouverts surtout en cas de compression radiculaire. Un greffon iliaque tricortical est alors placé dans l'espace intersomatique. En traumatologie, les greffons sont préférés aux cages intersomatiques. Une plaque antérieure sera vissée sur les deux vertèbres adjacentes. Les vis utilisées sont des vis unicorticales, d'une longueur située en général entre 14 et 18 mm. [65]

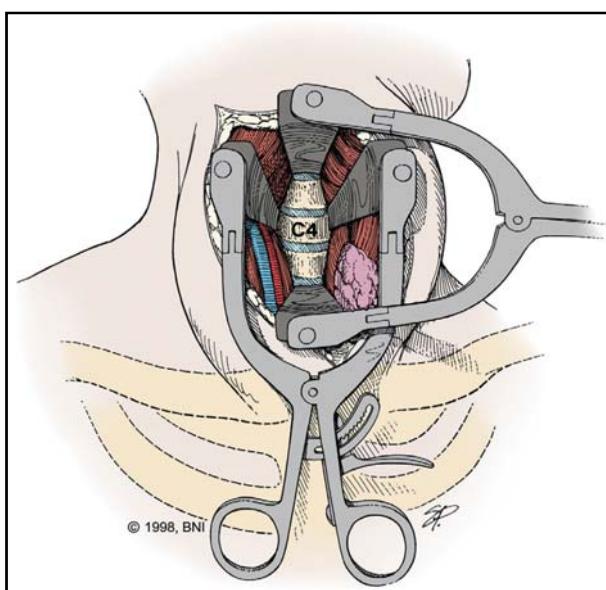


Figure 60 – Exposition du rachis cervical par voie antérieure avec utilisation de deux écarteurs [74]

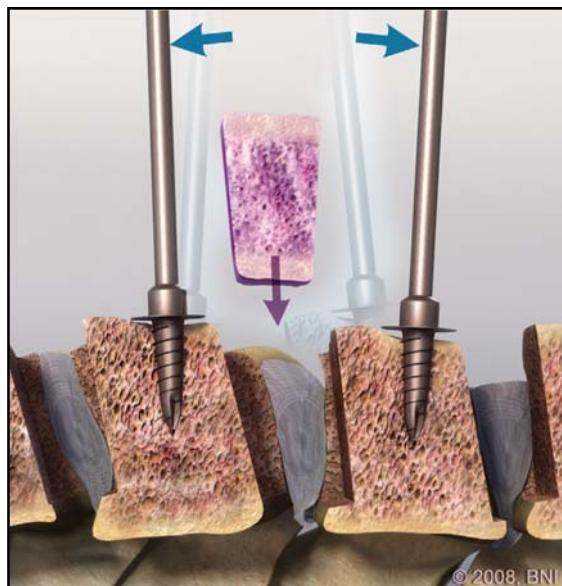


Figure 61 - Utilisation de l'écarteur intersomatique de Caspar permet un meilleur jour de l'espace intersomatique [74]

f. Corporectomie

On commencera par une dissectomie complète sus et sous-jacente du niveau atteint. Puis la corporectomie se fait à l'aide de fraise électrique ou avec la pince gouge puis le rongeur Kerisson pour retirer. Pour remplacer le corps, on utilise soit un greffon iliaque tricortical, soit par une cage métallique ou en

polyéther-éther-kétone (PEEK) remplie des produits de corporectomie. Dans les deux cas, on utilise une plaque vissée. [47].

g. Fermeture

Après une bonne hémostase du site opératoire, un drain aspiratif peu être mis en place afin de prévenir l'hématome post opératoire. Le peaucier, le plan sous-cutané ainsi que la peau sont ensuite suturés.

2. Voie postérieure du rachis cervical [16]

a. Anatomie chirurgicale

Le plan musculaire postérieur comprend trois plans :

- Le plan superficiel : le muscle trapèze ;
- Le plan moyen : le muscle semi-épineux de la tête, le petit rhomboïde, le muscle splénius de la tête ;
- Le plan profond : le muscle semi-épineux du cou au niveau du rachis cervical inférieur, le muscle grand oblique de la tête, le muscle petit oblique de la tête, le muscle grand droit postérieur de la tête, le muscle petit droit postérieur de la tête.

b. Intérêt

Au rachis cervical inférieur, elle permet d'accéder de C3 à C7, de visualiser les processus épineux, les lames et les massifs articulaires latéralement. Elle permet de réaliser une décompression médullaire, radiculaire et de stabilisation par ostéosynthèse. Les ostéosynthèses prennent un ancrage dans les massifs articulaires de C3 à C6 et dans les massifs articulaires ou pédicules de C2 et C7. Les décompressions médullaires sont réalisées par des laminectomies. Les décompressions radiculaires sont effectuées par des arthrectomies totales ou partielles.

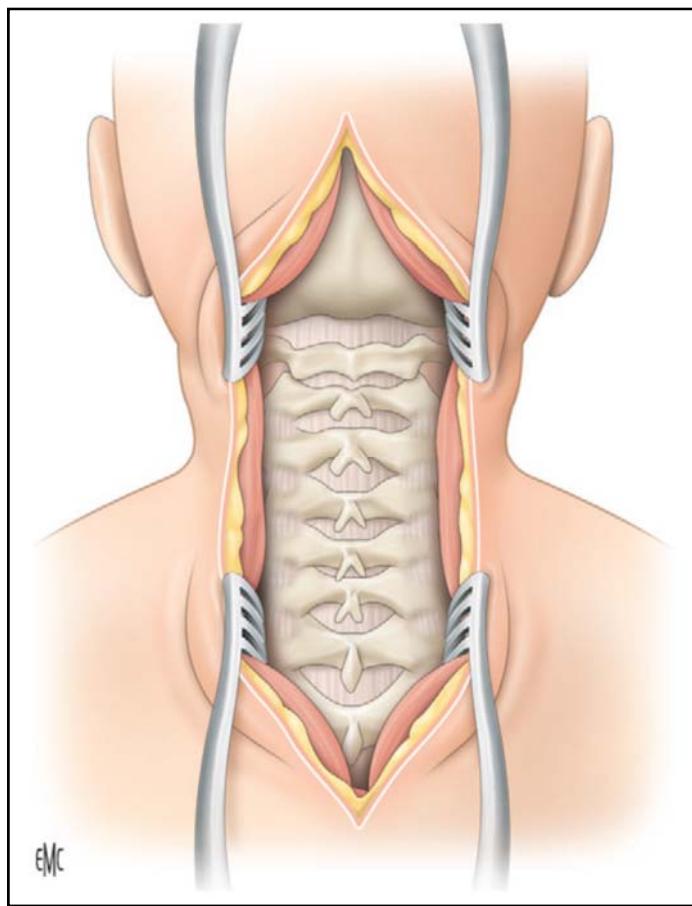


Figure 62 - Abord cervical postérieur, écarteurs en place. [98]

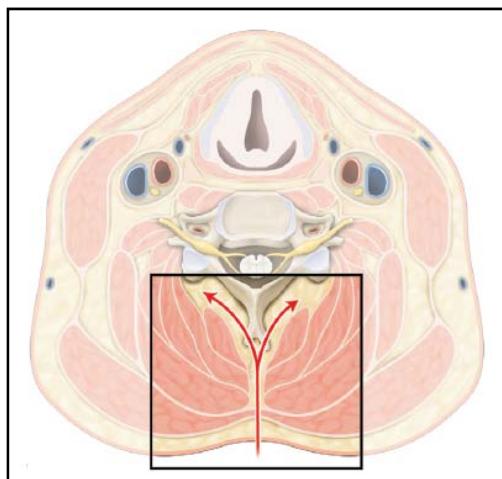
c. Vissage articulaire postérieur

Le patient est placé en position ventrale, toujours en proclive, les épaules en traction avec deux bandes adhésives pour accéder à la charnière cervicodorsale. On place sa tête dans un étrier de Mayfield.

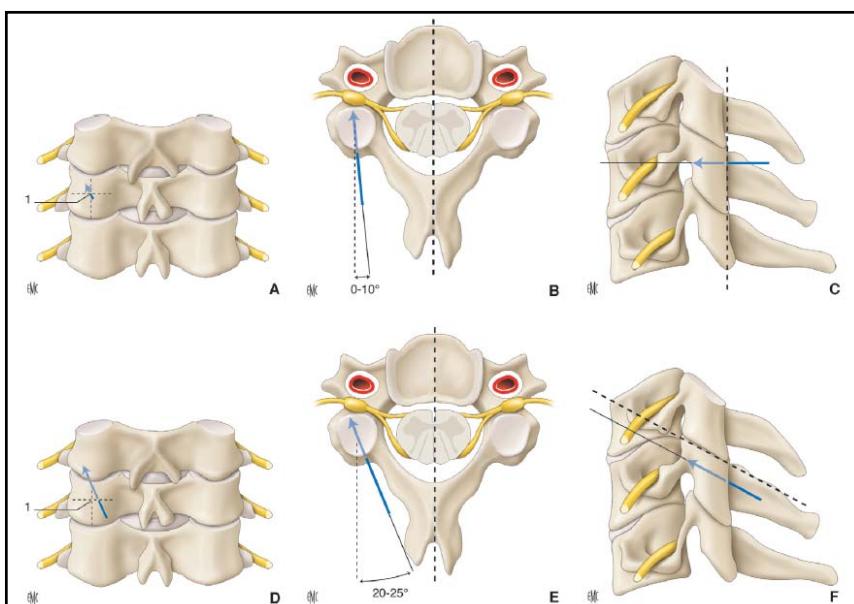
Après un repérage scopique, l'incision cutanée est médiane, centrée sur l'étage concerné, sa longueur est fonction du nombre d'étages. La progression se fera au milieu pour limiter le saignement. Le ligament interépineux et les tubercules des épineuses sont exposés au bistouri électrique. Les lames vertébrales sont ruginées à la rugine de Cobb et à la coagulation monopolaire afin d'exposer les articulaires.

Le vissage des pédicules cervicaux est rarement utilisé [3] et ne paraît pas répondre aux exigences de reproductibilité et de sécurité.

Le vissage intéresse préférentiellement les massifs articulaires. Pour Roy-Camille [165], le point d'entrée se situe au centre du massif articulaire, au sommet de la colline qu'il représente. En dedans de la colline, il existe une petite vallée qui sépare le massif articulaire de la lame. L'artère vertébrale se projette en avant d'elle. La racine se projette en avant de la fente articulaire. La direction est donc perpendiculaire au plan de la vertèbre avec une petite obliquité vers le dehors (maximum 10°). Pour Magerl [49], le point d'entrée se situe dans le quadrant supéro-interne du massif articulaire avec une visée de 20 à 25° en haut et en dehors. Les vis utilisées ont une longueur comprise entre 10 et 20 mm. [221]



**Figure 63 - Éléments anatomiques accessibles par un abord postérieur.
Coupes axiales [98]**



**Figure 64 - Vissage articulaire cervical. 1. Point d'entrée.
[224]
A à C. Selon Roy-Camille. D à F. Selon Magerl.**

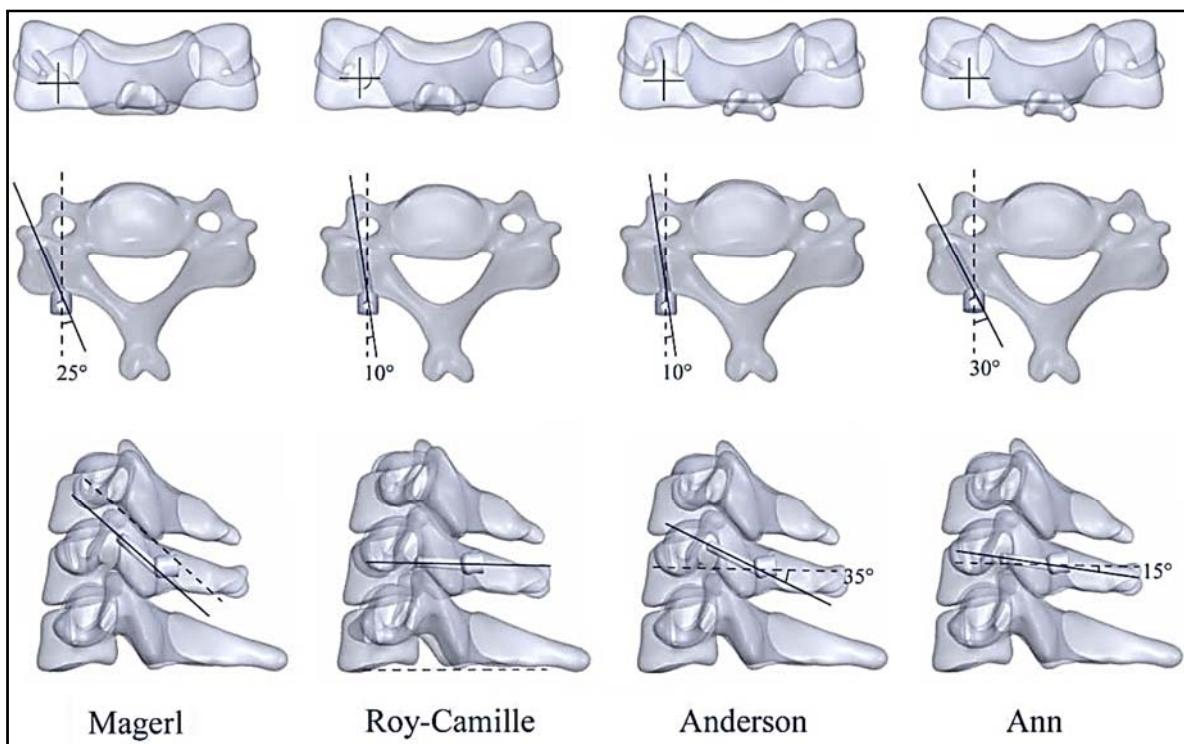


Figure 65 - Vissage articulaire postérieur cervical selon différents auteurs [221]

d. Vissage pédiculaire cervical

Cette méthode a été initiée et décrite par les Japonais et notamment Abumi [20]. Le point d'entrée postérieur de la vis se trouve légèrement en dehors du centre du massif articulaire et à proximité du bord posterosupérieur de la facette articulaire supérieure. La visée est de 30 à 40° vers la ligne médiane. La direction dans le plan sagittal est ajustée en s'aidant de l'amplificateur de brillance. Cette technique reste controversée, est peu utilisée, car les risques neurologiques et vasculaires sont importants et peut être aidée par la navigation. [98]

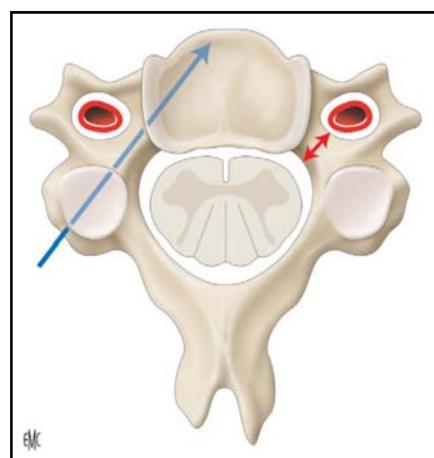


Figure 66 - Pédicule cervical : rapports étroits avec la moelle et l'artère vertébrale. [224]

e. Fermeture

La fermeture plan par plan se fait après une hémostase parfaite surtout du plan musculaire et un lavage abondant du site opératoire. Un redon aspiratif est mis en place. L’aponévrose est suturée par des points en X résorbables (points transosseux au sein des épineuses restantes). La fermeture cutanée est réalisée sans tension par points, agrafes ou surjet.

B. Indications selon la classification d’Argenson

Argenson distingue des lésions de type A en compression, des lésions de type B en flexion, des lésions de type C en extension, des lésions de type D en rotation, , et enfin des lésions de type E avec la hernie discale traumatique isolée.

1. Lésions en compression (type A)

a. Tassement du plateau supérieur (type A1)

Une simple immobilisation par minerve pour deux mois suffira le plus souvent.

b. Fracture comminutive (type A2)

Compliquée parfois de tétraplégie. Une décompression est le plus souvent nécessaire en urgence, ou il faut réaliser une corporectomie par voie antérieure, avec greffe iliaque et plaque vissée. En cas d’absence de troubles neurologique, certains proposent une traction par étrier de Gardner puis une immobilisation par minerve. [47]

c. Lésion de type « tear-drop » (type A3)

Une corporectomie totale avec double dissectomie sus- et sous-jacente, greffe et stabilisation par plaque vissée est le plus souvent utilisée et conseillée même si le patient ne présente pas de trouble neurologique, car il s’agit d’une lésion hautement instable.

2. Lésions en flexion (type B)

a. Entorse bénigne (type B1)

La rééducation est le seul traitement à proposer à ces entorses bénignes.

b. Entorse grave (type B2)

S'il existe la rupture de l'ensemble des éléments du segment mobile de Junghans, c'est à- dire d'arrière en avant : les ligaments surépineux, interépineux, les capsules articulaires, le LLP et la partie postérieure du disque. Seul, le LLA n'est pas rompu. L'indication d'une arthrodèse par voie antérieure est posée avec mise en place d'un greffon iliaque intersomatique et plaque vissée. Certains préfèrent la voie postérieure avec ostéosynthèse des massifs articulaires sus- et sous-jacents avec greffe. [47]

c. Luxation bi-articulaire (type B3) [47]

L'urgence est la réduction qui peut se faire en trois phases qui doivent se succéder assez rapidement [242]:

- Réduction par traction progressive en flexion après pose d'étrier de Gardner, avec des contrôles radiographiques du rachis cervical de profil ; l'administration de myorelaxant peut faciliter la réduction.
- Réduction sous anesthésie générale si échec de réduction sans anesthésie générale, avec tractions en flexion du cou, sous contrôle de l'amplificateur de brillance.
- Réduction chirurgicale si échec de la réduction sous AG. Elle peut être réalisée par voie antérieure à l'aide de l'écarteur de Caspar qui va permettre la réduction. L'espace discal est comblé par une greffe osseuse et stabilisé par une plaque vissée. L'avantage de cette voie antérieure est de reconnaître une éventuelle hernie [151], [198] qui sera retirée.
- Ou alors par voie postérieure, elle est dite en « démonte pneu » dans ce cas une IRM médullaire cervicale doit être réalisée afin d'éliminer une éventuelle hernie discale compressive, ce qui contre-indique la voie postérieure.

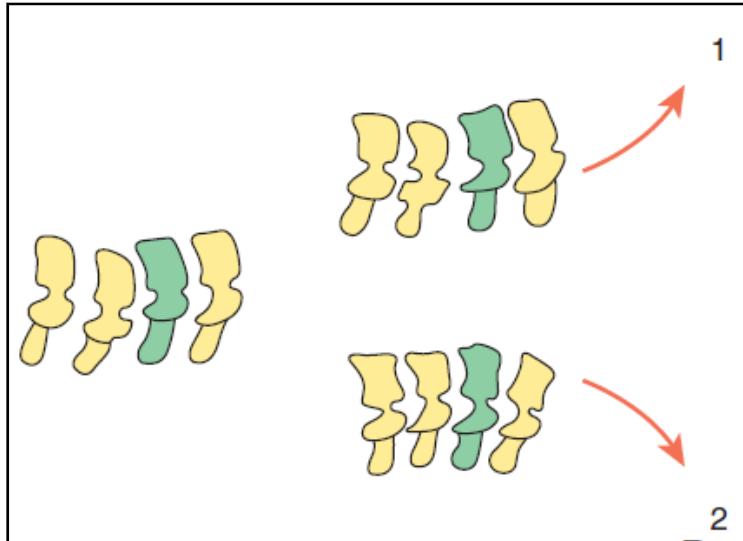


Figure 67 – manœuvre de réduction peropératoire par traction transcrânienne (flexion puis extension). [47]

3. Lésions en extension (type C)

a. Entorses en extension (type C1)

Elles sont dites « bénignes » s'il n'y a aucune lésion osseuse associée. Si on réalise une IRM, on trouve parfois une rupture du LLA. On peut aussi trouver une lésion de type Tear-drop inversée. Les épineuses qui sont en surcharge postérieure peuvent aussi se casser. On parle alors d'entorse grave en extension, mais qui peut être traitée de façon orthopédique, car le risque de déplacement antérieur secondaire est faible.

b. Traumatismes en extension sur canal cervical étroit (type C2)

S'il y a absence de hernie discale sur l'IRM et pas d'instabilité sur les clichés dynamiques, une immobilisation externe et une surveillance peuvent être proposées. L'indication opératoire est proposée devant la stagnation de l'évolution des troubles neurologiques.

Par contre, s'il existe une instabilité rachidienne sur les clichés dynamiques ou une hernie discale à l'IRM, la chirurgie précoce est indiquée, le plus souvent par voie antérieure, avec décompression transdiscale, voire même une corporectomie. La laminoplastie peut être proposée dans le cas canal cervical étroit étendu en lordose.

c. Fractures-luxations complexes (type C3)

Elles sont secondaires à des mécanismes en extension avec des déplacements secondaires en flexion.

Elles nécessitent une réduction par voie postérieure dans un premier temps, et parfois un deuxième temps par voie antérieure. Si la traction par étrier de Gardner a permis une bonne réduction, la voie antérieure seule est indiquée.

4. Lésions en rotation (type D)

a. Luxations uniarticulaires (type D1)

Ce sont des lésions qui sont en règle chirurgicales si le patient présente une névralgie cervicobrachiale.

On réalise donc par voie antérieure une dissectomie, distraction et mise en place d'un greffon. Beaucoup préfèrent réaliser cette chirurgie par voie postérieure, avec réduction directe de la luxation uniarticulaire et stabilisation par vissage articulaire et greffe. [47]

b. Fractures uniarticulaires (type D2)

S'il existe une simple névralgie cervicobrachiale, un simple traitement orthopédique est proposé. Dans le cas contraire, la voie antérieure est indiquée. [47]

c. Fractures-séparation du massif articulaire (type D3)

Elles sont secondaires à une rotation-extension du rachis cervical. Sur la radiographie de face et de profil le massif articulaire qui est horizontalisé, la TDM confirme le diagnostic. Dans ces fractures le disque inférieur est toujours atteint, mais le disque supérieur peut ne pas l'être. Si on utilise la voie antérieure, on doit greffer le disque inférieur et le disque supérieur seulement s'il est atteint. [47]

La voie postérieure est possible aussi avec une réduction-stabilisation grâce à la plaque spécifique dite « en tuile », permettant un montage type « portemanteau » mis au point par l'équipe de La Pitié-Salpêtrière [119].

5. Hernie discale traumatique (type E)

Cette hernie peut être isolée ou associée aux différentes lésions précédentes. Elle peut être responsable d'une compression radiculaire ou médullaire. Le traitement médical et orthopédique est proposé s'il

n'existe pas de troubles neurologiques. Dans le cas contraire, la chirurgie est envisagée, qui se fait donc par voie antérieure avec dissectomie, herniectomie et stabilisation par greffe (ou éventuellement cage) et plaque vissée. La pose de prothèse cervicale peut être discutée, si le disque est très haut et si le sujet est jeune et bien sûr de s'assurer de l'intégrité des structures ligamentaires. En cas d'incertitude, il faut préférer une arthrodèse. [47]

C. Indication selon le système SLIC

La classification SLIC prend en compte la morphologie des lésions, l'atteinte ou non du complexe disco-ligamentaire (DLC) et le statut neurologique, noté sur 10 points, pour au final essayer de classer les lésions en 3 groupes :

1. Groupe non chirurgical - SLIC de 0 à 3 points

Dans ce groupe sont inclus les patients avec fracture des processus épineux (également connu sous le nom de la fracture de Clay-Shoveler), les fractures lamellaires, et de petites fractures facette non déplacées. Ces fractures sont stables, traitées avec une immobilisation cervicale pour le confort et la réduction de la douleur. Cependant, ils peuvent être considérés comme un signe d'avertissement pour les lésions médullaires plus sévères [69], [237].

Les fractures de compression et d'éclatement sans déficits neurologiques peuvent également être gérées non chirurgicalement. Il est à noter que certains auteurs suggèrent des paramètres radiologiques associés à l'échec de la prise en charge conservatrice de ces lésions, comme plus de 40% de la hauteur de la compression, angulation kyphotique supérieure à 15 ° ou 20% de subluxation d'une vertèbre sur une autre. Le SLIC n'a pas abordé ces facteurs de risque, en proposant un traitement conservateur pour les fractures éclatées stables sans déficits neurologiques indépendamment de l'alignement radiographique [116].

En outre, on peut trouver dans ce groupe des fractures par compression ou par éclatement avec lésion radiculaire. Une tentative de traitement conservateur peut être acceptée dans de tels scénarios cliniques. Il convient de noter que dans certaines fractures éclatements avec une radiculopathie sévère impliquant des troubles moteurs et sensitifs, la chirurgie précoce peut être une meilleure option, en dépit de la

recommandation d'un traitement conservateur dans le score SLIC. La littérature est, malheureusement, rare en ce qui concerne le traitement de la radiculopathie traumatique du rachis cervical [14].

Les fractures de compression avec déficits neurologiques complets recevraient 3 points. Bien que ce soit un scénario clinique rare, un traitement conservateur est proposé dans une telle situation que ni l'instabilité mécanique ni la compression neurologique continue n'existe [237].

2. Groupe limite : traitement conservateur ou chirurgical – SLIC 4 points

Le système SLIC suggère que les patients avec 4 points peuvent être traités chirurgicalement ou non chirurgicalement. Un scénario clinique commun des patients avec 4 points est le syndrome du cordon central dans le cadre d'une cervicarthrose décompensée [116]. Bien que les fractures et la dislocation puissent être présentes, ces patients présentent généralement une tomodensitométrie normale et sans instabilité mécanique évidente, mais avec des déficits neurologiques graves. Le syndrome du cordon central est la lésion médullaire incomplète la plus fréquemment rencontrée, et près de la moitié de ces patients ont une sténose canalaire cervicale congénitale ou dégénérative qui décompense par un mécanisme d'hyperextension. [237]

3. Groupe chirurgical - Classification Subaxial des blessures ≥ 5

Dans ce groupe, la plupart des patients présentent des dislocations sévères, des lésions de distraction ou de rotation et des lésions évidentes et instables. Pour ces patients, les avantages de la stabilisation chirurgicale sont clairs.

La chirurgie pour la hernie discale traumatique dans le cadre des déficits neurologiques est une procédure bien acceptée. Dai et Jia ont rapporté leur expérience avec 24 patients atteints de hernie discale traumatique aiguë [53]. Les patients ont subi une dissectomie cervicale antérieure et une fusion pour décompression du cordon et stabilisation rachidienne avec amélioration neurologique marquée. La hernie discale traumatique est également fréquente dans les fractures et les luxations, méritant une attention particulière, des cas anecdotiques de détérioration neurologique après une réduction fermée ont été rapportés [105], [222].

Les Burst Fractures avec déficits incomplets avec ou sans compression continue, sont également des lésions qui peuvent bénéficier de la chirurgie précoce, avec décompression canal et la stabilisation

[94][139][6].

Le traitement chirurgical des fractures et des dislocations des facettes, antérieurement à l'avènement de l'instrumentation moderne du rachis, était basé sur une réduction fermée et des orthèses externes avec un repos en lit prolongé et sa morbidité et mortalité inhérente. Aujourd'hui, ces blessures sont mieux gérées avec une fixation interne et une stabilité et une réhabilitation précoces.

En ce qui concerne le choix des approches antérieures et postérieures pour les lésions instables, les approches antérieures sont généralement recommandées dans le cadre d'une fracture grave du corps vertébral avec compression antérieure et les approches postérieures dans la lésion postérieure (facettes articulaires, masse latérale, lame), déformation en cyphose et désalignement sévère. Des approches combinées peuvent également être mises en œuvre, en particulier dans les cas complexes [52][117].

L'emplacement de la compression du cordon, antérieur et/ou postérieur, guidera également l'approche chirurgicale.

Dans les lésions isolées des facettes articulaires avec déplacement, le traitement conservateur avec réduction fermée et l'immobilisation externe sont associés à un taux élevé de désalignement cervical [36], [199], [218], [232]. En tant que telles, ces lésions devraient être référencées pour la chirurgie, en particulier chez les patients présentant des déficits neurologiques. Ces lésions peuvent être gérées par des approches antérieures ou postérieures, avec des résultats similaires [34], [135].

D. Le Timing de la chirurgie

Une fois le traitement chirurgical choisi, les avantages de la décompression précoce chez les patients atteints de déficits neurologiques ont été bien démontrés.

Plusieurs études multicentriques l'ont démontré récemment, notamment The Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS), qui était une étude de cohorte prospective internationale multicentrique chez des patients de 16 à 80 ans atteints d'un TVM cervical [77]. Le résultat principal était l'état neurologique après 6 mois de suivi. La chirurgie précoce (<24 heures après le traumatisme) a été réalisée chez 182 patients (moyenne de $14,2 \pm 5,2$ heures) et 131 patients ont subi une chirurgie tardive ($48,3 \pm 29,3$ heures). Le suivi était disponible chez 222 patients à 6 mois après la blessure. Dans 19,8% des patients dans le groupe précoce, il y avait un ≥ 2 dans l'échelle de dégradation de l'ASIA

(ASIA Impairment Scale), comparée à un taux d'amélioration de 8,8% dans le groupe de décompression tardive (odds ratio 2,57, 95%, intervalle de confiance : 1,11 à 5,97). Il n'y avait aucune différence quant aux complications lors de la comparaison des deux groupes, attestant que la décompression précoce ne pose aucun risque supplémentaire. Les auteurs ont conclu que la décompression précoce était sûre et associée à une amélioration des résultats neurologiques dans les lésions cervicales [77].

Compte tenu de ces données cliniques récentes et de l'ampleur des données précliniques sur les animaux, nous insistons sur le fait que la décompression neurologique doit être réalisée dès que possible compte tenu de la disponibilité de ressources humaines et structurelles suffisantes ainsi que des conditions cliniques du patient.

E. Approches antérieures versus postérieures

En plus du timing du traitement chirurgical, la meilleure approche (antérieure, postérieure, combinée) est un autre point de décision discutable.

En règle générale, l'approche est choisie en fonction des besoins de décompression cervicale, de reconstruction et de stabilisation, mais aussi des habitudes du chirurgien et de l'équipe.

Les approches antérieures présentent les avantages de la position couchée, du traumatisme chirurgical mineur et de la décompression antérieure directe des éléments nerveux, en supprimant les structures de compression ventrale telles que le disque et l'os [5]. La stabilisation antérieure peut aussi être utilisée avec succès dans certaines lésions postérieures [255].

Les approches postérieures, basées sur des techniques rigides de fixation avec vissage dans les masses latérales ou des vis pédiculaires, sont une bonne alternative pour les traumatismes de distraction et translation/rotation, car les forces de réduction peuvent être directement appliquées pour réaligner le rachis cervical.

Brodke et coll. Ont évalué les résultats de 52 patients avec des lésions instables et réduites du rachis cervical inférieur, ont été randomisé pour la stabilisation antérieure contre la postérieure et la fusion [34]; les patients qui ont eu besoin de réduction et de décompression n'ont pas été inclus dans l'étude.

Ils n'ont signalé aucune différence significative dans la récupération neurologique, les taux de fusion ou les plaintes à long terme en ce qui concerne l'approche choisie.

De même, Kwon et al ont réalisé une étude prospective randomisée comparant la stabilisation antérieure et la stabilisation postérieure pour les facettes unilatérales chez 42 patients [135]. Les auteurs ont conclu que même si les approches antérieures présentaient un taux d'infections des plaies moins élevé, moins de douleur postopératoire et un taux de fusion plus élevé, ils avaient aussi un risque plus élevé de difficulté de déglutition postopératoire. Il n'y a pas eu de différences entre les patients. Les auteurs concluent que les approches de fixation antérieure ou postérieure sont des techniques valides et sûres pour traiter les facettes unilatérales des facettes.

XIV. Complications

Dans ce chapitre nous allons aborder que les complications liées à la chirurgie, puisque les complications liées à la lésion médullaire et leurs gestions ont été traitées dans le chapitre du traitement médical.

A. Complications peropératoires

1. Complications liées à l'installation

- **En décubitus dorsal**

Elles sont rares et exceptionnellement signalées dans la littérature. On peut observer des étirements plexiques, en règle régressifs. Ils sont dus à une installation de la tête avec une rotation excessive ou à la traction sur les épaules. Ces atteintes sont homolatérales à la voie d'abord.

- **En décubitus ventral**

Retournement

Le retournement est une phase délicate, en particulier en cas de rachis traumatique instable. En effet, on peut observer des déplacements secondaires responsables de complications neurologiques définitives (à type de tétraplégie par exemple).

Points d'appui

L'installation de la tête sur la tête-rière doit être très soigneuse en vérifiant l'absence de compression au niveau des globes oculaires des pommettes et de la mandibule.

La thrombose de l'artère centrale de la rétine par compression des globes oculaires est certainement la complication la plus redoutable de cette installation. La première publication date de 1990 [250], et a été publiée dans un journal d'ophtalmologie. Depuis, plusieurs publications récentes [21], [226], recensent des troubles de la vision au décours d'intervention chirurgicale sur le rachis, la thrombose de l'artère centrale de la rétine n'étant qu'une des étiologies de ces troubles visuels.

2. Complications liées à l'anesthésie

La principale complication, même si elle est exceptionnellement retrouvée dans les publications, est le risque neurologique de l'intubation par manœuvre d'hyperextension sur un rachis instable, une moelle myélopathique. Certains, comme Senegas [212] préconisent d'ailleurs le maintien d'un collier pendant l'intubation. D'autres [184] conseillent de tester en préopératoire, sur le sujet conscient, la tolérance d'hyperextension du rachis cervical et de respecter cette limite au moment de l'intubation. Par ailleurs, il faut signaler les possibilités d'intubation nasale en cas de risque ou de difficultés de la voie trachéale.

3. Complications liées à la voie d'abord

• Voie d'abord antérieure

Le nombre d'éléments nobles rencontrés au cours de cette voie d'abord rend compte de la multiplicité des complications possibles.

Atteintes pharyngo-oesophagiennes

Elles vont de la banale dysphagie postopératoire transitoire à la perforation œsophagienne avec médiastinite gravissime et décès par choc septique.

Dysphagie : Elle peut être transitoire, prolongée ou définitive, immédiate ou différée. Elle est rarement décrite probablement souvent mésestimée ; son incidence est en tous les cas éminemment variable selon les publications.

L'ensemble des auteurs s'accorde pour reconnaître comme normale une dysphagie transitoire de 48 heures, s'expliquant selon Cloward par l'œdème œsophagien segmentaire au point d'écartement. La persistance d'une dysphagie au-delà de la 4^{ème} heure doit inciter à la réalisation d'investigations permettant d'éliminer notamment une perforation œsophagienne.

Une dysphagie prolongée peut s'expliquer par plusieurs mécanismes [249]:

- Hématome ;
- œdème par traumatisme peropératoire de la paroi laryngée ou œsophagienne :

- Phénomènes infectieux en rapport ou non avec une perforation œsophagienne :
- Dénervation par atteinte, notamment de la chaîne lymphatique ;
- Adhérences.

Perforation œsophagienne : C'est certainement l'une des complications les plus sévères de la voie d'abord antérieure par la mise en Jeu du pronostic vital (risque de médiastinite) et fonctionnel.

Son incidence varie de 0% à 2.2% [38]. Des séries importantes comme celles de la Cervical Spine research Society confirment la rareté de cette complication (0,25 %, soit 22 cas sur plus de 10000 dossiers revus) [175].

Atteintes vasculaires

On peut observer de rares lésions de l'artère carotide commune ou de la veine jugulaire interne, il s'agissait d'une blessure directe par déplacement d'un écarteur acéré. Par ailleurs, il peut exister des thromboses carotidiennes liées à une compression prolongée [46].

Les plaies et thromboses de l'artère vertébrale sont plus fréquemment décrites que celles de l'axe jugulo-carotidien [81], [230]. La série de Smith [219] retrouve une incidence de 0,5 % à propos de plus de 1 000 cas revus. Le premier signe d'appel est un saignement peropératoire inattendu et profus pouvant parfois conduire rapidement à un choc hypovolémique.

Atteintes nerveuses

Nerf récurrent [81], [245]. Le risque d'atteinte du nerf récurrent (ou nerf laryngé inférieur) est un risque classique de l'abord du rachis cervical par voie antérieure.

L'incidence de cette complication est variable selon les publications (0,3 % à 16%). Elle dépend des critères retenus comme définition et de la date d'évaluation postopératoire. Il faut signaler que l'incidence retrouvée dans des publications non orthopédiques est nettement supérieure : 5,9 % dans une série d'endartériectomies carotidiennes, 6,8 % dans une série de thyroïdectomies pour lésions bénignes.

Chaîne sympathique

L'atteinte de la chaîne sympathique est responsable d'un syndrome de Claude Bernard Homer, en règle transitoire et sans conséquence clinique.

L'incidence varie de 0,2 à 4 % [26]. Elle survient le plus souvent lors de l'abord du rachis, entre C5 et T1. Elle est plus fréquente au cours des voies rétro-sternocléido-mastoïdiennes ou par refoulement excessif des muscles longs du cou lors de l'abord classique.

Paralysie faciale. Plusieurs cas de paralysie faciale inférieure sont retrouvés dans la littérature (deux cas sur 1 976 patients dans la série de la Pitié, un cas sur 45 dans la série de Senegas [212]. Il s'agit en règle d'une compression de la branche inférieure du nerf facial contre la mandibule par un écarteur au cours de l'abord du rachis cervical supérieur.

Autres atteintes nerveuses. On peut également observer :

- Une atteinte du plexus cervical superficiel. Certains rameaux sensitifs peuvent être sectionnés lors de la dissection du bord antérieur du muscle sterno-cléido-mastoïdien. La conséquence en est une anesthésie cutanée, gênante pour le rasage par exemple ;
- Une atteinte du nerf phrénique. Celle-ci s'observe surtout au cours des voies rétro-sterno-cléido-mastoïdiennes. Le nerf phrénique se situe en avant du scalène antérieur dans un dédoublement de sa gaine, juste en dehors de la partie latérale du corps vertébral. Son atteinte en dessous de C4 est responsable d'une paralysie de la coupole diaphragmatique homolatérale.

B. Complications postopératoires

4. Complications extrarachidiennes

- **Hématome**

Il peut nécessiter ou non une reprise chirurgicale, il est potentiellement grave en cas de laminectomie ou d'abord antérieur avec excision du ligament commun vertébral postérieur, du fait du risque neurologique de toute compression médullaire aiguë.

La fréquence des hématomes au décours d'une voie antérieure est en règle de 1 à 2 %.

- **Infection**

La suppuration superficielle au niveau de la cicatrice est rare. Il s'agit le plus souvent d'hématomes infectés nécessitant une reprise chirurgicale. Ils peuvent parfois s'accompagner de signes généraux (fièvre à 39 °C- 40 °C, frissons, hémocultures positives).

L'ablation du matériel s'avère rarement nécessaire pour des raisons infectieuses, mais celui-ci doit être correctement nettoyé. Les greffons spongieux peuvent également être laissés en place après nettoyage soigneux.

- **Désunion**

Les problèmes de cicatrisation sont plus fréquents au décours de la voie postérieure. Il s'agit le plus souvent d'une mauvaise tolérance des fils plus que d'une désunion.

5. Complications neurologiques

Les complications neurologiques sont toujours, de par leur gravité et leurs séquelles potentielles, la hantise de tout chirurgien.

On définit une complication neurologique comme l'aggravation du tableau neurologique préopératoire ou comme l'apparition d'un déficit postopératoire.

- **Complications radiculaires**

La prévalence des complications radiculaires sur les complications médullaires est moins nette au niveau cervical qu'au niveau lombaire et varie selon les publications et l'étiologie [131]. Bertalanffy [26] retrouve 1,7 % de complications radiculaires et 3,8 % de complications médullaires. Yonenobu a aussi un taux plus important de complications radiculaires (3,4 % pour 2, 1 % de complications médullaires).

Selon Graham [97], elles sont plus fréquentes par voie antérieure.

- **Complications médullaires**

Elles sont plus fréquentes selon Graham [97] au décours de la voie postérieure (fréquence variable de

0,23 % à 5,65 %). Les chiffres publiés varient énormément selon l'étiologie.

6. Brèches durales

Leur fréquence exacte et leurs conséquences sont souvent difficiles à évaluer.

Les conséquences potentielles d'une brèche durale non traitées sont :

- Les céphalées postopératoires ;
- La survenue d'une méningite ;
- Le développement d'une pseudoméningocèle, responsable d'une décompensation tardive du tableau neurologique [107]. Ces pseudoméningocèles sont plus fréquentes à l'étage lombaire que cervical, ne sont pas exclusivement iatrogènes (ils peuvent survenir à la suite d'un traumatisme chez un malade non opéré) et sont chirurgicalement traitables.

7. Complications mécaniques

• Démontage/Débricolage

Mobilisation de greffon et démontage des synthèses antérieures

Le diagnostic de mobilisation du greffon n'est pas synonyme de reprise chirurgicale systématique. La consolidation peut être acquise avec des délais allongés. En revanche, en cas de retentissement œsophagien ou trachéal, la réintervention ne se discute pas.

8. Complications liées à la prise de greffon

Même si l'utilisation des substituts osseux est en pleine expansion actuellement, l'utilisation de greffon iliaque antérieur tri-cortical reste une méthode de fusion utilisée par voie antérieure.

Le prélèvement du greffon iliaque expose à plusieurs complications.

- Hématome
- Infection
- Douleurs

XV. Évolution et Pronostic

Malgré les progrès de la prise en charge aiguë et des soins de soutien de la lésion médullaire, 15 à 20% des patients décèdent avant leur arrivée à l'hôpital [66], [189]. Dans la population survivante, le pronostic est particulièrement médiocre chez les tétraplégiques de haut niveau et les patients dépendants du respirateur, qui sont confrontés à une mortalité d'un an de 8,2% et à une espérance de vie de seulement 10 à 15 ans après la blessure, la septicémie et la pneumonie étant les principales causes de décès [160], [240].

La survie cumulée de la lésion médullaire aiguë est de 94% à 1 an et de 86% à 10 ans [178]. Dans une étude rétrospective des prédicteurs de la mortalité précoce (décès pendant l'hospitalisation initiale pour les TVM), l'augmentation de l'âge après 20 ans, l'aggravation neurologique, des lésions systémiques sévères avec ISS (Injury Severity Score) de 15 ou plus, un TCG associé, un plus grand nombre de comorbidités et un mauvais état neurologique (TVM cervicale ou thoracique) ont été identifiés comme des facteurs contribuant à la mortalité précoce [239].

Selon le National Spinal Cord Injury Statistical Center, à l'admission, le type le plus commun de TVM est la tétraplégie incomplète (41%), suivie d'une paraplégie complète (22%), d'une paraplégie incomplète (21%) et d'une tétraplégie complète (16%). Moins de 1% des patients ont observé une guérison neurologique complète au moment de la sortie de l'hôpital [231]. Le pronostic neurologique suivant la lésion médullaire aiguë dépend du niveau de lésion et du grade de l'ASIA à l'admission, l'ampleur de la récupération anticipée diminuant à mesure que la gravité du traumatisme augmente [251].

Le premier modèle de prédiction clinique pour la guérison après un TVM a été formulé en 2012, impliquant un ensemble de données de 376 patients [253]. La mesure de l'indépendance fonctionnelle à 1 an, a été prédit par quatre variables pré-spécifiées : Bon grade ASIA initial, ASIA Moteur Score dichotomisé de plus de 50 à l'admission, plus jeune âge, et l'absence de changements de signaux intramedullaire à l'IRM.

Un modèle de régression linéaire a été créé avec le résultat primaire modélisé par rapport aux prédicteurs cliniques et d'imagerie obtenu dans les 3 jours de la blessure, et un modèle logistique a ensuite été créé en utilisant le résultat secondaire dichotomisé et les mêmes variables prédictives. Ce modèle de prédiction peut être utilisé pour aider à la classification des patients au sein des essais cliniques, et pour aider les médecins dans le pronostic des résultats à long terme.

Partie 2

Étude Pratique

Étude de notre série

I. Matériel d'étude :

Il s'agit d'une étude observationnelle exhaustive type descriptive à recueil prospectif, concernant les patients qui ont subi une arthrodèse suite à un traumatisme du rachis cervical inférieur, qui s'est déroulé sur 24 mois, à compter du 5 octobre 2015, dans le service de neurochirurgie du CHU d'ORAN.

Le lieu de l'étude est le service de neurochirurgie du CHU Oran, qui est un service avec une capacité de 40 lits, 3 salles opératoires, une unité de réanimation et de soins intensifs, une unité homme, une unité femme et une unité pédiatrie, une unité de radiologie.

Notre équipe comprend le Professeur M. Bouchakour, notre chef de service, 4 maîtres assistants, 4 assistants, et deux réanimateurs.

Nous disposons 3 salles opératoires, avec un amplificateur de brillance, un microscope opératoire, un Cavitron, un endoscope, deux moteurs (pour la trépanation, la craniotomie et le fraisage) et une instrumentation spécifique pour le crâne et le rachis.

Notre série comporte 51 patients qui présentent un traumatisme du rachis cervical inférieur, qui ont tous bénéficié d'un traitement chirurgical, à savoir une arthrodèse rachidienne, sur 95 cas de traumatisme du rachis cervical inférieur.

Le recrutement des malades s'est fait au niveau des urgences médico-chirurgicales et du service de neurochirurgie au **CHU d'Oran**, intéressant aussi bien les patients qui demeurent à Oran,

ainsi que ceux qui demeurent dans d'autres Wilayas, confiées par nos confrères des EPH de Mostaganem, Ain Témouchent, Mascara, Chlef, Adrar, Tiaret, Bechar...

Les sujets inclus dans l'étude sont les patients dont l'âge est supérieur ou égal à 14 ans, présentant un traumatisme du rachis cervical inférieur (de C3 à C7), quel que soit le mécanisme, avec lésions osseuses, et/ou ligamentaires, et/ou médullaires, avec ou sans troubles neurologiques, associés ou non à un traumatisme crânien, ou rentrant dans le cadre d'un polytraumatisme avec un Glasgow d'admission supérieure ou égale à 8.

II. Méthode d'étude :

Afin d'atteindre nos objectifs, le recueil des données s'est fait dans une fiche technique (annexe), qui présente 3 parties :

Une première partie concerne les informations personnelles du patient.

Une 2^{ème} partie concerne les informations de la maladie (ATCD, date et mécanisme du traumatisme, examen clinique et neurologique, et les examens radiologiques).

Une 3^{ème} partie concerne le traitement et la technique utilisée, ainsi que le suivi qui se fera sur 3 mois).

A. Données cliniques

Nous avons suspecté un traumatisme du rachis cervical devant tout traumatisé avec la présence de cervicalgie, de raideurs ou de positions antalgiques du rachis cervical, d'autant plus si les circonstances du traumatisme sont présentes (accidents de plongeon, AVP violent, impact à haute vitesse...).

Après un examen général ainsi que celui de la zone d'appel, un examen neurologique initial systématique est réalisé, comportant une cotation musculaire, sensitive et des réflexes ostéotendineux, ainsi que la recherche de la sensibilité et de la réflexivité anale, mais aussi l'étude des fonctions neurovégétatives (hypotension, bradycardie, dysthermique ...)

À l'issue de cet examen, les lésions neurologiques ont été classées selon la classification ASIA de « A » à « E » :

- A → complète : aucune motricité ou sensibilité dans le territoire S4-S5
- B → incomplète : la sensibilité, mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5

- C → incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3
- D → incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous du niveau a un score ≥ 3
- E = normale : la sensibilité et la motricité sont normales S4 et S5

Cet examen nous a permis aussi de préciser le type de l'atteinte médullaire :

- Atteinte complète,
- Atteinte centromédullaire,
- Atteinte antérieure,
- Atteinte postérieure,
- Atteinte radiculaire,
- Ou pas d'atteinte.

Ainsi que les niveaux moteurs et sensitifs de l'atteinte : (C3 → C7)

Afin de bien suivre l'évolution neurologique, l'examen neurologique effectué par le même examinateur, à savoir le Dr Ayoun, a été répété tout au long de l'hospitalisation de nos patients, en préopératoire, postopératoire, avant la sortie, lors du 1^{er} RDV en consultation externe à 1 mois, et lors du 2^{ème} RDV de consultation externe à 3 mois, et donc avec un recul de 03 mois post-op, les résultats de ces examens ont été notés sur la fiche technique (annexe).

B. Données de l'imagerie

Les examens qui ont été réalisés dans notre étude sont les radiographies standards (face et profil) et les clichés dynamiques (flexion et extension) du rachis cervical, les TDM et les IRM cervicales.

Les radiographies standards étaient un examen de première intention, réalisées chez tous nos patients, en incidence de face, mais surtout de profil prenant la charnière cervico-dorsale de C1 à D1.

Les clichés dynamiques ont été réalisés généralement chez des patients sans troubles neurologiques, avec des radiographies standards sans anomalies, afin d'éliminer une instabilité rachidienne.

La tomodensitométrie est un examen réalisé lorsque les radiographies standards n'ont pas pu analyser avec précision les lésions ostéoarticulaires, ou lorsqu'il subsiste un doute, elle est réalisée en coupe axiale avec reconstruction sagittale, coronale et 3D.

L'IRM médullaire cervicale est utilisée dans la pathologie rachidienne traumatique chez des patients avec une atteinte neurologique ou non. Les plans sagittal, frontal et axial sont réalisés en deux séquences pondérées T1 et pondérées T2. Ceci nous a permis une étude des tissus mous (disques, ligaments...), ainsi que de la moelle épinière.

Les examens radiologiques post-opératoire réalisée sont une radiographie standard du rachis cervical de face et de profil à j+1, puis une TDM +/- IRM à J+30.

C. Classification des lésions

Le système de classification des traumatismes du rachis cervical inférieur que nous avons adopté est la classification d'Argenson et la classification d'AOSpine afin de la comparer à celle d'Argenson.

La classification SLIC concernant l'indication chirurgicale a été utilisée, pour comparer nos indications à celles décrites dans la littérature.

D. Méthodes thérapeutiques

La prise en charge de nos malades a été basée sur l'état neurologique, le type de lésion, ainsi que sa classification anatomopathologique.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, tous nos patients ont bénéficié d'un traitement chirurgical, et nous n'avons pas inclus dans cette étude les patients ayant bénéficié d'un traitement orthopédique, au total nous avons traité 95 patients qui ont présenté un traumatisme du rachis cervical inférieur (53% de tous les traumatisés du rachis cervical inférieur ont bénéficié d'un traitement chirurgical contre 47% qui ont bénéficié d'un traitement orthopédique).

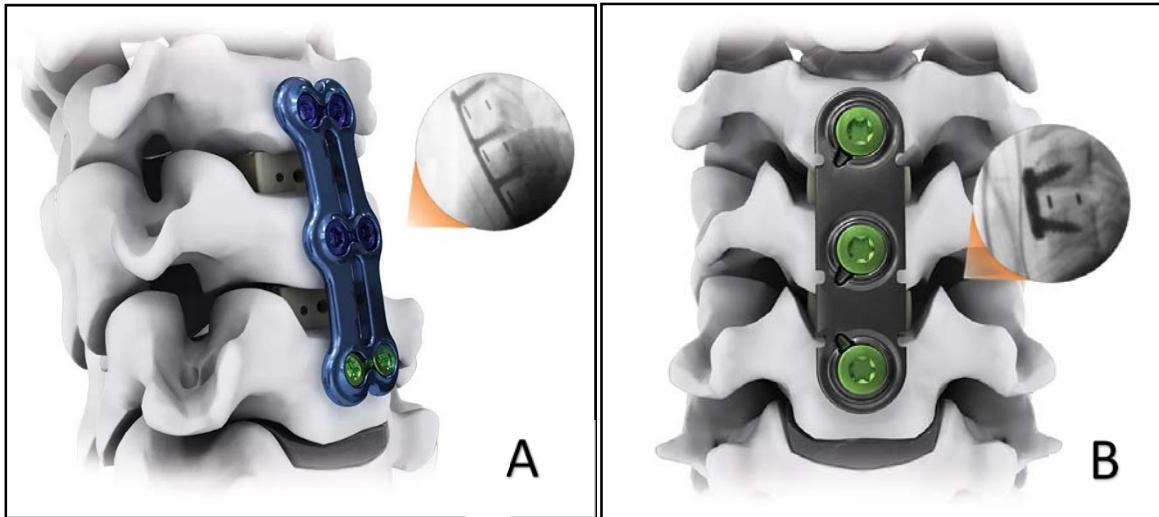
La traction transcrânienne a été réalisée avec l'étrier de Gardner plus simple à utiliser si on le compare avec l'étrier de Crutchfield.

La traction a été indiquée dans deux situations, en préopératoire au lit du patient et en peropératoire dans le bloc opératoire en utilisant 1/10 du poids du patient.

Pour le traitement chirurgical, deux voies opératoires ont été utilisées dans le traitement chirurgical des traumatismes du rachis cervical inférieur, la voie antérieure et la voie postérieure.

Pour cette étude, nous avons fait l'acquisition de nouveaux matériaux d'ostéosynthèse et de substitution osseuses, à savoir :

- Système de plaque cervicale antérieure Life Spine NEO-SL (type SENEGAS).
- Système de plaque cervicale antérieure Life Spine NEO-UL (Type ROY CAMILLE).
- Système de Fixation occipito-cervico-thoracique postérieur Life Spine SOLSTICE.
- Système de cage cervicale intersomatique cervicale Kasios Klementine.
- Système de cage-plaque cervicale intersomatique cervicale KASIOS Kage Plak PL
- Système de Cage cervicale avec Substitut Osseux Synthétique KASIOS Wedge Kage RSF.
- Matériel de substitut osseux synthétique KASIOS TCP en forme granulés, bâtonnets, blocs et injectable.



**Figure 68 - Système de plaque cervicale antérieure Life Spine
NEO-SL (A) et NEO-UL (B)**

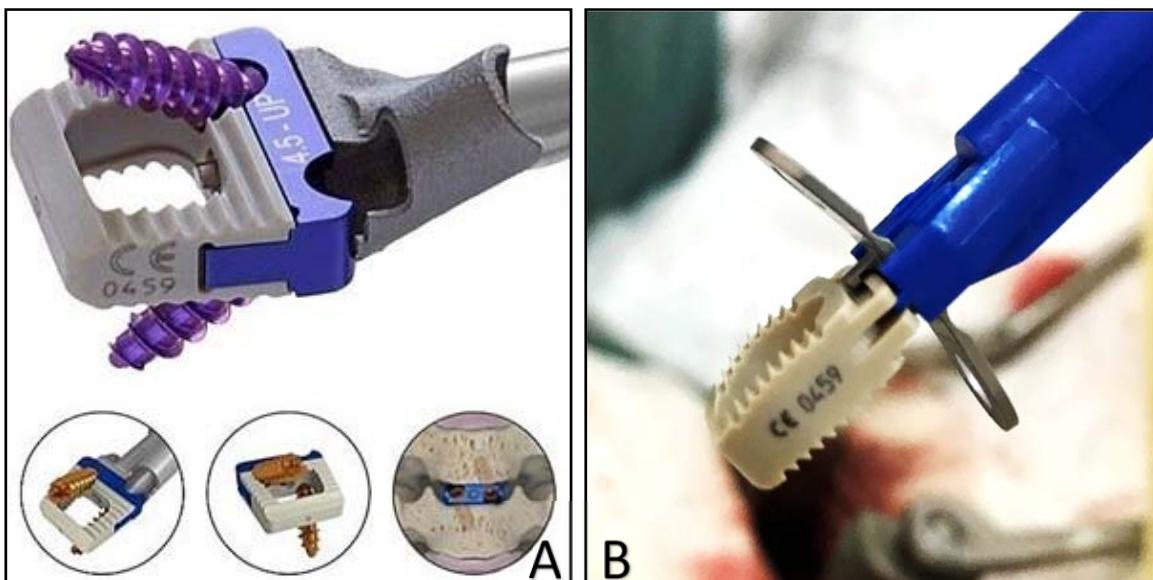


Figure 69 - Système de cage cervicale intersomatique cervicale Kasios Klementine (A) et Kage Plak PL (B)

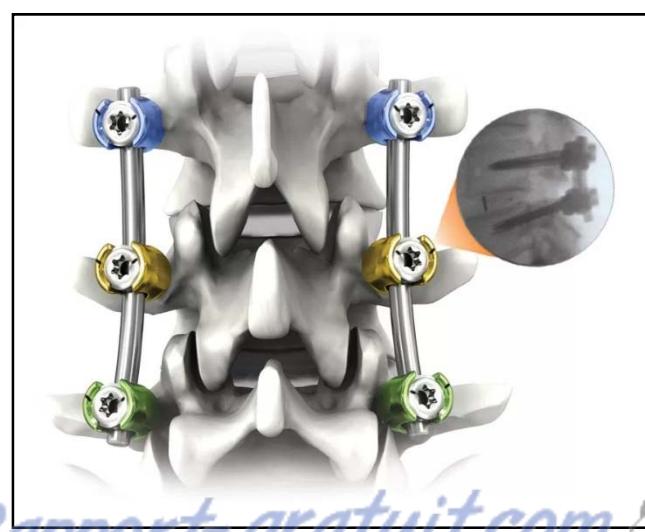
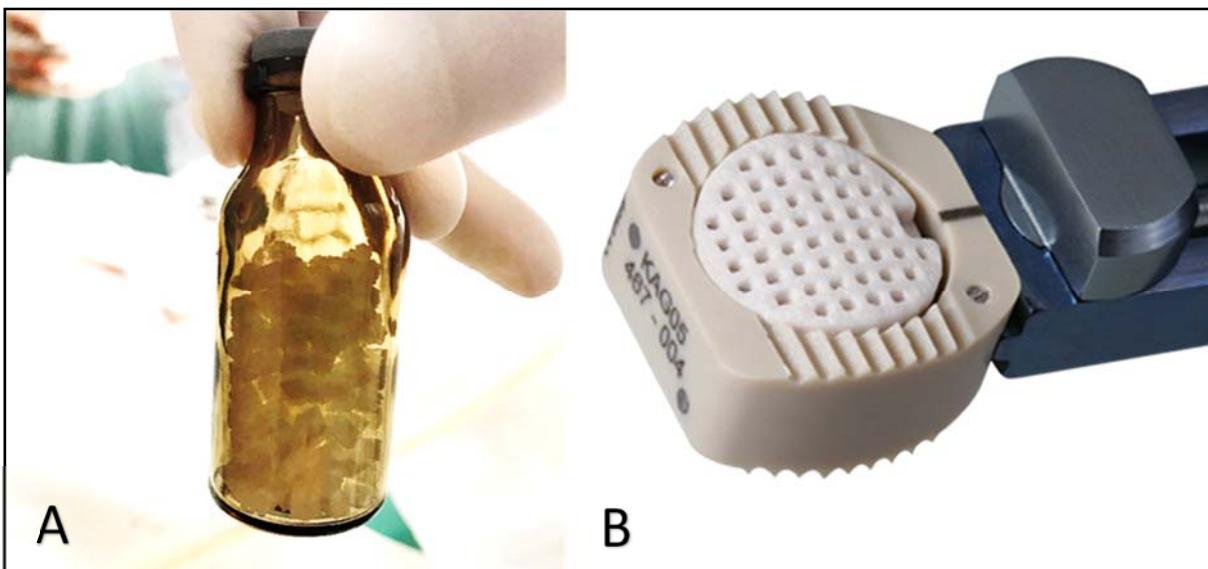


Figure 70 - Système de Fixation occipito-cervico-thoracique postérieur Life Spine SOLSTICE



**Figure 71 - (A) Système de Cage cervicale avec Substitut Osseux Synthétique KASIOS
Wedge Kage RSF
(B) Matériel de substitut osseux synthétique KASIOS TCP en forme granulés**

Tous ces nouveaux matériaux sus cités sont IRM compatibles, nous pourrons faire des IRM de contrôle après la chirurgie même avec un matériel d'ostéosynthèse en place, ceci nous permettra de contrôler notre montage, et de suivre l'évolution des lésions médullaires après chirurgie, bien mieux visible sur IRM que sur TDM, chose qui n'était pas possible avec les anciens matériaux d'ostéosynthèse que nous disposions qui étaient non-IRM compatibles.

Pour l'étude des examens radiologiques nous utiliserons un logiciel d'affichage et de traitement d'imagerie médicale : SYNEDRA VIEW PERSONAL Version 16.0.0.3, ceci nous permettra de mieux visualiser les lésions vertèbro-médullaires afin de mieux les comprendre, et aussi pour avoir des images d'illustration de bonne qualité et dans différents plans (MPR, 3D).

E. Analyse statistique

Nous avons utilisé le logiciel SPSS versions 20.0 pour l'analyse statistique, les valeurs ont été exprimées en taux pour les variables discontinues et nous avons utilisés le test du X^2 pour les tableaux croisés, les différences ont été considéré comme significatives pour des valeurs de P inférieures ou égales à 0.05

III. Résultats

A. Épidémiologie

1. Fréquence des traumatismes du rachis cervical inférieur

La fréquence exacte des traumatismes du rachis cervical en général et du rachis cervical inférieur en Algérie n'est pas connue, il n'existe pas encore un travail national sur la pathologie rachidienne traumatique.

Dans notre service, la chirurgie du rachis en général représente environ 40% de notre activité opératoire, cela inclut la pathologie traumatique, dégénérative, tumorale et infectieuse.

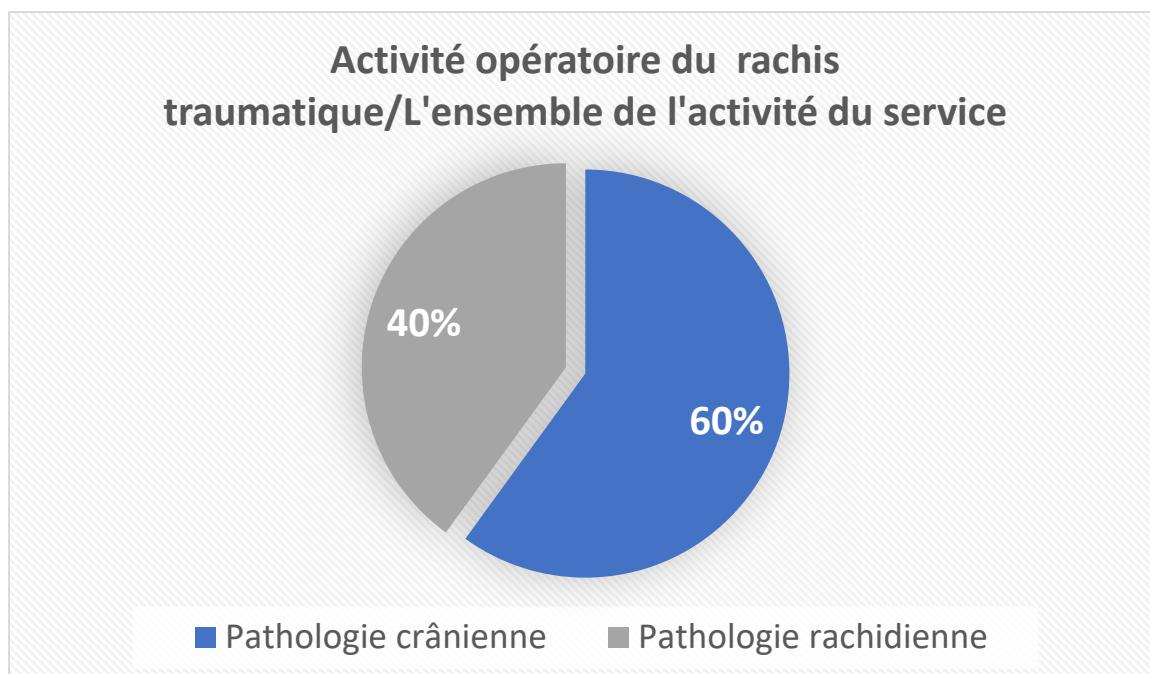


Figure 72 – Répartition de l'activité opératoire au niveau du service de neurochirurgie de CHU Oran

Depuis quelques années, d'autres centres dans l'Ouest algérien ont commencé à prendre en charge ce genre de pathologie, notamment Ain Témouchent, Mostaganem, Chlef, Bechar, Mascara, Relizane et Tiaret.

La chirurgie du rachis traumatique est pratiquée dans notre service depuis l'an 2000, nous pratiquons en moyenne environ 40 procédures par an, cela inclut le rachis traumatique cervical et dorso-lombaire, avec une légère prédominance pour le rachis cervical.

Durant cette étude nous avons enregistré au total 106 cas de traumatismes du rachis cervical, dont 11 intéressent le rachis cervical supérieur, et 95 le rachis cervical inférieur.

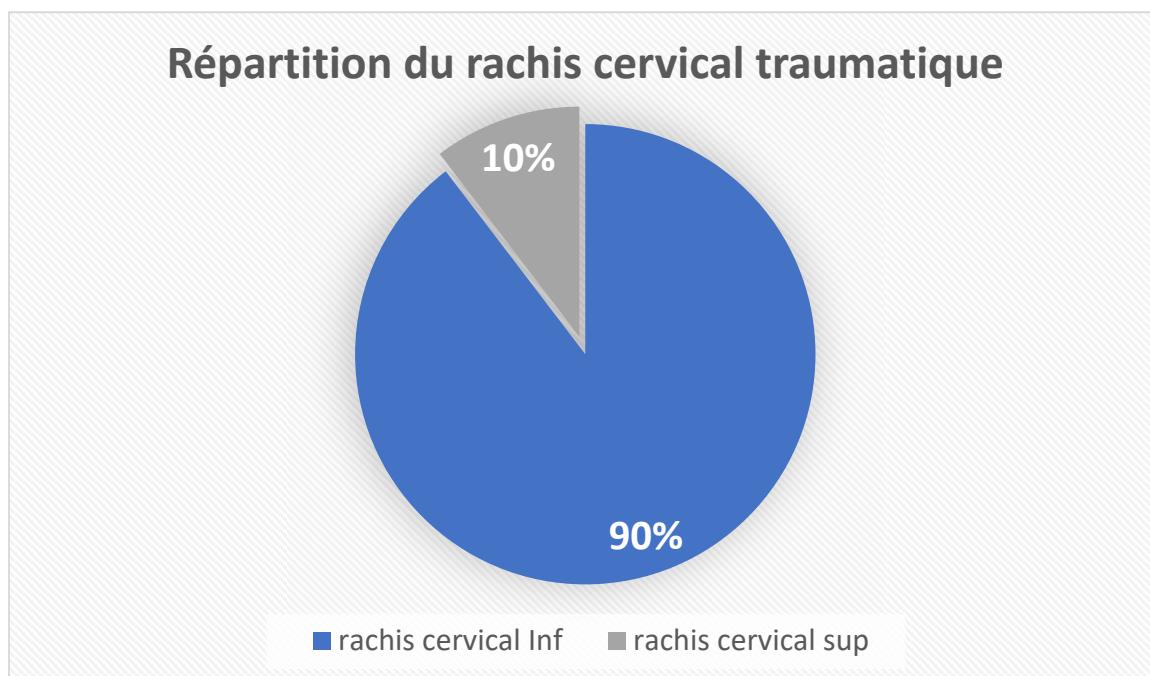


Figure 73 – Répartition du rachis cervical traumatique selon le siège de la lésion, dans le service de neurochirurgie du CHU Oran

Chez les 95 patients qui présentaient un traumatisme du rachis cervical inférieur, 44 ont bénéficié d'un traitement orthopédique, et 51 patients ont bénéficié d'un traitement chirurgical.

Dans cette étude nous avons inclus seulement les patients traités chirurgicalement.

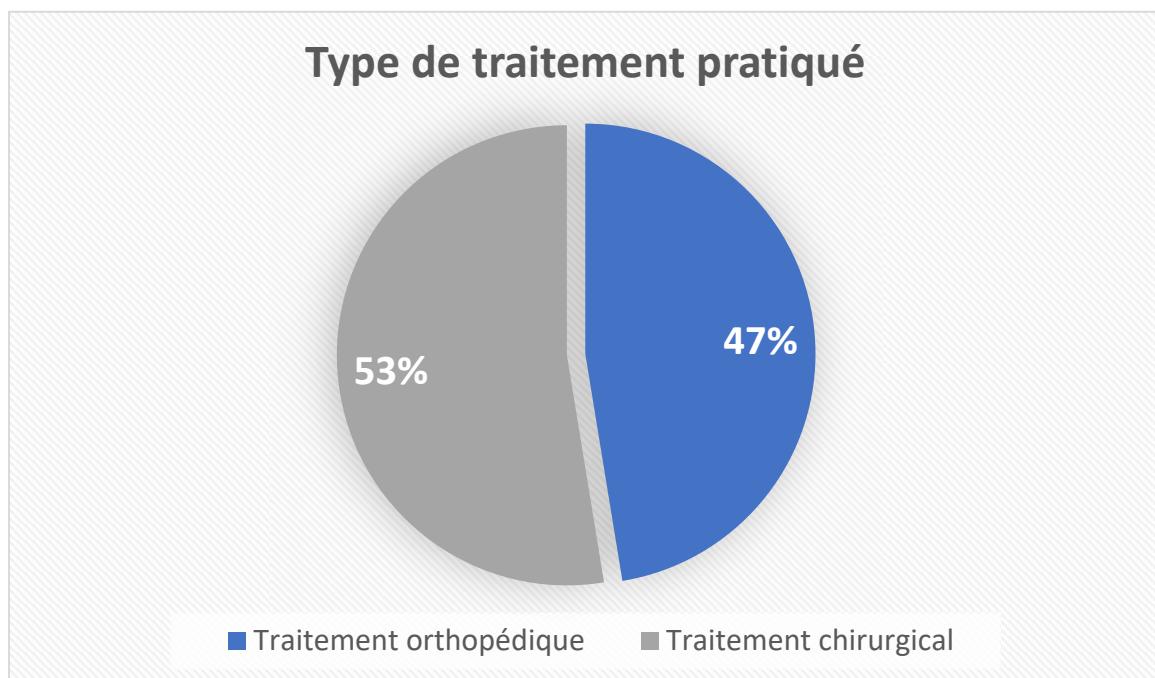


Figure 74 – Répartition selon le type de traitement pratiqué

2. Répartition selon l'âge

L'âge de nos patients est compris entre 14 et 76 ans (Tableau 5)

La moyenne d'âge est de 35.92 ans, une médiane de 32 ans, et le mode est aussi de 32 ans, avec un intervalle de 62 ans.

La tranche d'âge 20 - 40 ans est la plus touchée par les traumatismes du rachis cervical inférieur avec 51% des cas.

Tableau 5 – Répartition des patients selon leur classe d'âge (années)

| Âge | Effectifs | % |
|----------------|-----------|-------------|
| < 20 | 7 | 13.7 |
| 20 - 30 | 13 | 25.5 |
| 30 - 40 | 13 | 25.5 |
| 40 - 50 | 11 | 21.6 |
| > 50 | 7 | 13.7 |
| Total | 51 | 100 |

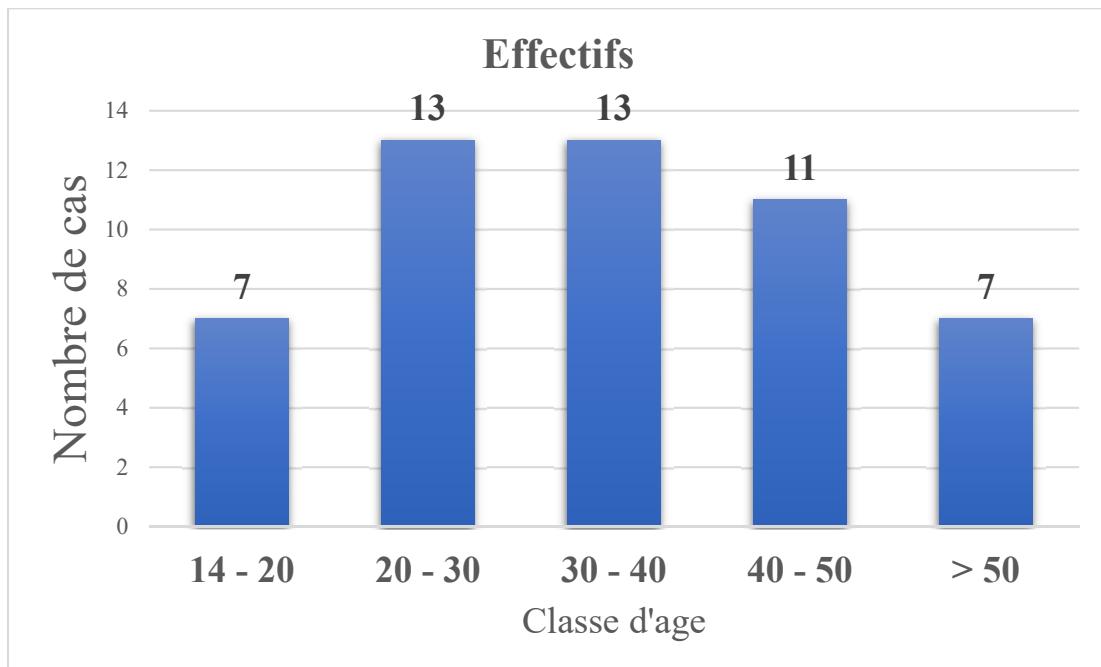


Figure 75 - Répartition des patients selon l'âge (années)

3. Répartition selon le sexe

Dans notre étude nous avons constaté une nette prédominance masculine, en effet, 86.3% de nos patients sont de sexe masculin, contre 13.7% pour le sexe féminin (Tableau 6).

Le sexe-ratio est de 6.28.

Tableau 6 – Répartition des patients selon le sexe

| Sexe | Effectifs | % |
|----------|-----------|------|
| Masculin | 44 | 86.3 |
| Féminin | 7 | 13.7 |
| Total | 51 | 100 |

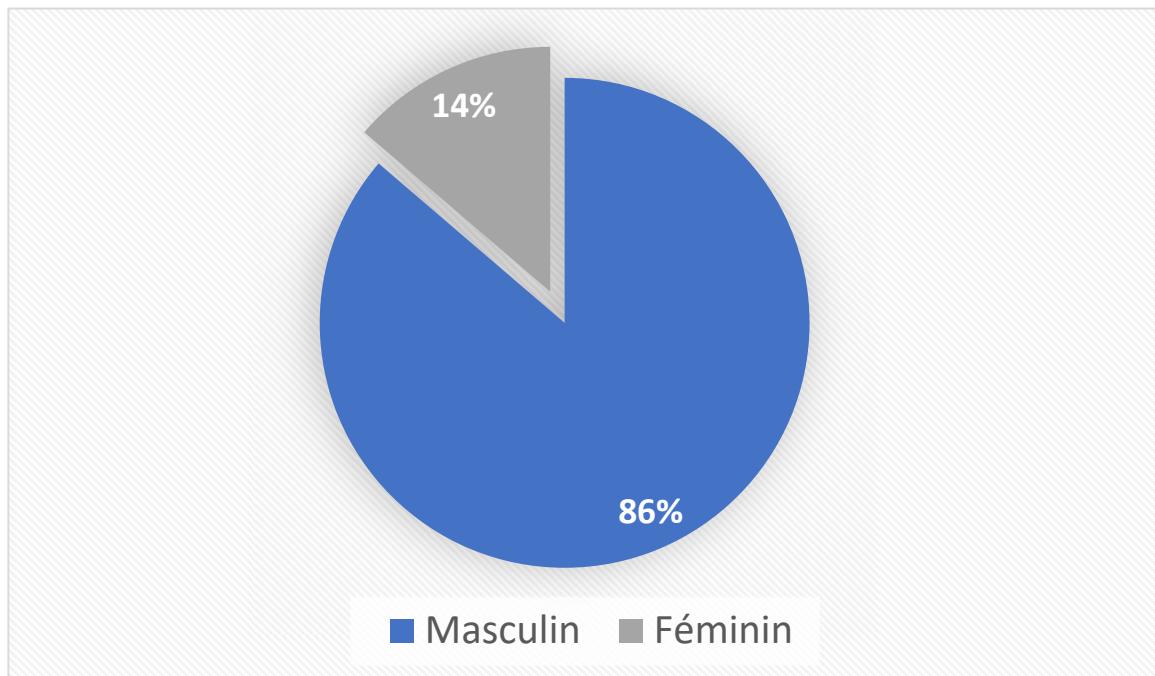


Figure 76 - répartition des patients selon le sexe

4. Répartition selon l'âge et le sexe

Les patients âgés entre 14 et 40 ans représentent plus des deux tiers (68.2%) des patients de sexe masculin, et seulement 42.9% pour les patients de sexe féminin.

Les patients âgés de 40 et plus représentent 31.9% des patients de sexe masculin, et 57.2% pour les patients de sexe féminin. (Tableau 7)

Dans le graphe suivant (Figure 77) nous avons constaté que les courbes ont tendance à s'inverser pour le sexe masculin, où la fréquence des arthrodèses du rachis cervical inférieur diminue avec l'âge après 20 ans, alors qu'elle augmente pour le sexe féminin.

Tableau 7 – Répartition selon l'âge et le sexe

| Sexe du patient | Classe d'âge (années) | | | | | Total |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------|--------------|
| | 14 -20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 – 50 | > 50 | |
| Masculin | 7 | 12 | 11 | 9 | 5 | 44 |
| | 15.9% | 27.3% | 25.0% | 20.5% | 11.4% | 100% |
| Féminin | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 |
| | 0% | 14.3% | 28.6% | 28.6% | 28.6% | 100% |
| Total | 7 | 13 | 13 | 11 | 7 | 51 |
| | 13.7% | 25.5% | 25.5% | 21.6% | 13.7% | 100% |

P = 0.57 DNS

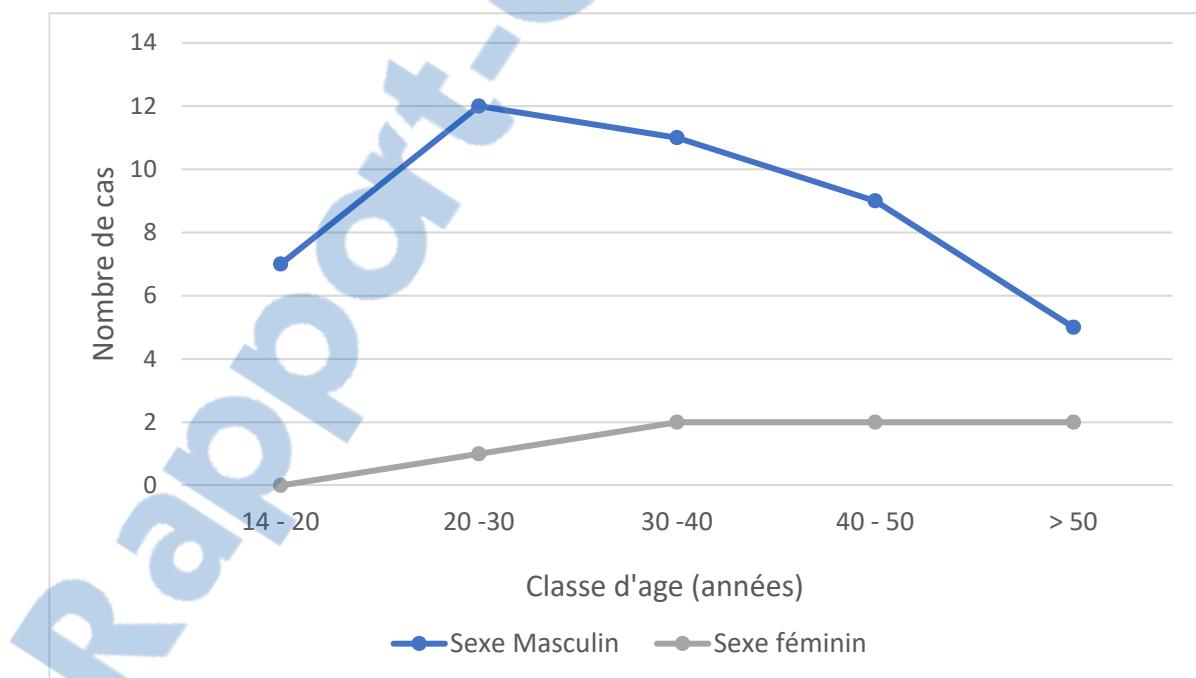


Figure 77 - Répartition selon l'âge et le sexe

5. Répartition selon la wilaya d'origine

La répartition géographique de la provenance des traumatismes du rachis cervical inférieur était la suivante (Figure 78) :

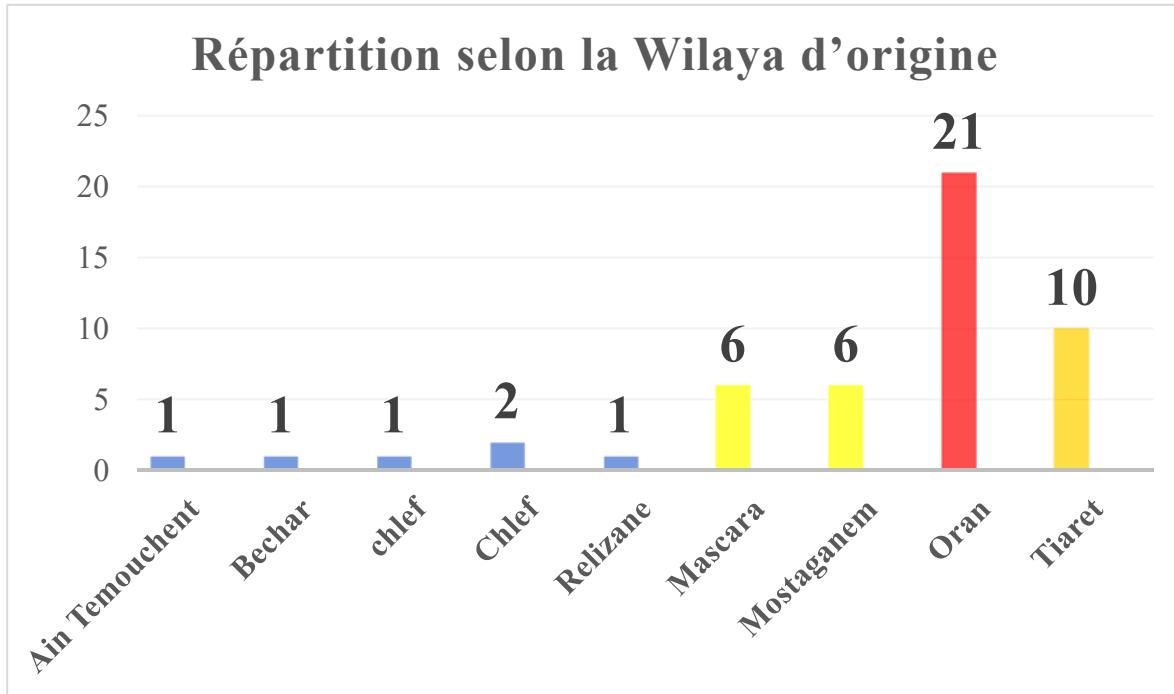


Figure 78 – Répartition selon la Wilaya d'origine

La Wilaya d'Oran occupe la première place selon les Wilayas d'origine avec 21 patients, ce qui représente 41% des patients.

Les trois principales wilayas évacuatrices sont Tiaret, Mascara et Mostaganem, et représentent à elles seules 78% des évacuations vers notre service.

6. Les Antécédents

Les tableaux suivants récapitulent les antécédents médicaux (Tableau 8) et chirurgicaux (Tableau 9) des patients, la plupart des patients (82.4%) étaient sans antécédents connus.

Tableau 8 – Antécédents médicaux

| Antécédents médicaux | Effectif | % |
|----------------------|----------|-------|
| ACFA | 1 | 2 |
| DID | 2 | 3.9 |
| DNID | 1 | 2 |
| DNID + HTA | 2 | 3.9 |
| Épilepsie | 1 | 2 |
| Hépatite C | 1 | 2 |
| Scoliose | 1 | 2 |
| Sans ATCD | 42 | 82.4 |
| Total | 51 | 100.0 |

Tableau 9 – Antécédents chirurgicaux

| Antécédents chirurgicaux | Effectif | % |
|--------------------------|----------|-------|
| Appendicectomie | 1 | 2 |
| Fibrome utérin | 1 | 2 |
| Kyste hydatique du foie | 1 | 2 |
| Scoliose | 1 | 2 |
| Sans ATCD | 47 | 92.2 |
| Total | 51 | 100.0 |

7. Les étiologies

Dans notre série, l'étiologie des traumatismes du rachis cervical était dominée par les AVP (accidents de la voie publique) (66.7%), cela comprenait les occupants des véhicules à moteur ainsi que les piétons qui ont été renversés par les voitures. Suivie des accidents de plongeon (15.7%), les chutes (11.8%) puis les accidents de sport, les accidents de travail et les coups et blessures volontaires (2%) (Tableau 10).

Tableau 10 – Répartition selon l'étiologie

| Étiologie | Effectifs | % |
|------------|-----------|------|
| AVP | 34 | 66.7 |
| Plongeant | 8 | 15.7 |
| Chute | 6 | 11.8 |
| Sport | 1 | 2 |
| A. Travail | 1 | 2 |
| CBV | 1 | 2 |
| Total | 51 | 100 |

Les hommes étaient plus exposés à des blessures pour presque toutes les causes par rapport aux femmes. (Tableau 11)

Tableau 11 – Répartition selon le sexe et l'étiologie

| Sexe du patient | Étiologie | | | | | | Total |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------|-----------|------|-------|
| | AVP | Chute | A/Plongeon | A/Sport | A/Travail | CBV | |
| Masculin | 29 | 4 | 8 | 1 | 1 | 1 | 44 |
| | 65.9% | 9.1% | 18.2% | 2.3% | 2.3% | 2.3% | 100% |
| Féminin | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| | 71.4% | 28.6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| Total | 34 | 6 | 8 | 1 | 1 | 1 | 51 |
| | 66.7% | 15.7% | 11.8% | 2% | 2% | 2% | 100% |

P = 0.57 DNS

Dans le tableau suivant (Tableau 12), nous avons constaté que les AVP touchent toutes les classes d'âge, alors que les chutes intéressent préférentiellement les sujets relativement âgés, et les accidents de plongeon en eaux peu profondes touchent les sujets jeunes.

Tableau 12 – Répartition selon l'âge et l'étiologie

| Classe d'âge | Étiologie | | | | | | Total |
|----------------|--------------|-------|--------------|---------|-----------|-------|-------|
| | AVP | Chute | A/Plongeon | A/Sport | A/Travail | CBV | |
| 14 – 20 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| | 28.6% | 0% | 57.1% | 0% | 0% | 14.3% | 100% |
| 20 – 30 | 10 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | 76.9% | 7.7% | 15.4% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| 30 – 40 | 9 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 13 |
| | 69.2% | 7.7% | 15.4% | 0% | 7.7% | 0% | 100% |
| 40 – 50 | 8 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11 |
| | 72.7% | 18.2% | 0% | 9.1% | 0% | 0% | 100% |
| > 50 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| | 71.4% | 28.6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |
| Total | 34 | 6 | 8 | 1 | 1 | 1 | 51 |
| | 66.7% | 15.7% | 11.8% | 2% | 2% | 2% | 100% |

$\chi^2 = 5.48$ P = 0.14 DNS

B. Prise en charge pré-hospitalière

1. Mode d'admission

Durant notre étude, nous avons reçu 37 patients dans le cadre de l'urgence, ce qui correspond à 72.5%, cependant nous recevons encore des patients en dehors de toute urgence, juste avec une lettre d'orientation et avec leurs propres moyens, il s'agit de 14 patients présentant des traumatismes du rachis cervical inférieur négligé. (Tableau 13)

Tableau 13 – Répartition selon le mode d'admission

| Mode d'admission | Effectif | % |
|---------------------|----------|------|
| Urgence | 37 | 72.5 |
| Consultation | 14 | 27.5 |
| Total | 51 | 100 |

2. Délai d'admission

Pour les délais d'admission, 60.8% de nos patients ont été admis dans les 24 heures suivant le traumatisme, ce qui représente 31 patients, 11.8% patient ont été admis entre 24 et 72 heures, et 27.5% après 3 jours. (Tableau 14)

Tableau 14 – Répartition selon les délais d'admission

| Mode d'admission | Effectif | % |
|-----------------------|----------|------|
| < 24 heures | 31 | 60.8 |
| 24 – 72 h | 6 | 11.8 |
| > 72 heures | 14 | 27.5 |
| Total | 51 | 100 |

Nous avons représenté nos patients dans l'histogramme suivant (Figure 79).

Les délais entre le traumatisme et l'admission au sein de notre structure, varie entre 2 heures et 35 jours, avec une moyenne de 8 jours, et le mode à 6 heures, mais la plupart de nos patients ont été admis dans les 72 heures suivant l'admission (72.5% des patients).

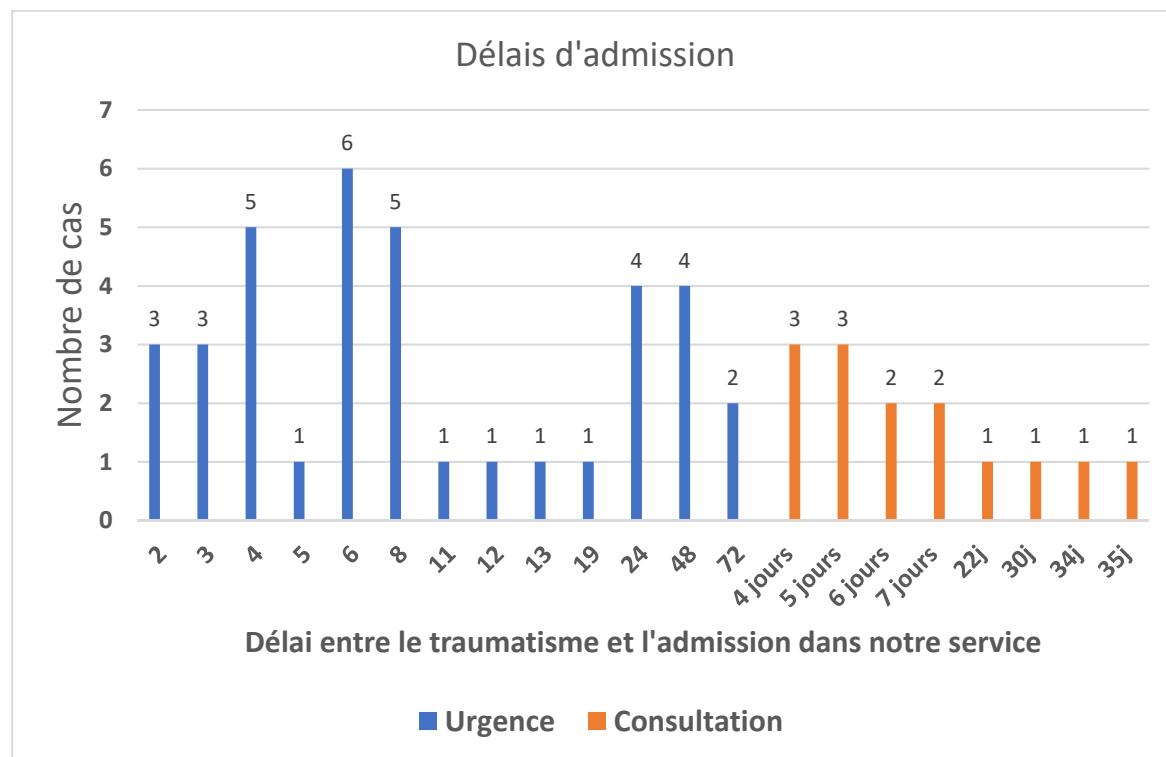


Figure 79 – Réparation selon le délai d'admission

Afin d'avoir une meilleure compréhension des causes des délais tardifs d'admissions, nous avons établi un tableau croisé dans lequel nous avons mis l'origine du patient dans les lignes, et les délais d'admission dans les colonnes. (Tableau 15)

Nous avons constaté que 81% des patients ayant fait le traumatisme dans la Wilaya d'Oran ont été admis avant les 24 heures, et seulement 19.1% ont été admis après 24 heures suivant le traumatisme.

Pour les patients ayant fait les traumatismes en dehors d'Oran, plus de la moitié d'entre eux ont été admis après les 24 heures suivant le traumatisme, et 36.7% après les 72%.

Tableau 15 – Origines des patients / Délais d'admission

| Origine | Délai d'admission | | | Total |
|--------------------|-------------------|-----------|-------------|--------|
| | < 24 heures | 24 – 72 h | > 72 heures | |
| Oran | 17 | 1 | 3 | 21 |
| | 81.0% | 4.8% | 14.3% | 100.0% |
| Hors Wilaya | 33.3% | 2.0% | 5.9% | 41.2% |
| | 14 | 5 | 11 | 30 |
| Total | 46.7% | 16.7% | 36.7% | 100.0% |
| | 27.5% | 9.8% | 21.6% | 58.8% |
| Total | | | | |
| | 31 | 6 | 14 | 51 |
| | 60.8% | 11.8% | 27.5% | 100.0% |

X² = 6.13 P = 0.04

3. Transport des blessés

Pour ce qui est du transport des blessés du rachis, nous avons fait un constat assez alarmant, seulement 47.1% des patients ont bénéficié d'un ramassage avec civière, ce qui représente moins de la moitié de la totalité des patients de notre étude. (Tableau 16)

Tableau 16 – Répartition en fonction du ramassage avec civière (Civière)

| Ramassage avec civière | Effectifs | % |
|------------------------|-----------|------|
| Oui | 24 | 47.1 |
| Non | 27 | 52.9 |
| Total | 51 | 100 |

Environ deux tiers des patients ont bénéficié d'un transport médicalisé (35 patients), et 16 patients n'ont pas eu droit à un transport médicalisé. (Tableau 17)

Tableau 17 – Répartition en fonction du transport médicalisé

| Transport médicalisé | Effectifs | % |
|-----------------------------|------------------|----------|
| Oui | 35 | 68.6 |
| Non | 16 | 31.4 |
| Total | 51 | 100 |

Malgré l'importance de l'immobilisation du cou lors des traumatismes du rachis cervical, 4 patients ont été adressés sans minerve cervicale, ce qui représente 7.8% des patients de notre étude.

Tableau 18 – Répartition en fonction du port ou non de minerve avant l'admission

| Port de Minerve avant l'admission | Effectifs | % |
|--|------------------|----------|
| Oui | 47 | 92.2 |
| Non | 4 | 7.8 |
| Total | 51 | 100 |

C. Clinique

À leur admission, les patients ont bénéficié d'un examen général afin d'éliminer une urgence vitale, puis un examen de la zone d'appel, un examen neurologique initial systématique est réalisé, comportant une cotation musculaire, sensitive et des réflexes ostéotendineux, ainsi que la recherche de la sensibilité et de la motricité anale, mais aussi l'étude des fonctions neurovégétatives (hypotension, bradycardie, dysthermique ...)

À l'issue de cet examen, les lésions neurologiques ont été classées selon la classification ASIA.

1. Symptomatologie rachidienne

Le syndrome rachidien a été retrouvé chez 47 patients, ce qui correspond à 92.1% de nos patients, dominé par les cervicalgies provoquées par la palpation des épineuses (31patients). Les cervicalgies isolées ou associées à des névralgies cervico-brachiales (NCB) ont représenté respectivement 17.6% et 13.7% de l'ensemble des patients. (Tableau 19)

Tableau 19 - Répartition en fonction de la symptomatologie rachidienne

| Symptômes | Effectifs | % |
|-----------------------------------|-----------|------|
| Douleurs Provoquées | 31 | 60.8 |
| Cervicalgies isolées | 9 | 17.6 |
| Douleurs épineuses + NCB | 7 | 13.7 |
| NCB | 3 | 5.9 |
| Examen sans particularités | 1 | 2.0 |
| Torticolis | 0 | 0 |
| Total | 51 | 100 |

2. Examen neurologique initial

L'examen neurologique initial de nos patients, effectué au moment de l'admission, nous a permis dans un premier temps de chercher s'il y avait ou pas la présence d'un déficit sensitivo-moteur, puis un examen neurologique minutieux a été réalisé, intéressant la cotation musculaire et la sensibilité afin de chercher le niveau de l'atteinte, le type de l'atteinte et puis de les classer selon la classification ASIA.

(Tableau 20)

Tableau 20 – Répartition de l'effectif selon la classification ASIA

| ASIA IMPAIRMENT SCALE | Effectifs | Pourcentage |
|-----------------------|-----------|--------------|
| A | 4 | 7.8 |
| B | 3 | 5.9 |
| C | 5 | 9.8 |
| D | 19 | 37.3 |
| E | 20 | 39.2 |
| Total | 51 | 100.0 |

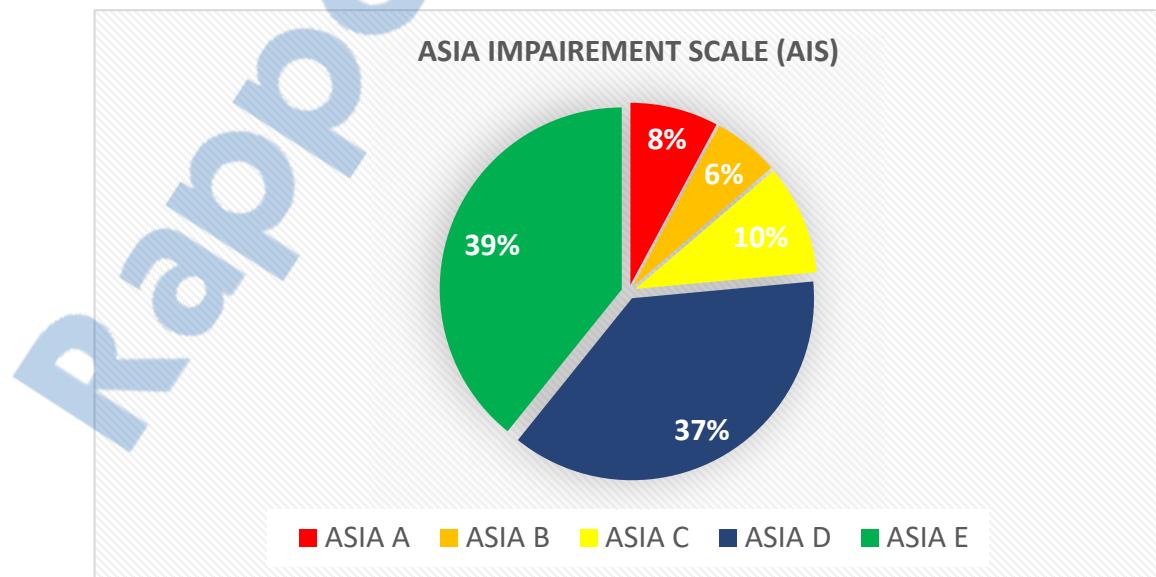


Figure 80 - Répartition selon la classification ASIA

Sur les 51 patients de notre série, 20 avaient un examen neurologique normal (29.2%), 31 patients (60.7%) ont présenté des troubles neurologiques. (Figure 80)

Nous avons constaté que 60.1% des patients admis avec des troubles neurologiques étaient classé ASIA D, et le reste étaient répartis à pourcentage presque égal entre ASIA C, B et A respectivement 16.1%, 9.6% et 12.9%.

Les scores ASIA moteur (Figure 81), ASIA sensitif toucher (Figure 82) et ASIA sensitif piqûre des patients (Figure 83) ont été représentés individuellement dans les 3 histogrammes suivants, afin d'avoir une idée sur la répartition de ces scores :

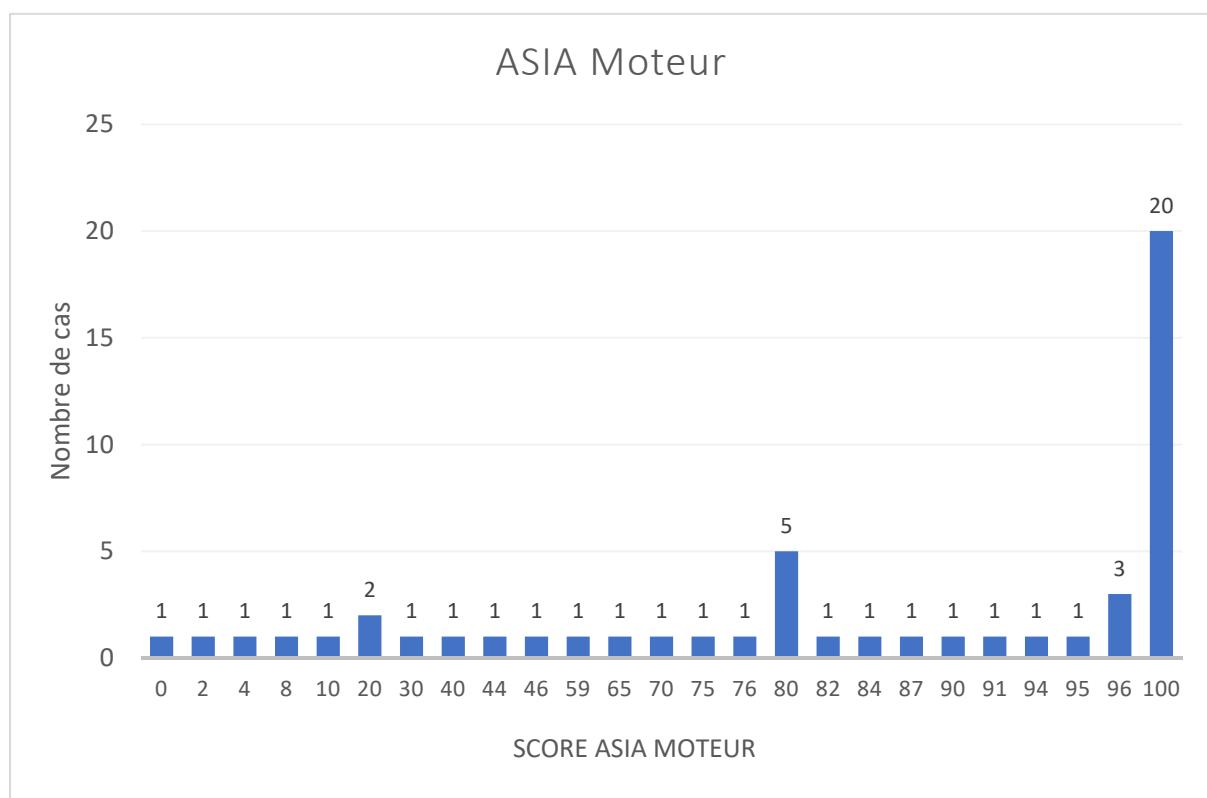


Figure 81 - Répartition selon le score ASIA moteur

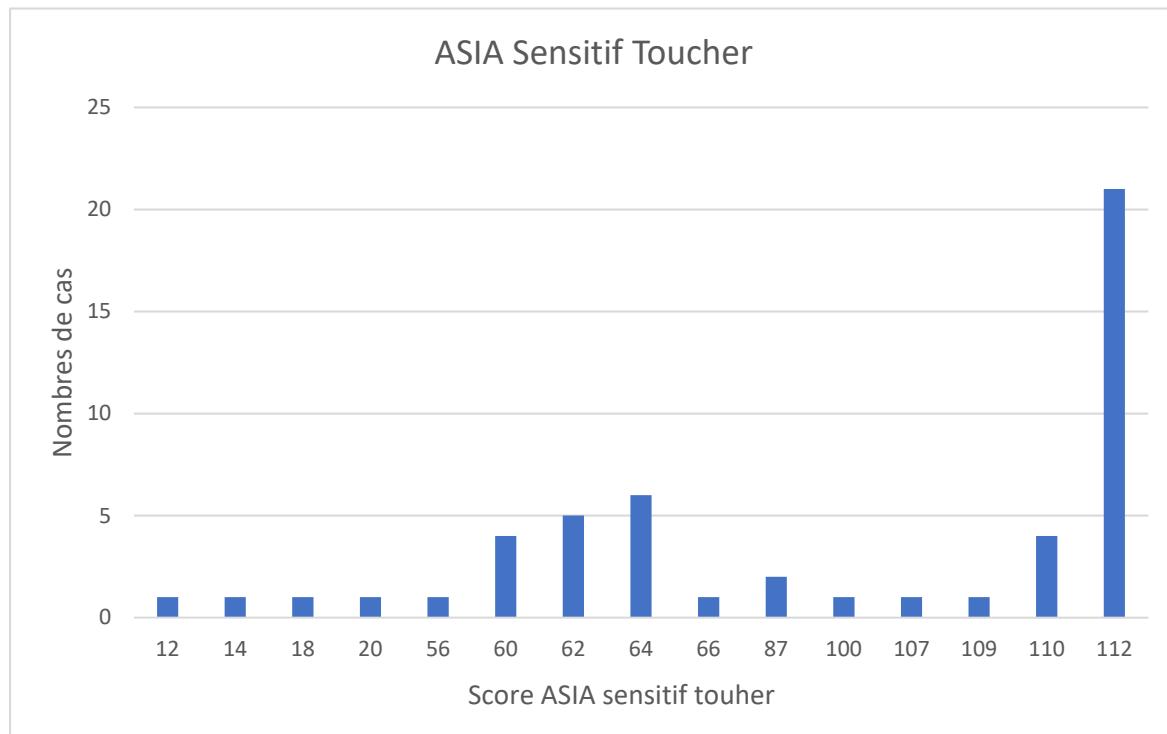


Figure 82 - Répartition selon le score ASIA sensitif toucher

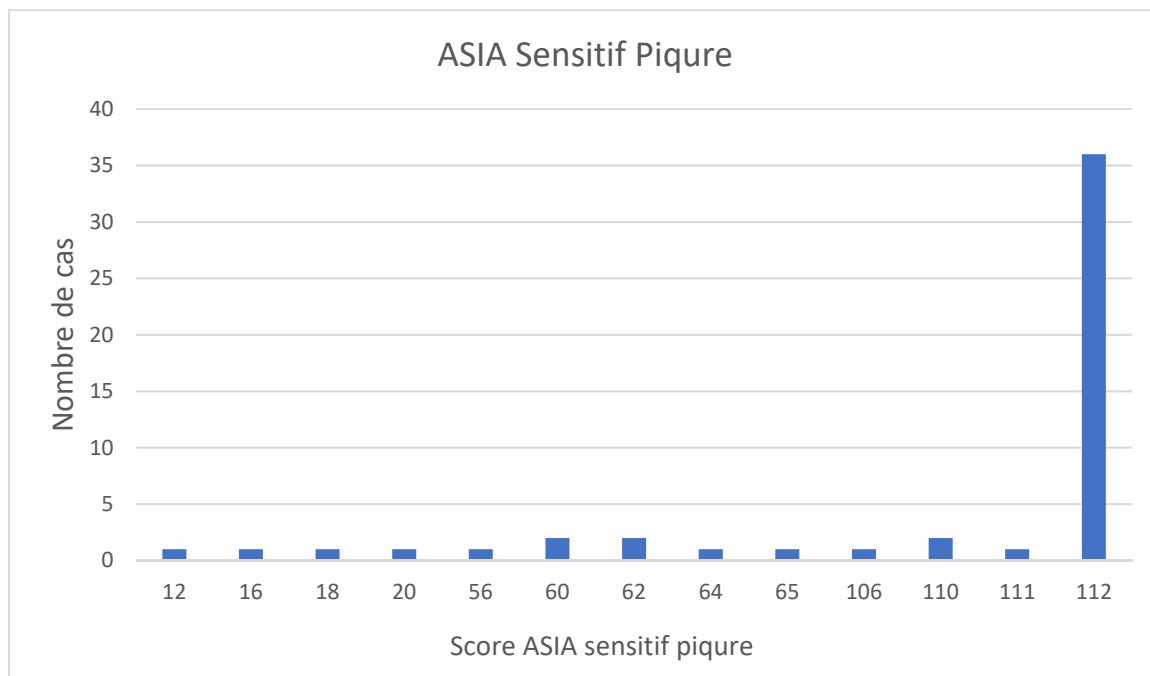


Figure 83 - Répartition selon le score ASIA sensitif pique

Dans le tableau suivant, nous avons essayé de représenter la relation entre le statut neurologique et la cause du traumatisme. (Tableau 21)

Nous avons constaté que pour les accidents de la voie publique et les accidents de plongeons toutes les classes de l'échelle ASIA sont possibles, et pour ces mêmes causes de traumatismes que nous avons les troubles neurologiques les plus sévères, à savoir les 04 patients avec un ASIA A.

Tableau 21 – Relation entre le statut neurologique et la cause du traumatisme

| Étiologie | ASIA Impairement Scale | | | | | Total |
|-------------------|------------------------|------|------|-------|---------|--------------|
| | A | B | C | D | E | |
| AVP | 2 | 2 | 1 | 13 | 16 | 34 |
| | 3.9% | 3.9% | 2.0% | 25.5% | 31.4.8% | 66.7% |
| Chute | 0 | 0 | 1 | 5 | 0 | 6 |
| | 0% | 0% | 2.0% | 9.8% | 0% | 11.8% |
| A/Plongeon | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 8 |
| | 3.9% | 2.0% | 3.9% | 2.0% | 3.9% | 15.7% |
| A/Sport | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 0% | 0% | 2.0% | 0% | 0% | 2.0% |
| A/Travail | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 0% | 0% | 0% | 0% | 2.0% | 2.0% |
| CBV | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | 0% | 0% | 0% | 0% | 2.0% | 2.0% |
| Total | 4 | 3 | 5 | 19 | 20 | 51 |
| | 7.8% | 5.9% | 9.8% | 37.3% | 39.2% | 100% |

P > 0.05 DNS

L'examen neurologique nous a permis aussi de répartir les patients avec des troubles neurologiques selon le syndrome neurologique médullaire ou radiculaire. (Tableau 22)

Le syndrome neurologique le plus rencontré est le syndrome médullaire antérieur avec 23.5% des patients déficitaire, suivi du syndrome centromédullaire (15.7%), puis du syndrome radiculaire (11.8%).

Le syndrome médullaire complet était retrouvé chez 4 patients (7.8%).

Nous avons noté un seul cas de syndrome médullaire postérieur.

Tableau 22 – Répartition selon le syndrome neurologique

| Syndrome médullaire | Effectif | % |
|-------------------------|----------|-------|
| Antérieur | 12 | 23.5 |
| Centromédullaire | 8 | 15.7 |
| Radiculaire | 6 | 11.8 |
| Complet | 4 | 7.8 |
| Postérieur | 1 | 2.0 |
| Total | 31 | 100.0 |
| Pas d'atteinte | 20 | 39.2 |
| Total | 51 | 100.0 |

Pour ce qui est du niveau neurologique, à savoir le niveau moteur et le niveau sensitif, ils ont été répartis dans les tableaux suivants : (Tableau 23 - Tableau 24)

Tableau 23 – Répartition selon le niveau moteur

| Niveau Moteur | Effectif | % |
|----------------------|-----------------|----------|
| C5 | 16 | 31.4 |
| C6 | 12 | 23.5 |
| C7 | 3 | 5.9 |
| Pas de niveau | 20 | 39.2 |
| Total | 51 | 100.0 |

Tableau 24 – Répartition selon le niveau sensitif

| Niveau Sensitif | Effectif | % |
|------------------------|-----------------|----------|
| C4 | 4 | 7.8 |
| C5 | 12 | 23.5 |
| C6 | 12 | 23.5 |
| C7 | 3 | 5.9 |
| Pas de niveau | 20 | 39.2 |
| Total | 51 | 100.0 |

Les niveaux C5 et C6 sont les plus touchés chez nos patients déficitaires, y compris pour les niveaux moteurs et sensitifs.

Les troubles neurovégétatifs faits de bradycardie et d'hypotension ont été observés chez 2 patients (3.9%) seulement. (Tableau 25)

Tableau 25 – Répartition en fonction de la présence ou non de troubles neurovégétatifs

| Troubles neurovégétatifs | Effectifs | % |
|---------------------------------|------------------|----------|
| Oui | 2 | 3.9 |
| Non | 49 | 96.1 |
| Total | 51 | 100 |

Les troubles respiratoires ont été trouvés chez 6 patients de notre série, à savoir 11.8% des patients, il s'agit de respiration abdominale par paralysie des muscles respiratoires. (Tableau 26)

Tableau 26 – Répartition en fonction de la présence ou non de troubles respiratoires

| Respiration abdominale | Effectifs | % |
|-------------------------------|------------------|----------|
| Oui | 6 | 11.8 |
| Non | 45 | 88.2 |
| Total | 51 | 100 |

L'examen neurologique a été complété par l'examen géno- sphinctérien, à la recherche de la contraction et la sensibilité anale, ainsi que la présence ou non de priapisme.

La contraction anale était absente chez 15.7% de nos patients (Tableau 27) ; la sensibilité anale était absente chez 7.8% de nos patients (Tableau 28), et le priapisme présent chez 7.8%. (Tableau 29)

Tableau 27 – Répartition en fonction de la présence ou non de troubles géno-sphinctériens (Contraction anale)

| Contraction Anale | Effectifs | % |
|--------------------------|------------------|----------|
| Oui | 43 | 84.3 |
| Non | 8 | 15.7 |
| Total | 51 | 100 |

Tableau 28 - Répartition en fonction de la présence ou non de troubles génito-sphinctériens (Sensibilité anale)

| Sensibilité anale | Effectifs | % |
|-------------------|-----------|------------|
| Oui | 47 | 92.2 |
| Non | 4 | 7.8 |
| Total | 51 | 100 |

Tableau 29 – Répartition en fonction de la présence ou non de troubles génito-sphinctériens (Priapisme)

| Priapisme | Effectifs | % |
|--------------|-----------|------------|
| Oui | 4 | 7.8 |
| Non | 47 | 92.2 |
| Total | 51 | 100 |

3. Examen de l'état de conscience

L'état de conscience est compris dans l'examen neurologique initial, il a été évalué selon le score de Glasgow.

Un Glasgow à 15 a été retrouvé chez 98% de nos patients, un patient avait un Glasgow à 14.

4. Traumatismes associés

Les associations lésionnelles lors des traumatismes rachidiens témoignent parfois de la violence du traumatisme, compliquent la prise en charge thérapeutique et peuvent engager le pronostic vital.

Dans le Tableau 30, nous avons regroupé tous les traumatismes associés, le traumatisme crânien est le plus rencontré avec 9.8 % des patients, suivi des traumatismes thoraciques, abdominaux et des membres avec 3.9% chacun.

En tout 9 patients ont présenté un traumatisme associé, ce qui représente 17.6% des patients.

Tableau 30 – Répartition en fonction de l'association lésionnelle

| Traumatisme associé | Effectif | % |
|----------------------------|-----------------|----------|
| Crânien | 5 | 9.8 |
| Thoracique | 2 | 3.9 |
| Abdominal | 2 | 3.9 |
| Membres | 2 | 3.9 |
| Total | 11 | 21.5 |

Nous avons retrouvé une association avec un traumatisme du rachis cervical supérieur chez 3 patients, il s'agit de deux patients avec fracture de C1 et un patient avec une fracture de C2, dans les 3 cas l'indication opératoire n'a pas été posée.

Tableau 31 - Répartition en fonction de l'association à un traumatisme C1-C2

| Traumatisme cervical supérieur associé | Effectifs | % |
|---|------------------|----------|
| Oui | 3 | 5.9 |
| Non | 48 | 94.1 |
| Total | 51 | 100 |

D. Examens paracliniques

1. Radiographie standard

Tous les patients ont bénéficié de clichés radiographiques standards du rachis cervical avec un bilan radiologique comprenant au minimum une incidence de face et de profil, le plus souvent elle nous a permis de faire un bilan initial. (Tableau 32)

Dans 13 cas, les radiographies standards étaient sans anomalies traumatiques visibles, malgré l'existence de trouble neurologique, et donc imposant la réalisation d'une IRM médullaire.

2. Radiographie dynamique

Les clichés dynamiques du rachis cervical, faits de façon passive en flexion puis extension, pratiqués en cas de doute sur l'instabilité du rachis cervical, généralement à la recherche d'une entorse grave chez des patients avec absence de lésions chirurgicales évidentes.

Ils ont été réalisés chez 10 patients (19.6%).

Tableau 32 – Répartition en fonction des examens paracliniques réalisés

| Examen pratiqué | Effectif | % |
|------------------------------|-----------------|----------|
| Radiographie standard | 51 | 100.0 |
| Clichés dynamiques | 10 | 19.6 |
| TDM | 46 | 90.2 |
| IRM | 34 | 66.7 |
| EMG | 5 | 9.8 |

3. Tomodensitométrie (TDM) du rachis cervical

Une TDM du rachis cervical en coupes axiales avec reconstruction sagittale, coronale et 3D, a été pratiquée chez 46 patients, soit 90.2% des patients, elle nous a permis de poser avec précision le bilan lésionnel ostéoarticulaire.

4. Imagerie par résonance magnétique (IRM) médullaire cervicale

Réalisée en coupe sagittale, axiale, et coronale, avec séquences T1 et T2.

Elle nous a permis de faire un diagnostic lésionnel bien détaillé, surtout afin d'étudier les lésions de la moelle épinière, mais aussi du segment mobile rachidien.

Elle a été réalisée chez 34 patients, soit 66.7% des cas.

5. Exploration neurophysiologique

Un électromyogramme (EMG) des membres supérieurs a été réalisé chez 5 patients (9.8%), qui ont présenté un syndrome radiculaire.

Le tableau suivant représente les examens paracliniques réalisés en fonction de l'examen neurologique initial. (Tableau 33)

Tableau 33 – Examen paraclinique/Score ASIA initial

| ASIA | A | B | C | D | E | Total |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| Examen RX | | | | | | |
| Rx Standard | 4 7.8% | 3 5.9% | 5 9.8% | 19 37.3% | 20 39.2% | 51 100.0% |
| Rx Dynamique | 0 0% | 0 0% | 0 0% | 3 5.9% | 7 13.7% | 10 19.6% |
| TDM | 4 7.8% | 3 5.9% | 4 7.8% | 16 31.4% | 19 37.3% | 46 90.2% |
| IRM | 3 5.9% | 2 3.9% | 5 9.8% | 14 27.5% | 10 19.6% | 34 66.7% |
| EMG | 0 0% | 0 0% | 0 0% | 3 5.9% | 2 3.9% | 5 9.8% |

P > 0.05 DNS

E. Lésions Anatomopathologiques

1. Fracture vertébrale

Une fracture osseuse a été rencontrée chez 25 patients (Tableau 34), soit 49% des patients, dominés par les fractures comminutives (13 cas) et les fractures-luxations uniarticulaires (11 cas).

Tableau 34 – Présence d'une lésion osseuse

| Lésion osseuse | Effectif | % |
|----------------|-----------|--------------|
| Oui | 26 | 51.0 |
| Non | 25 | 49.0 |
| Total | 51 | 100.0 |

Les vertèbres les plus touchées ont été représentées dans l'histogramme suivant (Figure 84), on notera qu'une fracture de C5 a été retrouvée chez 9 patients, c'est la vertèbre la plus touchée, suivie de C7 puis C4 et C6.

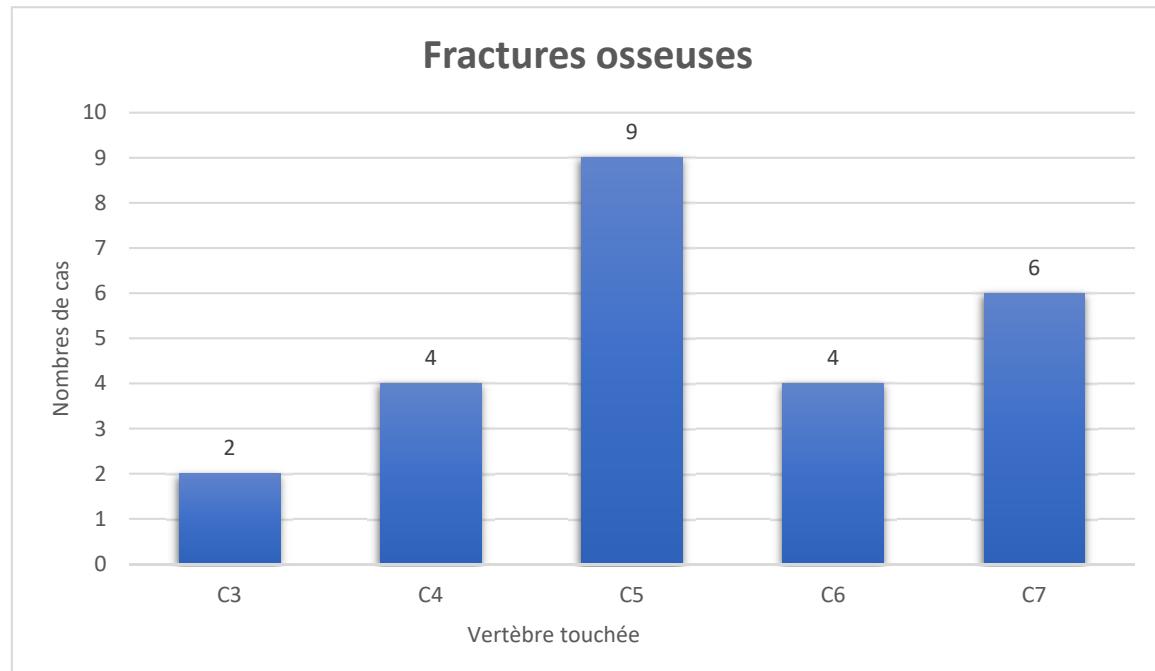


Figure 84 - Répartition selon la vertèbre fracturée

2. Luxations et fractures luxations

Les luxations pures et les fractures-luxations ont été retrouvées chez 24 patients, soit 47%, ils ont été répartis en fonction du niveau atteint dans l'histogramme suivant : (Figure 85)

C3-C4 et C4-C5 sont les niveaux les plus touchés.

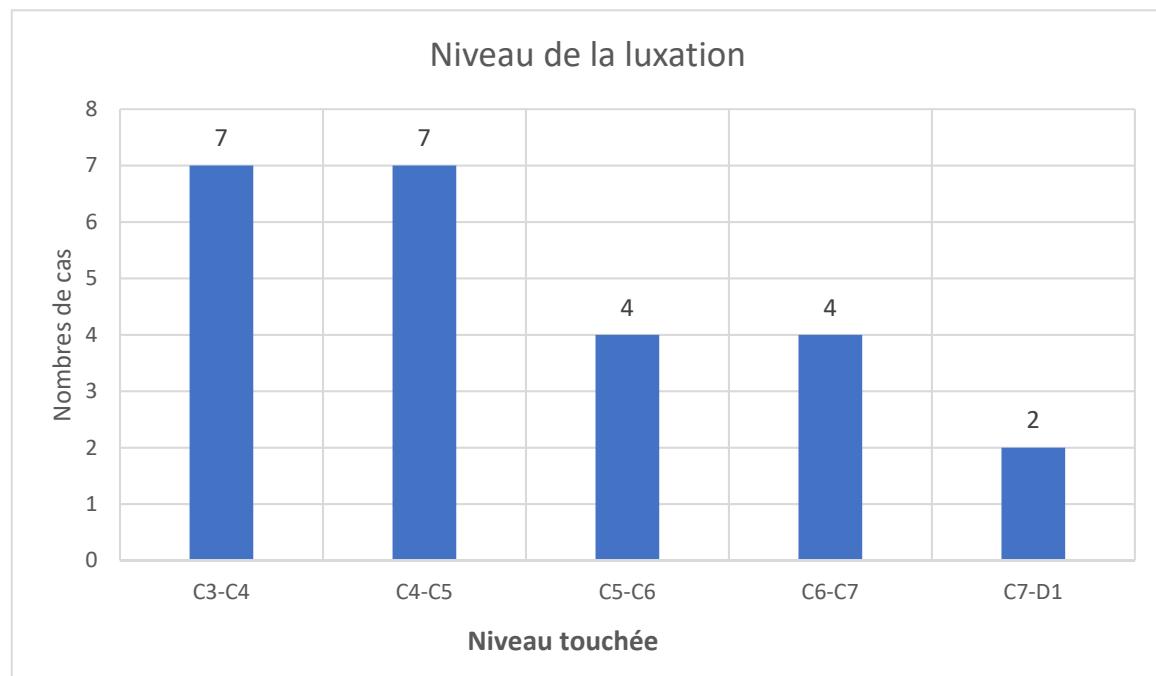


Figure 85 - Répartition selon le niveau de la luxation

3. Hernie discale

La présence d'une hernie discale a été constatée chez 11 patients soit 21.6%. (Tableau 35)

Tableau 35 - Hernie discale post-traumatique

| Présence de hernie discale | Effectif | % |
|----------------------------|-----------|--------------|
| Hernie discale simple | 7 | 13.7 |
| Hernie discale double | 4 | 7.8 |
| Non | 40 | 78.4 |
| Total | 51 | 100.0 |

4. Atteinte médullaire

Une atteinte médullaire a été retrouvée chez 20 patients de notre série à des degrés variables. (Tableau 36)

Tableau 36 – Atteinte médullaire

| Atteinte médullaire | Effectif | % |
|----------------------------|-----------------|----------|
| Oui | 20 | 39.2 |
| Non | 31 | 60.8 |
| Total | 51 | 100.0 |

5. Imagerie pré-opératoire

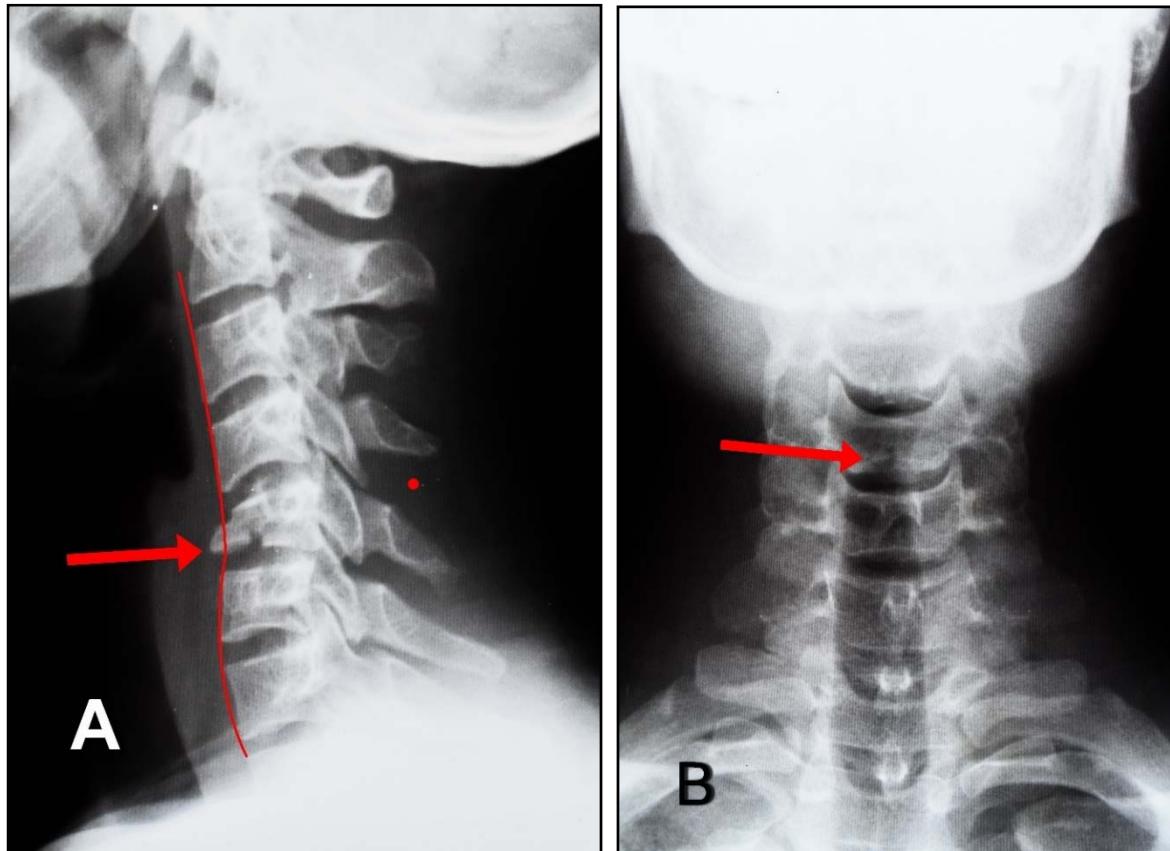


Figure 86 – Fracture Tear Drop de C5

Radiographie cervicale standard de profil (A) et de face (B) avec détachement du coin antéro-inferieur (flèche), inversion de la lordose cervicale et bâillement des épineuses C4 – C5 (point rouge)

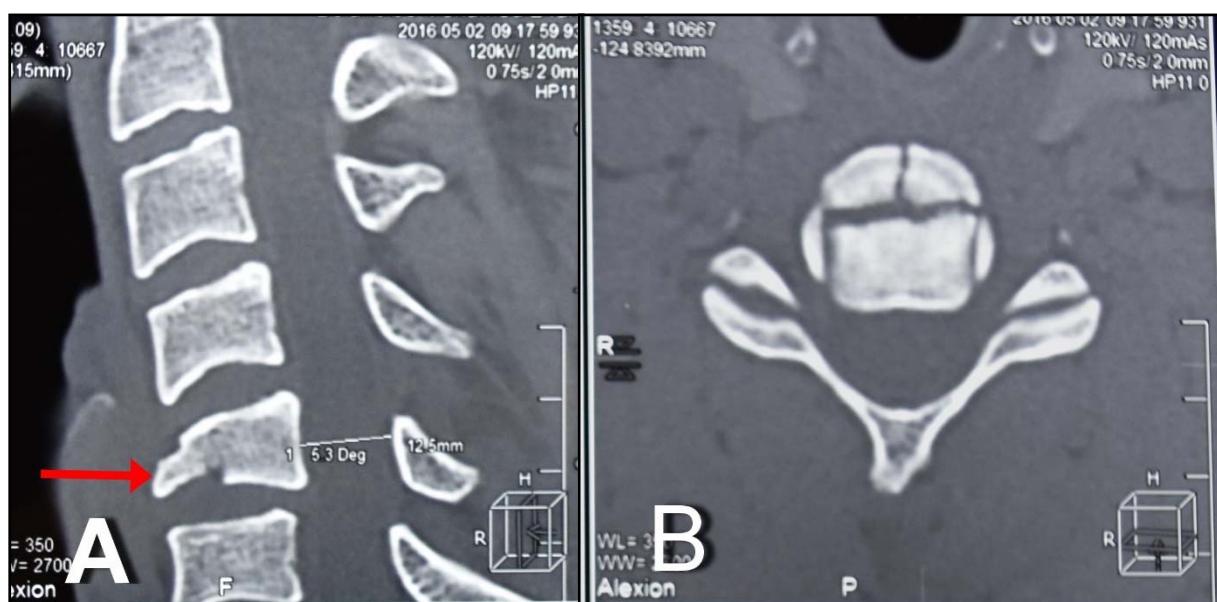


Figure 87 – Fracture Tear Drop de C5

TDM cervicale avec reconstruction sagittale (A) et coupe axiale (B)

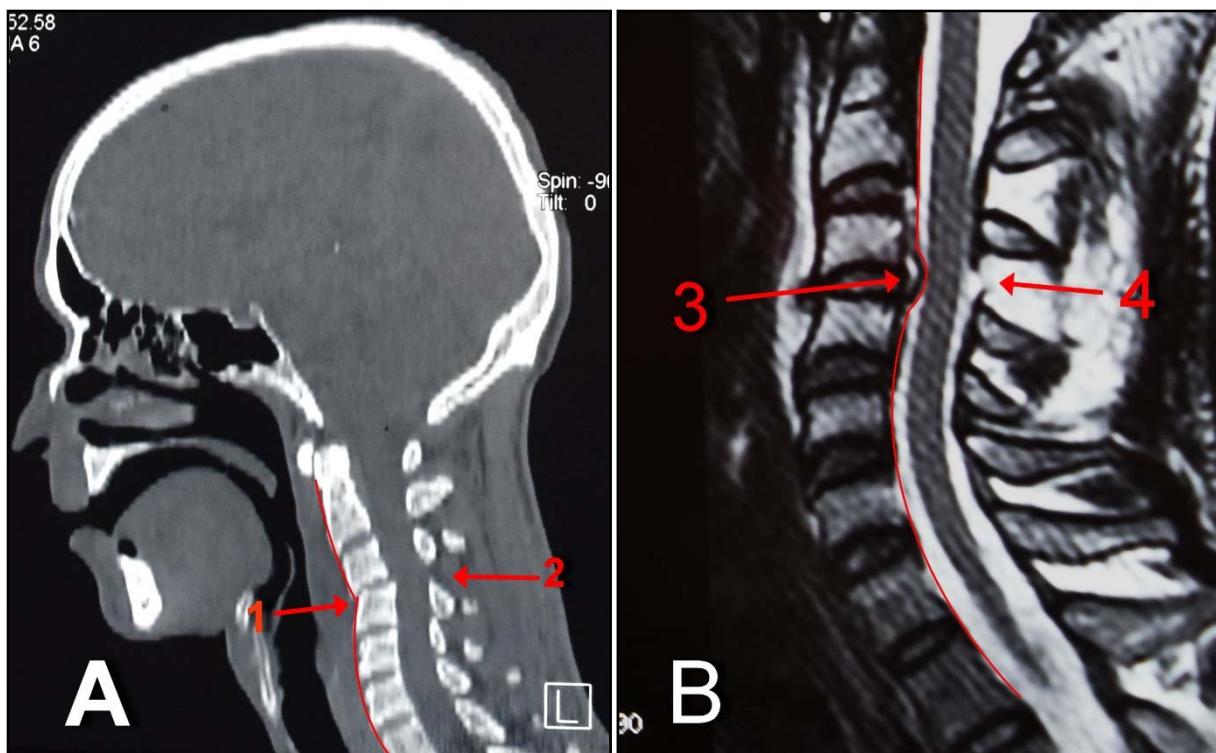


Figure 88 – Entorse grave C3-C4

TDM cervicale avec reconstruction sagittale (A) et IRM cervicale coupe sagittale (B) montrant un antélisthésis de C3 sur C4 (1), bâillement des épineuses C3-C4 (2), hernie discale (3) et rupture du ligament jaune (4).

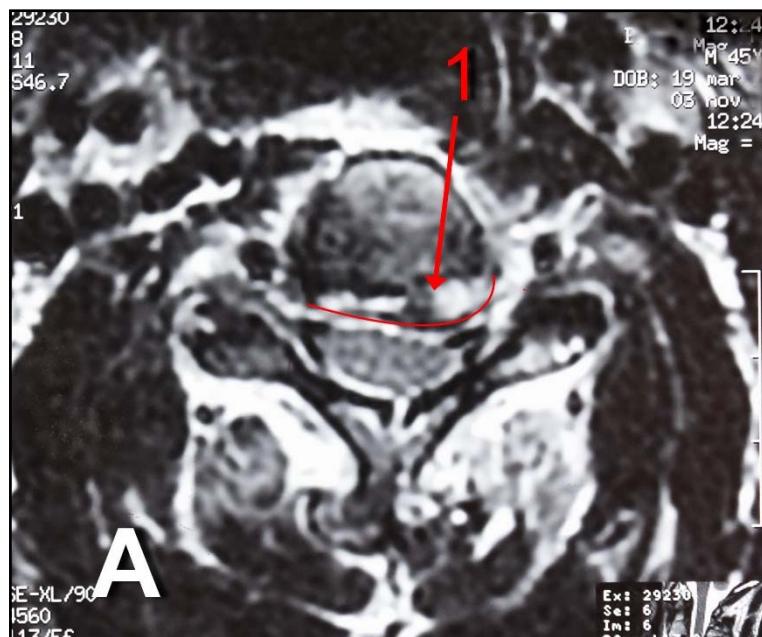


Figure 89 - Entorse grave C3-C4

IRM cervicale coupe axiale T2 (A) présence d'une hernie discale (1)

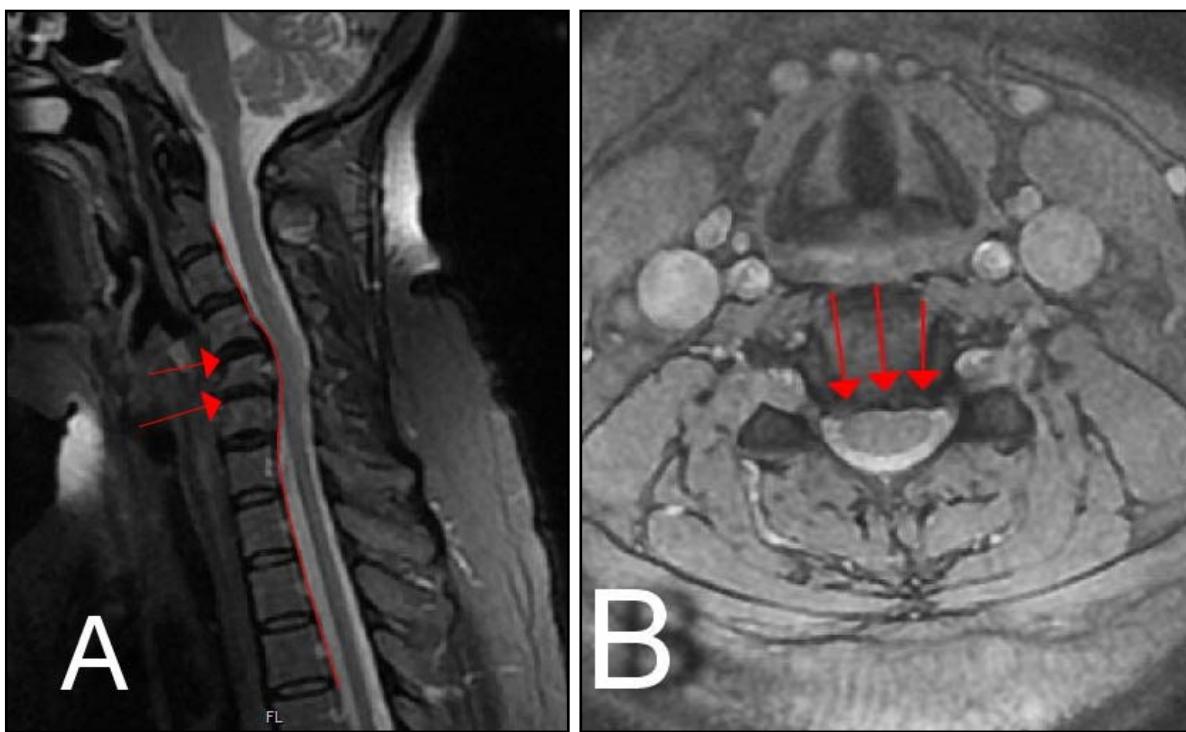


Figure 91 – Traumatisme du rachis cervical sur canal cervical étroit.

IRM coupe sagittale (A) et coupe axiale (B) T2 montrant une double hernie C4-C5 et C5-C6 sur canal cervical étroit et inversion de la lordose cervicale.



Figure 90 – Hernie discale post-traumatique

IRM coupe sagittale (A) et coupe axiale (B) montrant une hernie discale compressive (1) avec anomalie de signal médullaire (2)

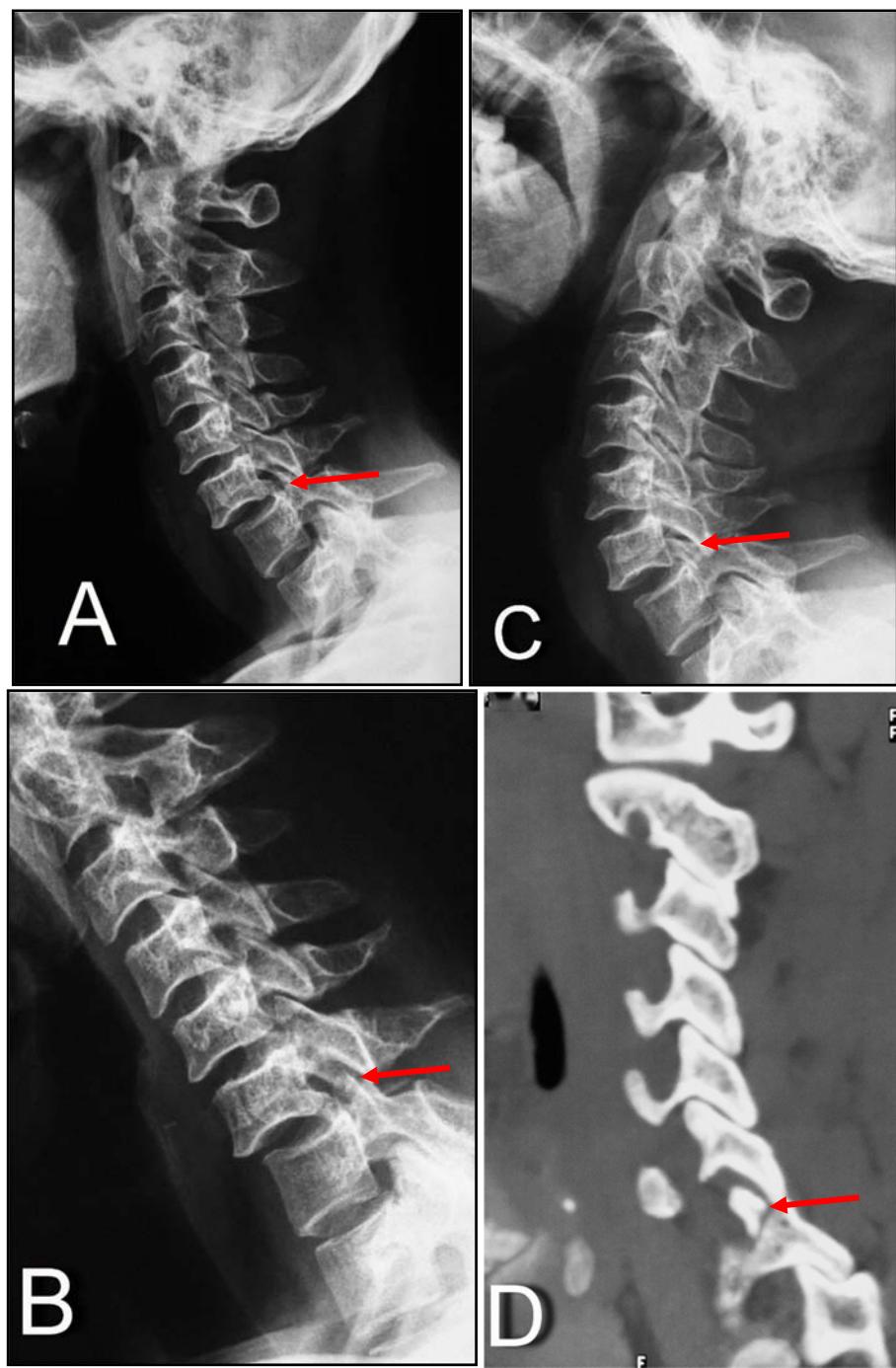


Figure 92 – Fracture luxation uni-articulaire C6-C7

Radiographie standard de profil (A), clichés dynamiques en extension (B) et flexion (C), et TDM avec reconstruction sagittale (D) objectivant un antélisthésis de C6 sur C7 avec une fracture luxation de la facette articulaire supérieur de C7 (Fleche)



Figure 94 – Fracture articulaire bilatérale C7.

TDM cervicale avec reconstruction coronale montrant une fracture bilatérale des masses articulaires de C7.

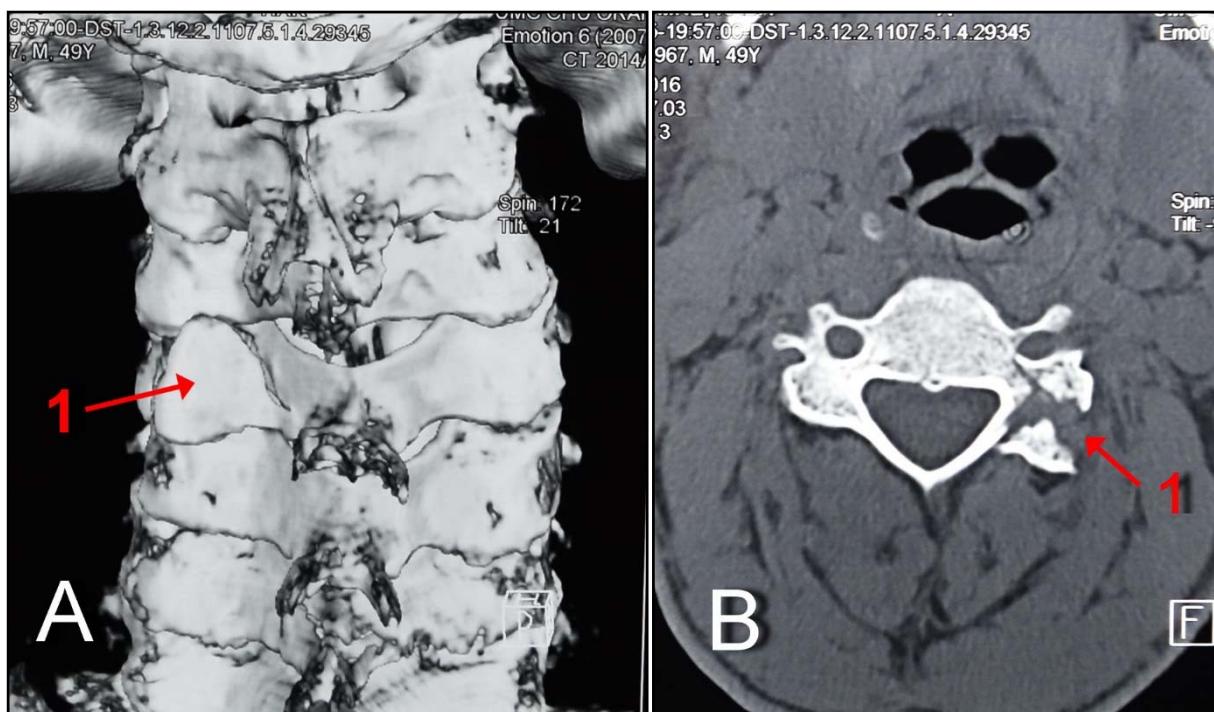


Figure 93 – Fracture luxation C4

TDM avec reconstruction 3D (A) et coupe axiale (B) – Fracture séparation du massif articulaire de C4 avec luxation (1)

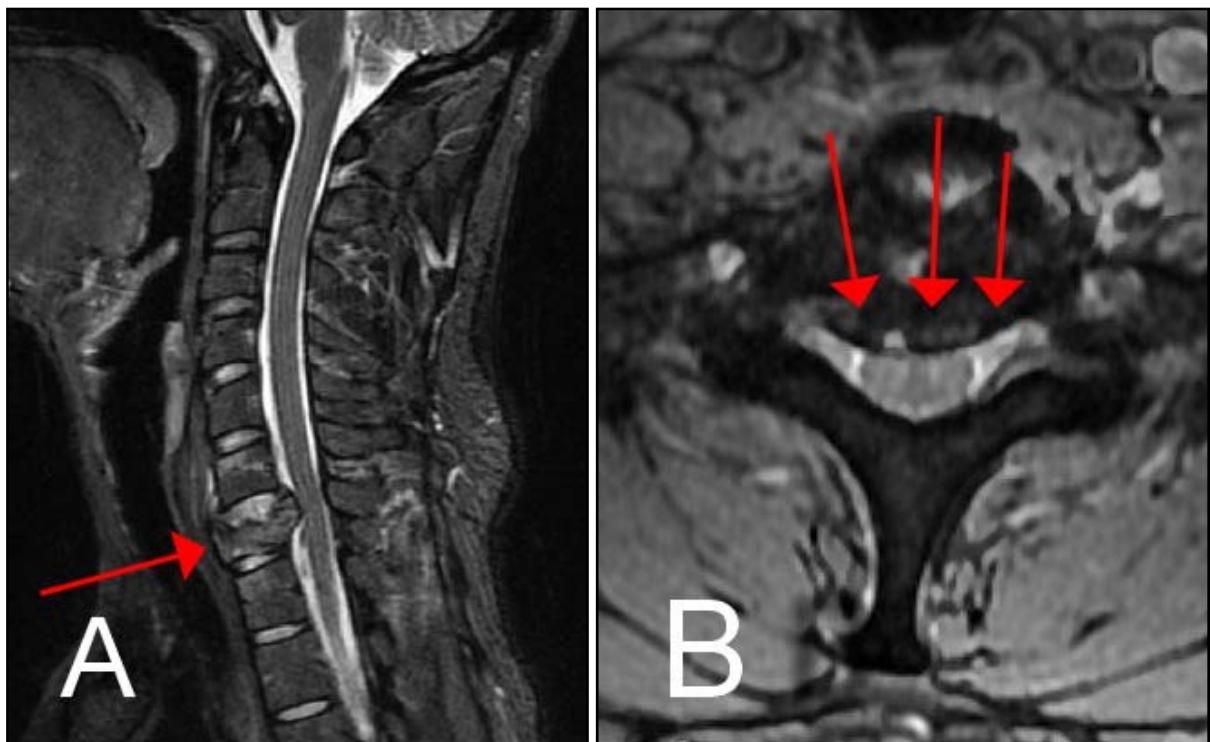


Figure 96 – Fracture comminutive de C7

IRM avec coupe sagittale (A) et axiale (B) T2 objectivant une fracture complexe du corps de C7 avec compression médullaire.

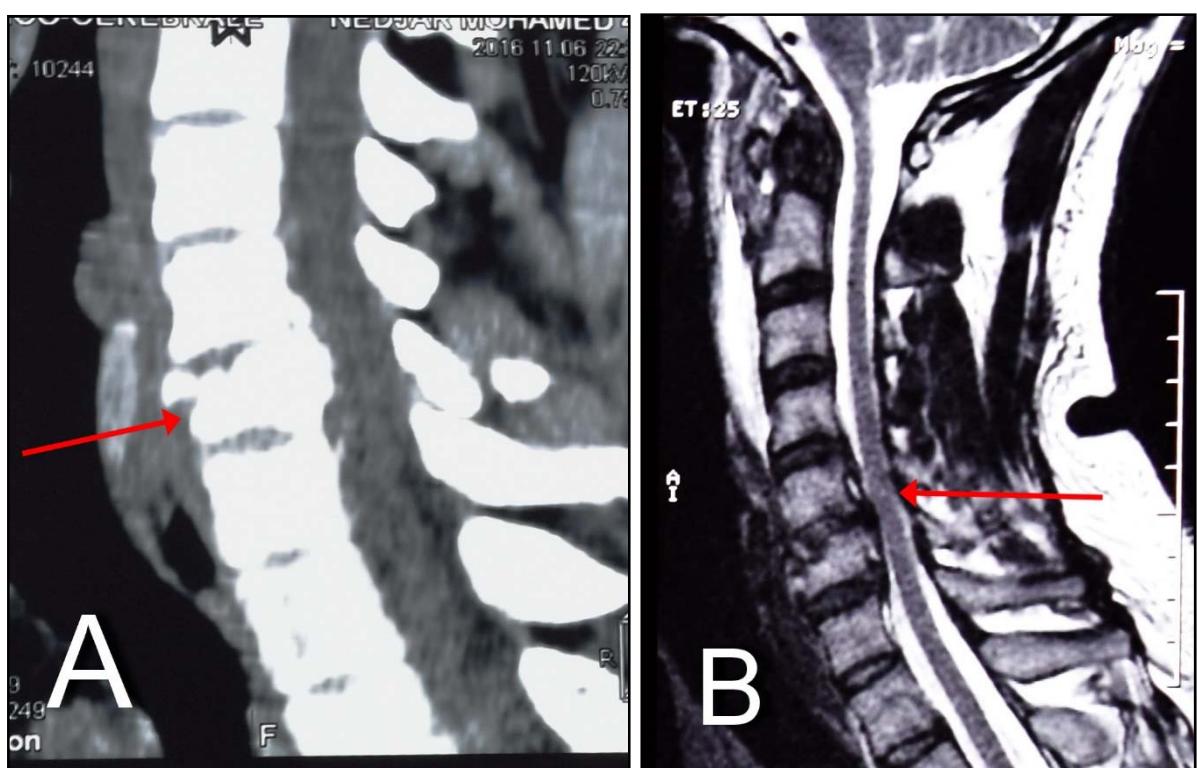


Figure 95 - Fracture comminutive de C6

TDM avec reconstruction sagittale (A) et IRM coupe sagittale T2 (B) objectivant une fracture complexe du corps de C6 avec compression médullaire.

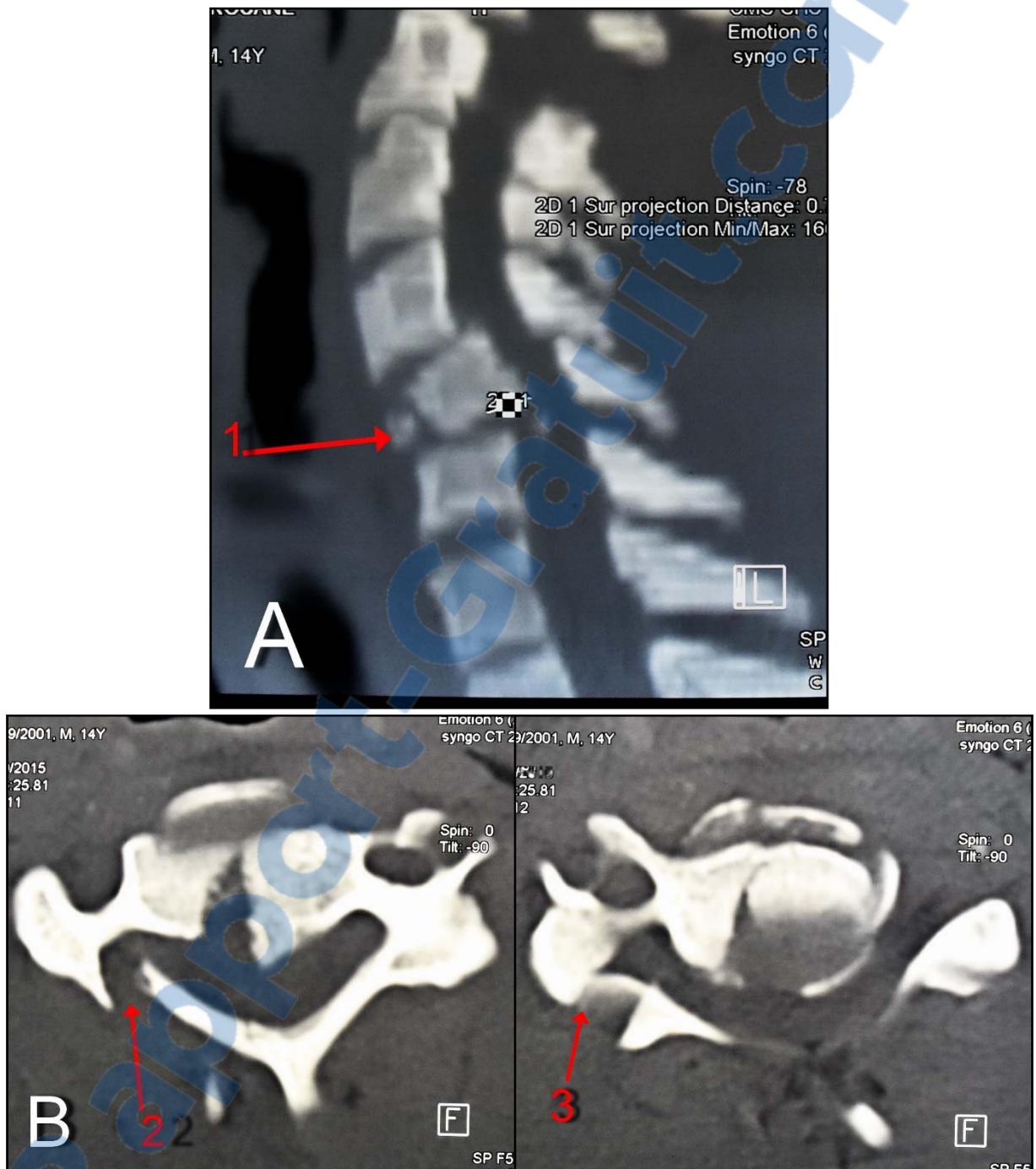


Figure 97 – Fracture Tear drop de C5

TDM avec reconstruction sagittale (A) et coupe axiale (B)

(1) Détachement du coin antéro-inferieur du corps avec trait sagittal corporéal de C5, (2) fracture lamaire et luxation uni articulaire C5-C6 (3)

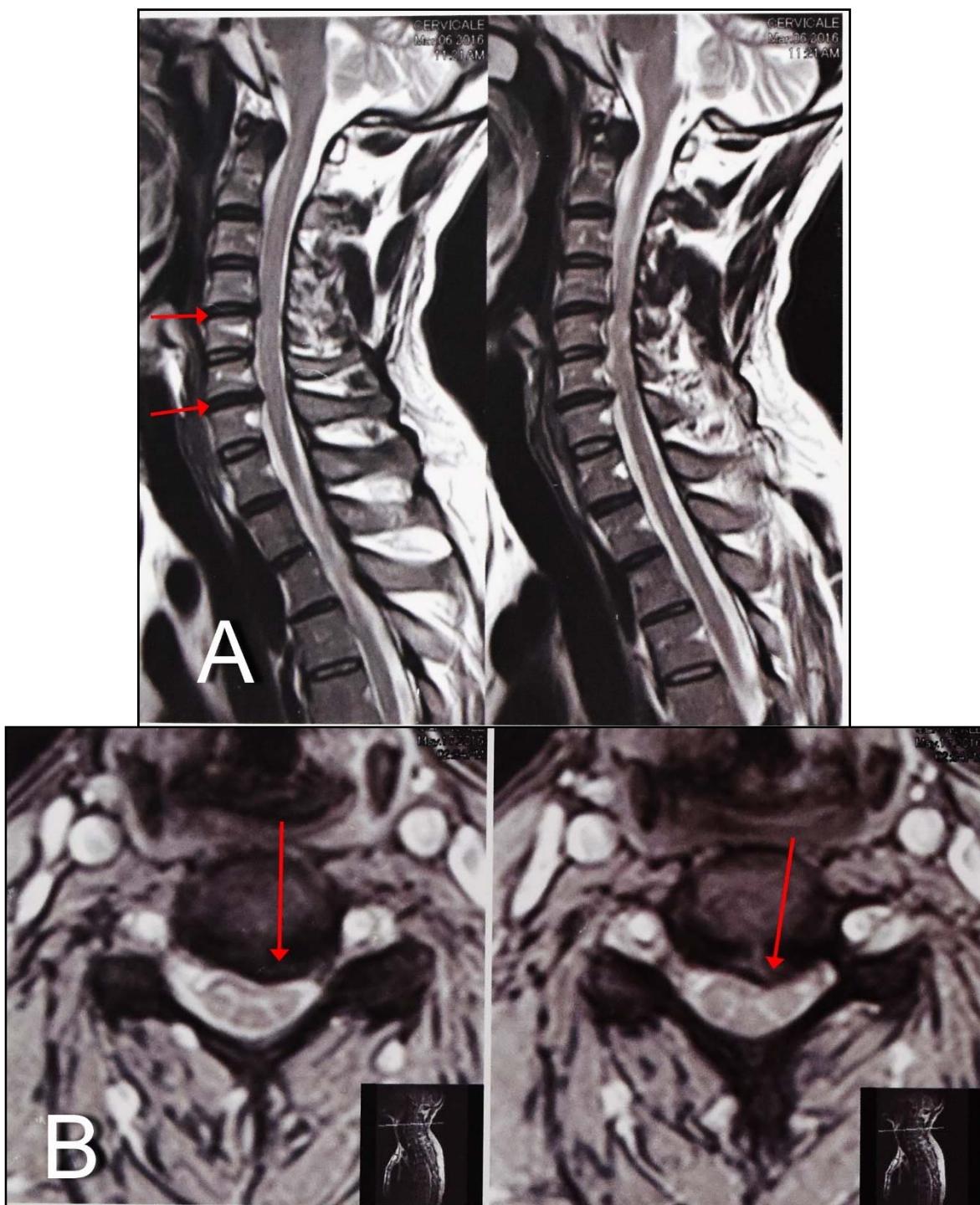


Figure 98 – Traumatisme du rachis cervical sur canal cervical étroit

IRM en coupe sagittale T2 (A) et axiale T2 (B) montrant un canal cervical étroit avec présence de double hernie discale en C4-C5 et C6-C7 (Flèche)

F. Classification des lésions

Pour notre étude, nous avons utilisé deux systèmes de classification, le système francophone d'Argenson et la classification récente d'AOSpine.

1. Classification selon le système Argenson

Dans notre série, les lésions de type A en compression ont été rencontré chez 13 patients et représente un quart de l'ensemble des lésions, les lésions de type B en flexion sont les plus rencontrés et représente 31.3% des cas, les lésions de type C en extension représentent 11.7% et les lésions de type D en rotation 19.6%, et enfin des lésions de type E avec la hernie discale traumatique isolée avec 11.8%. (Tableau 37)

Les entorses graves ou types B2 sont les lésions les plus rencontrées avec 13 cas (25.5%), suivi des fractures Tear drop avec 9 cas (17.6%) puis les fractures séparations du massif articulaire avec 8 cas 15.7%.

Tableau 37 – Classification d'Argenson

| Classification Argenson | Effectif | % |
|---|----------|-------|
| A2 - Fracture comminutive | 4 | 7.8 |
| A3 - « tear-drop » | 9 | 17.6 |
| B2 - Entorse grave | 13 | 25.5 |
| B3 - Luxation biarticulaire | 3 | 5.9 |
| C2 - Traumatismes en extension sur canal cervical étroit | 5 | 9.8 |
| C3 - Fractures-luxations complexes | 1 | 2.0 |
| D1 - Luxations uniarticulaires | 1 | 2.0 |
| D2 - Fractures uniarticulaires | 1 | 2.0 |
| D3 - Fractures-séparation du massif articulaire | 8 | 15.7 |
| E - Hernie discale traumatique | 6 | 11.8 |
| Total | 51 | 100.0 |

2. Classification selon le système AOSPINE

Dans cette récente classification, les lésions du rachis cervical inférieur ont été réparties selon les quatre critères suivants:

- La morphologie des blessures (A – B – C)
- Les facettes (F1 – F2 – F3 – F4 +/- BL)
- Le statut neurologique (N0 – N1 – N2 – N3 – N4 – NX)
- Et la présence de modificateurs spécifiques (M1 – M2 – M3 – M4)

La répartition selon la morphologie des lésions de notre série a été répartie comme suit :

- Lésion par compression (A) 37.3%.
- Lésions de la bande de tension (tension band injury) (B) 56.9%.
- Lésions de translation (C) 5.9%.

Les lésions de la bande de tension sont les mécanismes les plus rencontrés dans notre étude, suivis par les lésions par compression, puis les lésions de translation.

Dans le tableau suivant, nous avons réparti la morphologie des lésions selon la classification AOSPINE, les sous-types les plus rencontrés selon cette classification sont les sous-types B2 (Posterior Tension Band) et A4 (Complete burst), ils représentent à eux seuls plus de la moitié des lésions de notre série.

Tableau 38 – Classification AOspine (Morphologie des lésions)

| Morphologie des lésions | Effectif | % |
|--|----------|-------|
| A0 - Minor, nonstructural fractures | 6 | 11.8 |
| A4 – Complete burst | 13 | 25.5 |
| B2 – Posterior Tension Band | 24 | 47.1 |
| B3 - Anterior tension band injury | 5 | 9.8 |
| C - Translational injury | 3 | 5.9 |
| Total | 51 | 100.0 |

Étant donné que les hernies traumatiques sont des lésions provoquées par un mécanisme de compression, nous les avons mis dans le groupe A0 (Minor, nonstructural fractures).

Dans le tableau suivant (Tableau 39), nous avons réparti nos patients qui présentent des lésions articulaires selon la classification AOSpine.

Au total 27 patients ont présenté une atteinte articulaire, à des degrés variables, allant de la fracture facetaire déplacée (F2) jusqu'à la subluxation ou la luxation (F3), en passant par fracture séparation du massif articulaire (F4).

On notera que nous n'avons pas noté dans notre série le sous-type F1, qui sont des fractures facétaires mineures non déplacées, et qui sont des lésions stables, donc ne nécessitent pas une arthrodèse.

Les sous-types les plus rencontrés sont les sous-types F3 (Pathologic subluxation or perched/dislocated facet), ils représentent 35.3% des patients de notre série.

Tableau 39 - Classification AOSpine – Atteinte des articulaires

| Atteinte articulaire | Effectif | % |
|--|----------|-------|
| Pas d'atteinte articulaire | 24 | 47.1 |
| F2 - Facet fracture with potential for instability | 1 | 2.0 |
| F3 - Floating lateral mass | 8 | 15.7 |
| F4 - Pathologic subluxation or perched/dislocated facet | 18 | 35.3 |
| Total | 51 | 100.0 |
| BL - Bilateral injury | 1 | 2.0 |

Le 3^{ème} critère de cette classification concerne le statut neurologique, qui est un déterminant important pour la prise de décision. (Tableau 40)

Dans notre étude, 31 patients (60.7%) ont présenté des troubles neurologiques à des degrés variables, allant de la radiculopathie (N2) jusqu'à l'atteinte médullaire complète (N4), en passant par l'atteinte médullaire incomplète (N3).

L'atteinte médullaire incomplète a été rencontrée chez 21 patients, ce qui représente les 2/3 des patients avec un déficit neurologique.

Le caractère « + » est ajouté s'il existait une compression médullaire ou radiculaire en cours, et donc met l'accent sur le caractère « urgent » de cette lésion, d'autant plus si le patient présente une atteinte médullaire incomplète, il a été retrouvé chez 27 patients, donc un peu plus de la moitié de nos patients.

L'atteinte radiculaire (N2) a été rencontrée chez 11.8% de nos patients.

20 patients (29.2%) avaient un examen neurologique normal (N0).

Tableau 40 - Classification AOSpine – Statut neurologique

| Statut neurologique | Effectif | % |
|---|----------|-------|
| N0 : Aucun déficit neurologique | 20 | 39.2 |
| N1: Déficit neurologique transitoire | 0 | 0.0 |
| N2: Radiculopathie | 6 | 11.8 |
| N3: Atteinte médullaire incomplète | 21 | 41.2 |
| N4: Atteinte médullaire complète | 4 | 7.8 |
| N5: indéterminé | 0 | 0.0 |
| Total | 51 | 100.0 |
| « + » compression en cours | 27 | 52.9 |

Le 4ème critère de cette classification concerne les modificateurs spécifiques, ils ont été créés pour décrire des conditions uniques intéressant la prise de décision clinique. (Tableau 41)

Nous avons rencontré 6 cas de hernie discale traumatique compressive (M2), ce qui représente 11.8% des patients, et 5 cas de traumatisme sur canal cervical étroit (9.8).

Ce genre de pathologies ont été omises dans les classifications « classiques » du rachis cervical inférieur traumatique, alors que la prise de décision dans ce genre de cas doit prendre en compte le contexte anathomopathologique.

Tableau 41 - Classification AOSpine – Modificateurs supplémentaires

| Modificateurs supplémentaires | Effectif | % |
|---|----------|------|
| M1 - traumatisme du complexe capsuloligamentaire postérieur sans interruption complète | 0 | 0.0 |
| M2 - Hernie discale traumatique compressive | 6 | 11.8 |
| M3: Traumatisme sur rachis pathologique | 5 | 9.8 |
| M4 - Signes de lésion de l'artère vertébrale | 0 | 0.0 |

3. Le système SLIC (The Subaxial Cervical Spine Injury Classification System)

La classification SLIC prend en compte la morphologie des lésions, l'atteinte ou non du complexe disco ligamentaire (DLC) et le statut neurologique, noté sur 10 points, pour au final essayer de classer les lésions en 3 groupes :

1. Groupe non chirurgical - SLIC de 0 à 3 points.
2. Groupe limite - SLIC de 4 points.
3. Groupe chirurgical - SLIC ≥ 5 points.

Dans notre étude, tous nos patients étaient compris dans le groupe chirurgical, c'est à dire avec un SLIC ≥ 5 points. (Tableau 42)

Cette classification n'est pas très utilisée dans la littérature, car elle n'a pas été adoptée par les praticiens, et elle a été plus ou moins oubliée aux dépens de la nouvelle classification AO Spine.

Tableau 42 – Répartition selon la classification SLIC

| Classification SLIC | Effectif | % |
|---------------------|----------|-------|
| 5 | 6 | 11.8 |
| 6 | 15 | 29.4 |
| 7 | 16 | 31.4 |
| 8 | 9 | 17.6 |
| 9 | 3 | 5.9 |
| 10 | 2 | 3.9 |
| Total | 51 | 100.0 |

G. Traitement

1. Traitement médical

Une prise en charge initiale en réanimation pour des troubles neurovégétatifs ou dans le cadre d'un polytraumatisme a été indiquée dès l'admission chez 5 Patients.

Un traitement antalgique a été prescrit chez tous nos malades

Les malades qui ont été admis avec troubles neurologiques ont bénéficié d'une corticothérapie à base de méthyle-prednisolone avec une posologie comprise entre 1 à 3mg/kg/jour sur une durée allant de 5 à 15 jours.

Un traitement anticoagulant préventif à base d'HBPM a été instauré chez tout patient admis avec déficit neurologique sévère (ASIA A, B ou C).

2. Traitement orthopédique initial

Une immobilisation préventive à l'aide d'une minerve rigide à triples appuis a été indiquée chez tous les patients de notre série.

La traction transcrânienne préopératoire à l'aide de l'étrier de Gardner a été réalisée chez 11 patients seulement, soit 21.6%, réalisés chez les patients avec recul du mur postérieur, et donc compression médullaire en cours, cependant nous avons opérer 17 patients en urgence (< 24h), et donc la traction transcrânienne a été réalisée en peropératoire. (Tableau 43)

Tableau 43 – Traction transcrânienne préopératoire

| Traction préopératoire | Effectifs | % |
|------------------------|-----------|------------|
| Oui | 11 | 21.6 |
| Non | 40 | 78.4 |
| Total | 51 | 100 |

3. Traitement chirurgical

Tous les patients de notre série ont bénéficié d'un traitement chirurgical (arthrodèse).

a. Traction transcrânienne peropératoire

La traction transcrânienne peropératoire a été réalisée chez 33 patients, soit 64.7%. (Tableau 44)

Tableau 44 - La traction transcrânienne peropératoire

| Traction peropératoire | Effectifs | % |
|-------------------------------|------------------|----------|
| Oui | 33 | 64.7 |
| Non | 18 | 35.2 |
| Total | 50 | 100 |

b. Délai opératoire

Dans notre série nous avons essayé d'opérer les patients avec troubles neurologiques et une compression médullaire en cours dans les plus brefs délais, le graphe suivant représente la répartition des patients en fonction du délai opératoire après le traumatisme. (Figure 99)

Le délai moyen de l'intervention chirurgicale est compris entre 24 et 48h, on notera que certains délais tardifs sont dus à des délais d'admissions tardifs de certains malades dans le cadre d'un traumatisme négligé, et que ce sont des délais après le traumatisme, et non pas des délais d'admission.

La plupart de nos patients ont été opérés dans un délai inférieur à 48h, ils représentent environ 2/3 des cas de notre série.

Un tiers de nos patients ont bénéficié d'un traitement chirurgical précoce, c'est-à-dire dans les 24 premières heures après le traumatisme.

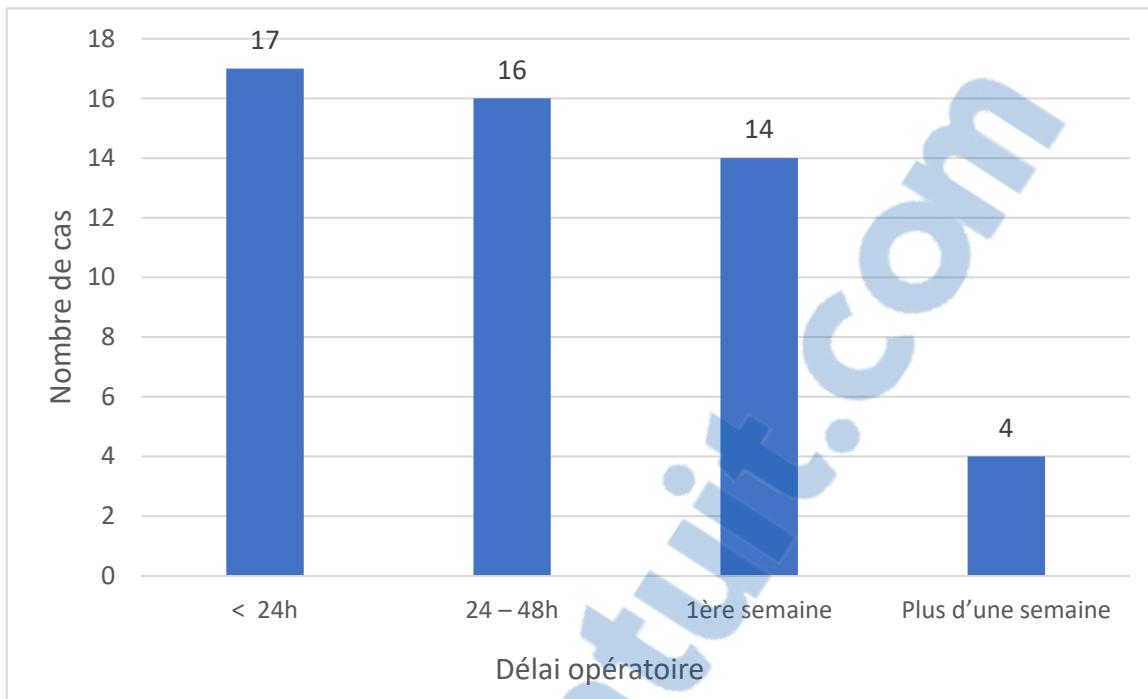


Figure 99 – Répartition en fonction du délai opératoire

Dans le tableau suivant, nous avons représenté les délais d'admission en fonction des délais opératoires par rapport au traumatisme. (Tableau 45)

On notera que 55% des patients admis avant 24h ont été opéré dans les premières 24h suivant le traumatisme du rachis, généralement il s'agit de patient avec troubles neurologiques et/ou compression médullaire en cours.

Tableau 45 – Délai d'admission/délai opératoire

| Délai D'admission | Délai opératoire | | | | Total |
|-----------------------|------------------|----------|--------------|-----------------------|-------|
| | < 24h | 24 – 48h | 1ère semaine | Plus d'une semaine | |
| <24h | 17 | 12 | 2 | 0 | 31 |
| 24 – 48h | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| 1ère semaine | 0 | 0 | 12 | 0 | 12 |
| Plus d'une semaine | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| Total | 17 | 16 | 14 | 4 | 51 |

P > 00.5 DNS

Nous avons réparti les délais opératoires en fonction de l'examen neurologique initial (AIS). (Tableau 46)

Les patients admis avec des troubles neurologiques sévères (AIS A et B) ont tous été opérés dans les 48 heures suivant le traumatisme.

Tableau 46 – Délai opératoire/examen neurologique initial

| Délai D'admission | ASIA Impairement score | | | | | Total |
|--------------------------------|------------------------|---|---|----|----|--------------|
| | A | B | C | D | E | |
| <24h | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 17 |
| 24 – 48h | 1 | 0 | 1 | 6 | 8 | 16 |
| 1^{ère} semaine | 0 | 0 | 0 | 6 | 8 | 14 |
| Plus d'une semaine | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 4 |
| Total | 4 | 3 | 5 | 19 | 20 | 51 |

P > 00.5 DNS

c. Voie d'abord

Pour la voie d'abord, celle qui a été le plus pratiquée est la voie antérolatérale présternocléidomastoïdienne, réalisée chez 44 patients (86.3%). (Tableau 47)

La voie d'abord postérieure du rachis cervical a été réalisée 7 patients (13.7%).

Tableau 47 - Voie d'abord chirurgicale

| Voie d'abord | Effectifs | % |
|--------------------|-----------|------|
| Antérieure | 44 | 86.3 |
| Postérieure | 7 | 13.7 |
| Total | 51 | 100 |

Au vu des cas inclus dans cette étude, nous n'avons pas jugé nécessaire la pratique d'une voie combinée (antérieure et postérieure).

La voie antérieure a été préférée dans certains cas en raison des besoins de décompression antérieure, notamment lors de la présence d'une hernie discale ou lorsqu'une corporectomie était nécessaire.

d. Technique opératoire

Durant notre étude, nous avons utilisé différentes techniques opératoires, et différents matériaux d'ostéosynthèse et de substitution osseuses, ceci en fonction de l'indication et de la disponibilité des matériaux.

Les différentes techniques utilisées ont été résumées dans le Tableau 48.

On notera que la technique la plus utilisée est la corporectomie avec mise en place d'un greffon iliaque et arthrodèse antérieure par plaque vissée.

Tableau 48 – Techniques chirurgicales utilisées

| Technique utilisée | Effectifs | % |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| Corporectomie + greffon + plaque | 13 | 25.5 |
| Dissectomie + greffon + plaque | 11 | 21.6 |
| Dissectomie + cage + plaque | 9 | 17.6 |
| Dissectomie + cage | 7 | 13.7 |
| Tige + vissage articulaire postérieur | 7 | 13.7 |
| Double dissectomie + cage | 4 | 7.8 |
| Total | 51 | 100 |

Concernant les hernies discales traumatiques et les traumatismes sur canal cervical étroit (11 cas), il s'agissait de lésions stables, sans atteinte des ligaments longitudinaux antérieur ou postérieur, et donc l'indication opératoire était posée sur le fait qu'il y a avait une compression médullaire ou radiculaire en cours, et donc la technique chirurgicale utilisée était une décompression par dissectomie plus ou moins osteophytectomie et arthrodèse par cage/vis ou cage/plaque, sans plaque visée utilisée en cas d'instabilité rachidienne.

4. Durée d'hospitalisation :

Durant notre étude nous avons essayé de réduire la durée d'hospitalisation, afin de réduire les complications pulmonaires et d'alimentation, mais aussi pour une rééducation précoce.

La chirurgie précoce a permis une sortie précoce dès que l'état des patients le permettait, à domicile ou en rééducation.

La durée moyenne d'hospitalisation dans notre série est de 9,24 jours avec des extrêmes allant de 4 à 24 jours. (Figure 100)

Le mode est de 5 jours.

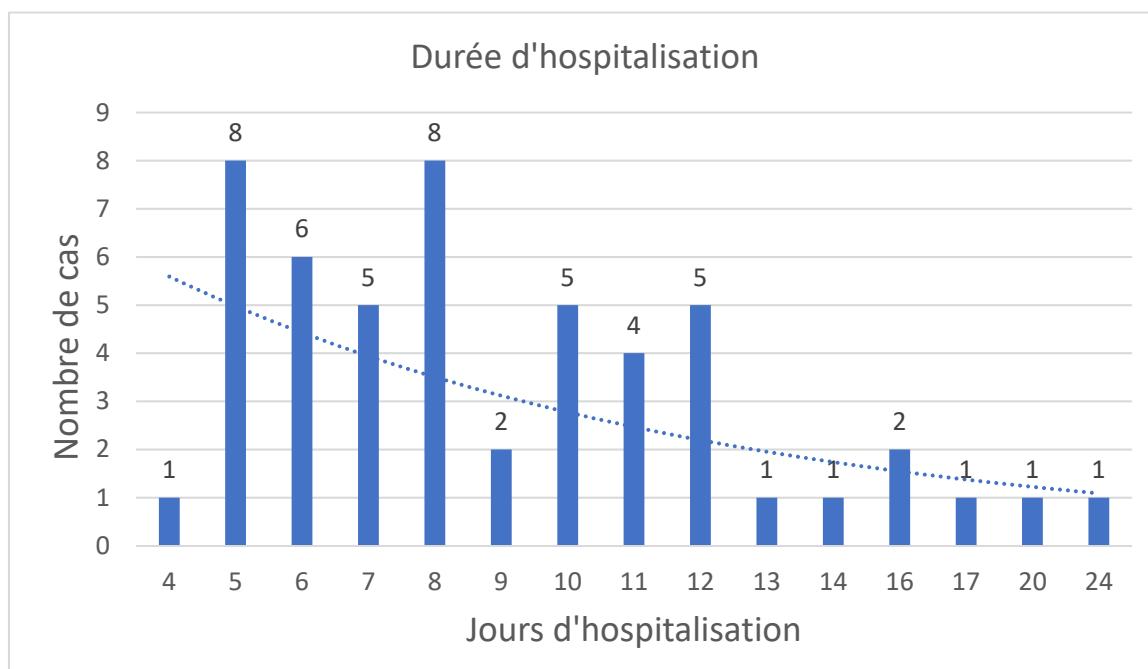


Figure 100 – Répartition des patients selon la durée d'hospitalisation

5. Photographie peropératoire



Figure 101 – Installation et tracé de l'incision pour une hernie discale post-traumatique.

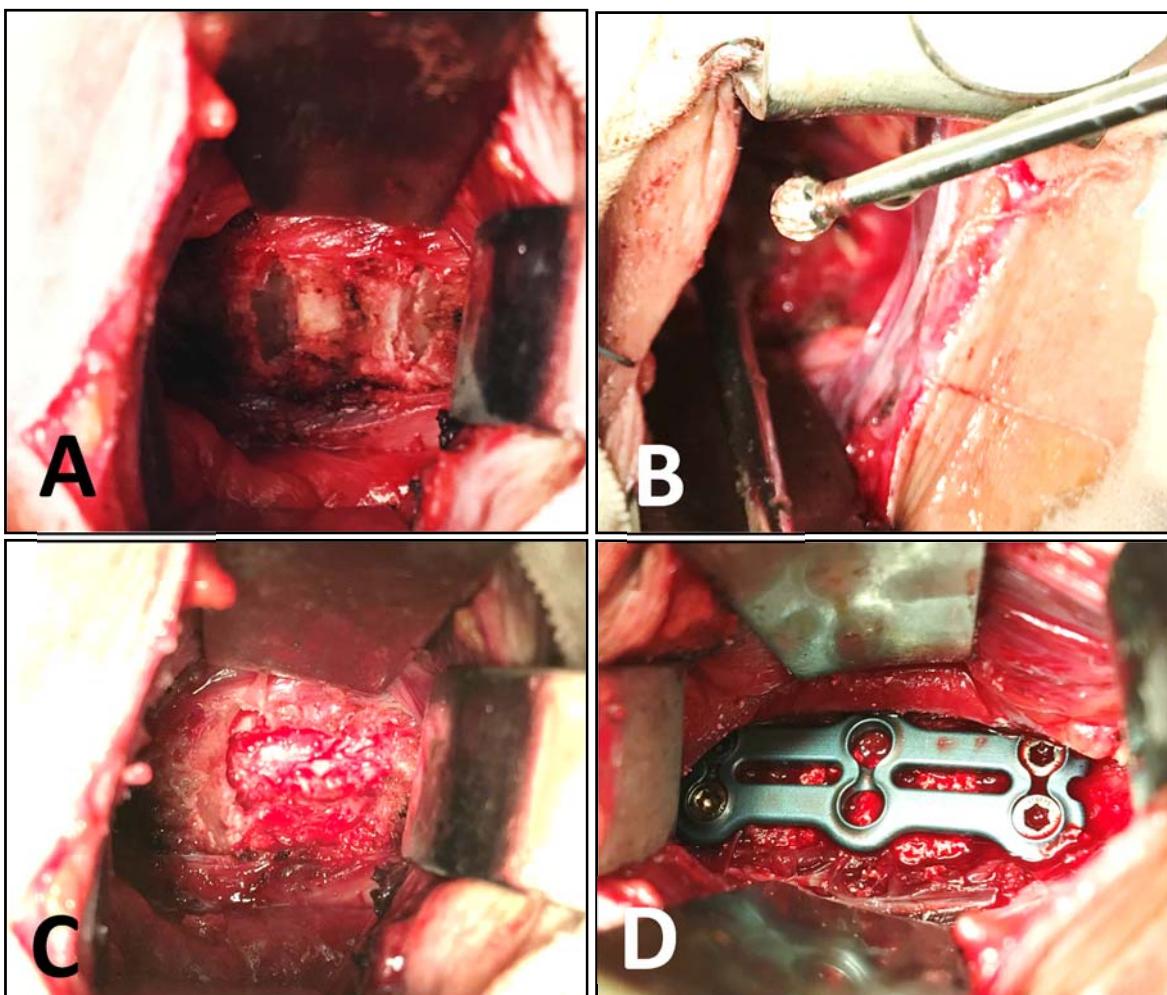


Figure 102 – Arthrodèse antérieur sur fracture tear drop de C5
Dissectomie sus et sous-jacente (A), corporectomie du corps de C5 (B, C), mise en place d'un greffon iliaque et plaque vissée C4-C6 (D).

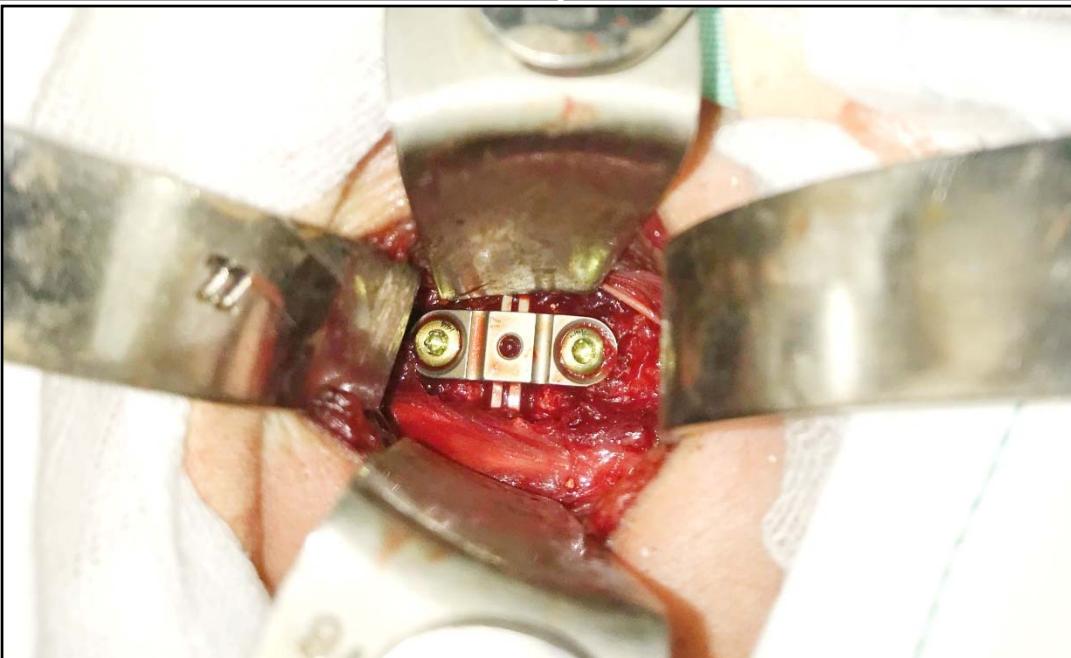
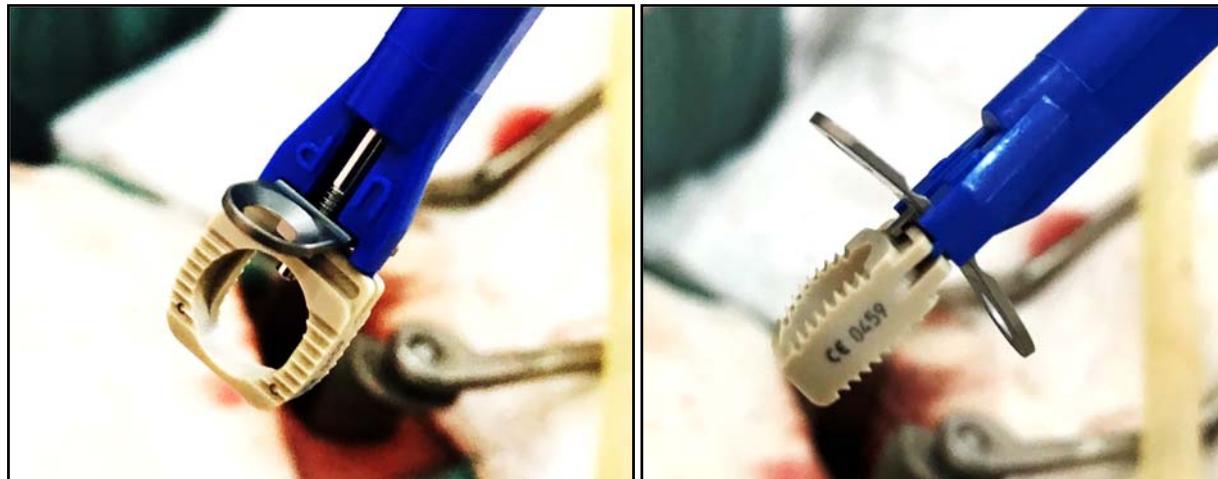


Figure 103 – Mise en place d'une cage-plaque intersomatique pour une hernie discale C5-C6 post-traumatique



Figure 104 - Arthrodèse antérieure sur fracture comminutive de C7 avec plaque vissée deux niveaux type Senegas.

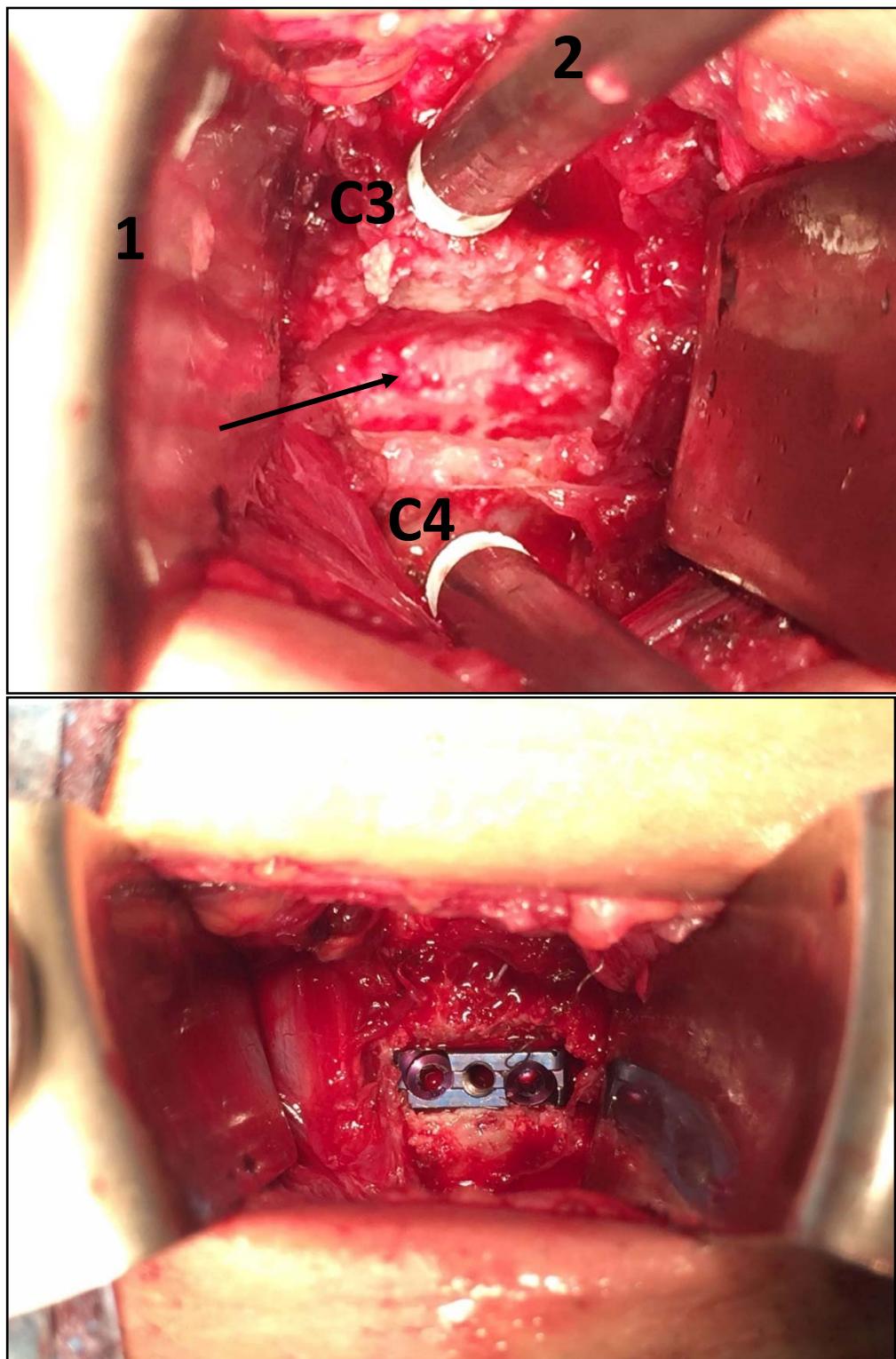


Figure 105 – Dissectomie C3-C4 avec mise en place de cage intersomatique

Abord antérolatéral présternocléidomastoïdien avec écarteur de Cloward (1) et distracteur de Caspar (2) en place. Prés dissectomie C3-C4, mise en évidence du ligament longitudinal postérieur. (Flèche)

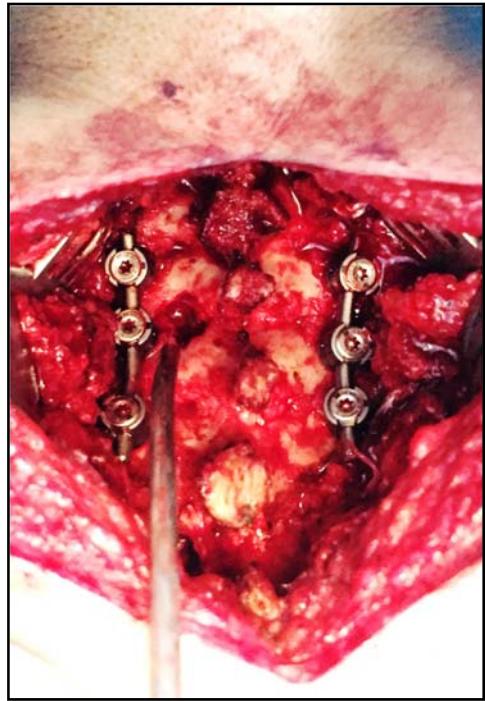


Figure 106 – Arthrodèse postérieure.

Mise en place de tige avec vissage articulaire deux niveaux

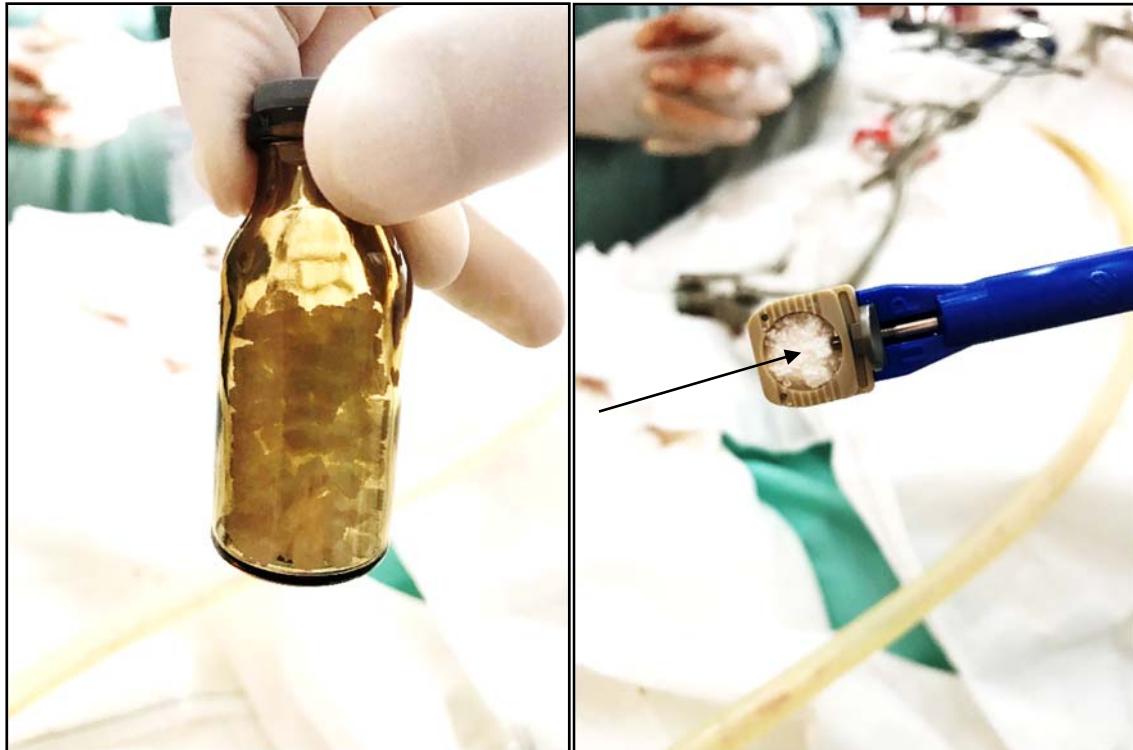
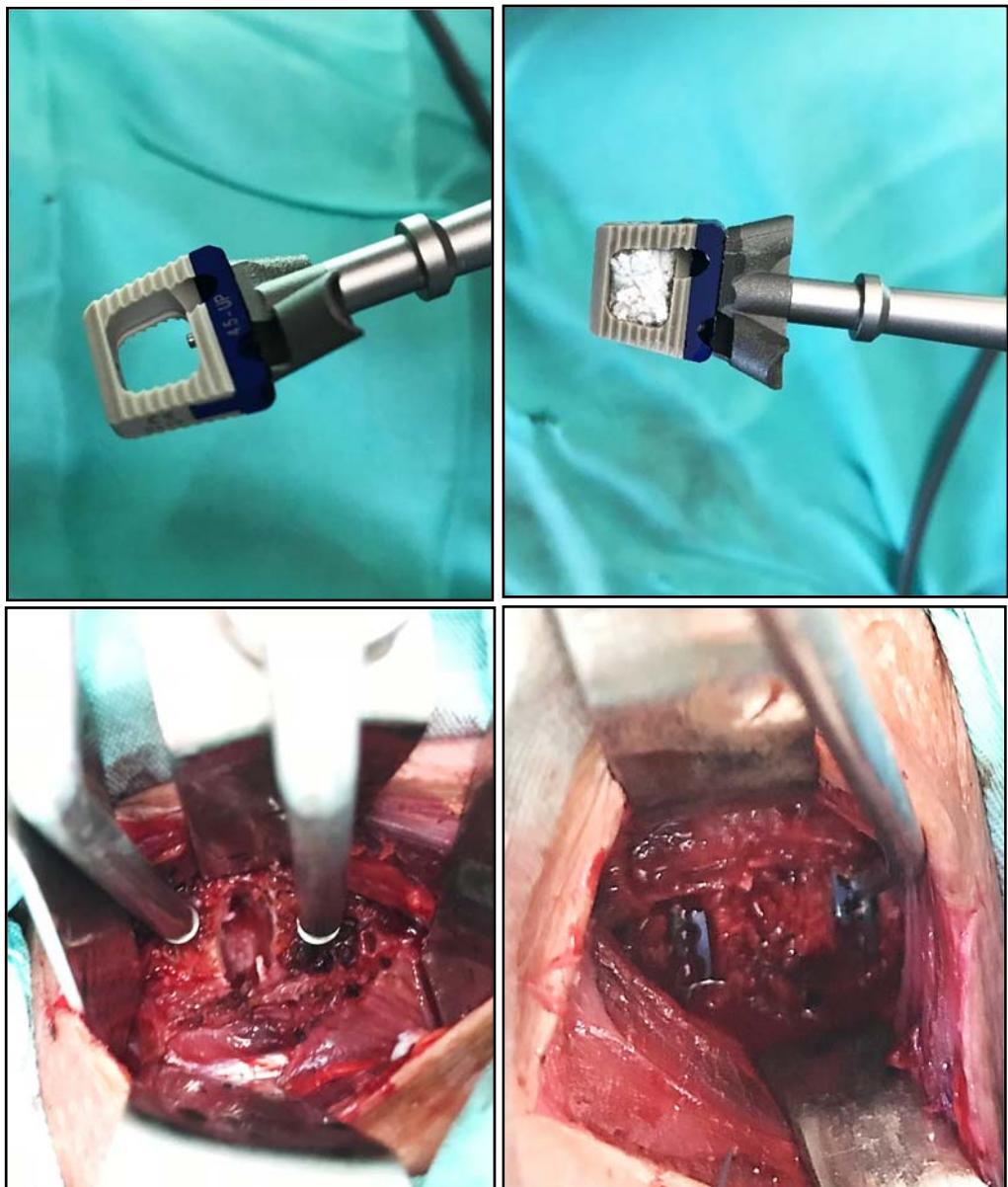


Figure 107 – Mise en place de substitut osseux dans la cage inter-somatique.



**Figure 108 –Traumatisme cervical inférieur sur canal cervical étroit
Double dissectomie C4-C5 et C5-C6 et osteophytectomie avec mise en
place de deux cage intersomatique avec substitut osseux (Flèche)**

6. Traitement fonctionnel

Nos patients ont été orientés à la rééducation fonctionnelle de façon systématique chez tous les patients ayant un déficit neurologique.

Elle a été initiée précocement durant la période hospitalière, puis dès la sortie nos patients.

H. Evolution

1. Évolution en fonction de l'état neurologique

Une récupération neurologique a été constatée chez 21 patients sur les 29 qui présentaient des troubles neurologiques, ce qui représente 72.4% des cas.

19 cas de notre série ont eu une récupération de +1 sur le score ASIA, et 2 ont une récupération de +2.
(Tableau 49)

Nous n'avons pas enregistré d'aggravation neurologique postopératoire durant notre étude.

Tableau 49 – Évolution selon le score ASIA

| Évolution Neurologique | Effectifs | % |
|------------------------|-----------|------|
| Aggravation | 0 | 0.0 |
| Stationnaire | 9 | 19.6 |
| +1 AIS | 19 | 25.5 |
| +2 AIS | 2 | 3.9 |
| +3 AIS | 0 | 0.0 |
| Décès | 2 | 3.9 |
| ASIA E | 20 | 47.1 |
| Total | 51 | 100 |

2. Évolution en fonction du timing opératoire

Durant notre étude, 17 patients avec troubles neurologiques ont été opérés dans les 24h suivant le traumatisme, 12 d'entre eux ont présenté une récupération neurologique, soit plus des deux tiers de nos patients.

Nous avons réparti nos patients selon le timing opératoire et en fonction de l'évolution neurologique dans le Tableau 50.

Tableau 50 – Timing opératoire/Évolution neurologique

| Délai Opératoire | Pas d'amélioration | +1 AIS | +2 AIS | Décès | ASIA E | Total |
|--------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| < 24h | 1 2.0% | 8 15.7% | 2 3.9% | 2 3.9% | 4 3.9% | 17 33.3% |
| 24 – 48h | 2 3.9% | 6 9.8% | 0 0.0% | 0 0.0% | 8 9.8% | 16 31.4% |
| 1 ^{ère} semaine | 4 5.9% | 2 5.9% | 0 0.0% | 0 0.0% | 8 25.5 | 14 39.2% |
| Plus d'une semaine | 2 3.9% | 2 2.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 2.0% | 4 7.8% |
| Total | 9 17.6% | 18 33.3% | 2 3.9% | 2 3.9% | 20 41.2% | 51 100% |

P > 00.5 DNS

À partir de ce tableau, nous avons classé nos patients qui ont présenté des troubles neurologiques en 3 groupes :

- Un groupe de chirurgie précoce : ce sont les patients opérés dans les 24h suivant le traumatisme (17 patients).
- Un groupe de chirurgie intermédiaire : opérés entre 24 et 48h (16 patients).
- Et un groupe de chirurgie tardive : représentant les patients opérés au-delà de 48h (18 patients).

Nous avons constaté dans l'histogramme (Figure 109), que les patients du groupe de chirurgie précoce avec trouble neurologique initial (13 patients), ont présenté une récupération neurologique postopératoire dans 76.9%, contrairement au groupe tardif (10 patients) 40% seulement d'amélioration neurologique postopératoire.

Pour les patients avec troubles neurologiques du groupe de chirurgie intermédiaire (8 patients), 75% d'entre eux ont présenté une amélioration neurologique (+1 AIS).

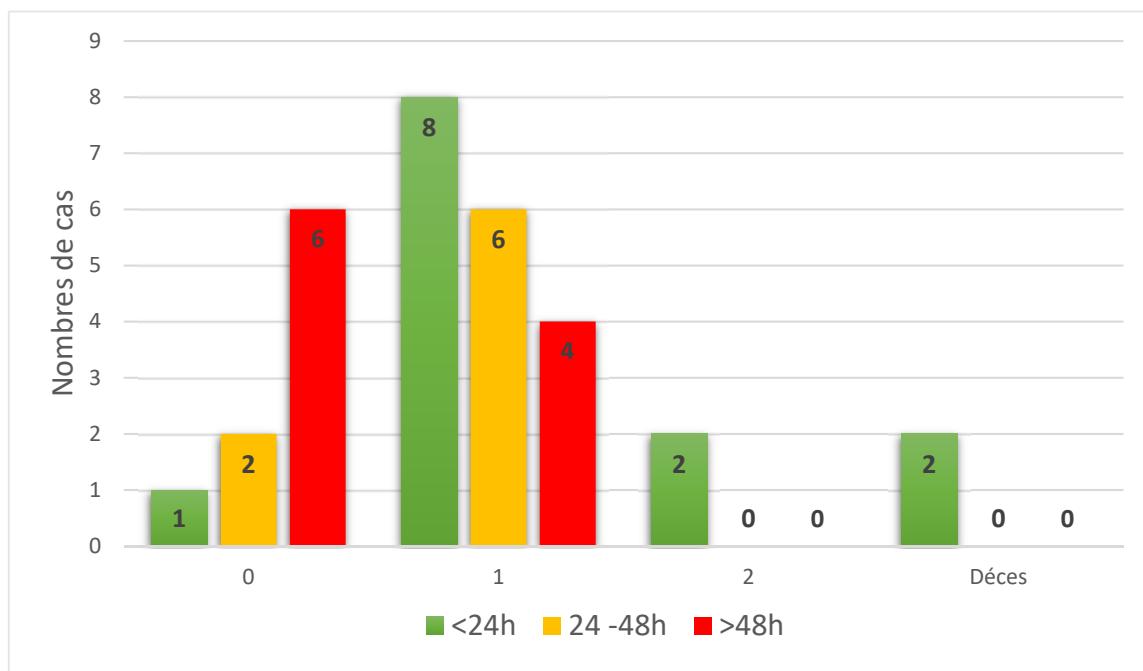


Figure 109 – Évolution neurologique en fonction du timing opératoire

3. Évolution AIS initial/AIS 3 mois

Dans le tableau suivant, nous avons croisé l'ASIA impairment scale initial (AIS) avec l'AIS de 3 mois postopératoire.

Tableau 51 – ASIA initial/AIS 3 mois

AIS 3 mois postopératoire

| | E | D | C | B | A | Décès | Total |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
| Préopératoire | E 20 39.2% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 20 39.2% |
| | D 13 25.5% | 6 11.8% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 19 37.3% |
| | C 0 0.0% | 5 9.8% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 5 9.8% |
| | B 0 0.0% | 2 3.9% | 1 2.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 3 5.9% |
| | A 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 0 0.0% | 2 3.9% | 2 3.9% | 4 7.8% |
| | Total 33 64.7 | 13 25.5 | 1 2.0% | 0 0.0% | 2 3.9% | 2 3.9% | 51 100.0% |

P > 00.5 DNS

I. Imagerie de contrôle

Tous les patients ont bénéficié de façon systématique de radiographies standards postopératoires du rachis cervical de face et de profil. (Tableau 52)

Une TDM de contrôle du rachis cervical a été pratiquée chez 15 patients, soit 29.4% des patients.

L'IRM postopératoire à distance a été réalisée chez 14 patients, soit 27.5% des cas.

Tableau 52 – Examens radiologiques de contrôle

| Imagerie de contrôle | Effectif | % |
|-----------------------|----------|-------|
| Radiographie standard | 51 | 100.0 |
| Clichés dynamiques | 0 | 0.0 |
| TDM | 15 | 29.4 |
| IRM | 14 | 27.5 |

J. Complications postopératoires

La complication la plus rencontrée dans notre série est la pneumopathie de décubitus, 4 patients ont présenté cette complication. (Tableau 53)

Nous n'avons pas noté durant cette période des cas de complications à type de thrombophlébite, d'infection de plaie opératoire, de dysphagie par perforation d'oesophage ni de dysphonie par lésion du nerf récurrent.

Tableau 53 – Complication postopératoire

| Complications | Effectif | % |
|------------------------|-----------------|----------|
| Pneumopathie | 4 | 7.8 |
| Escarre | 2 | 3.9 |
| Débricolage | 1 | 2.0 |
| Infection Urinaire | 1 | 2.0 |
| Hématome | 1 | 2.0 |
| Reprise opératoire | 1 | 2.0 |
| Fistule oeso-tracheale | 0 | 0 |
| Migration greffon | 0 | 0 |
| Infection locale | 0 | 0 |
| Dysphonie | 0 | 0 |
| Thrombophlébite | 0 | 0 |

K. Mortalité

Nous déplorons 2 décès durant notre étude, dans les deux cas il s'agit de patients AIS A, qui présentaient des troubles neurovégétatifs sévères. La mortalité est de 3.9%.

IV. Iconographie

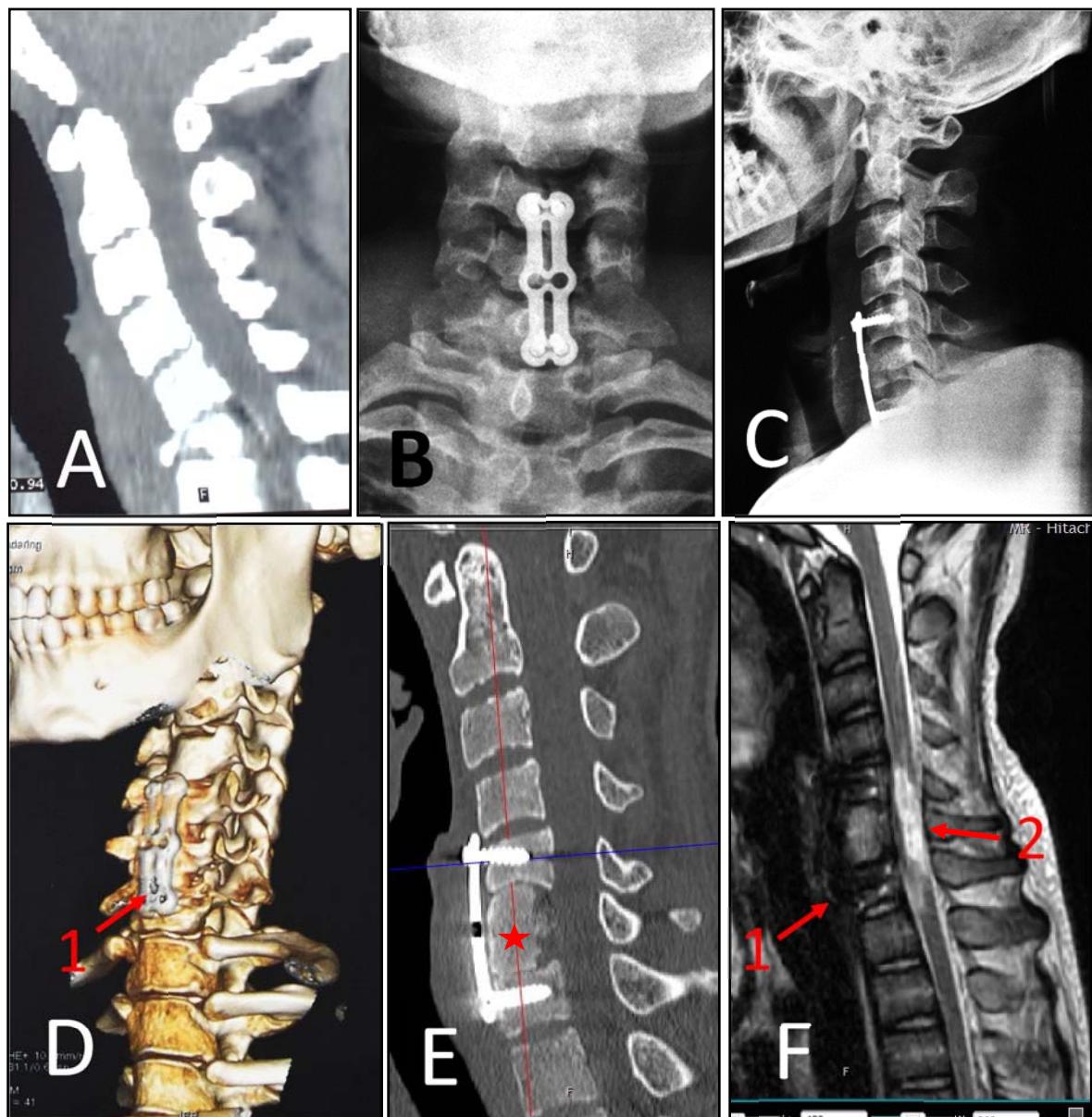


Figure 110 - Arthrodèse antérieure sur fracture Tear drop de C6

TDM préopératoire (A), radiographie de contrôle de face (B), de profil (C)
reconstruction 3D (D), sagittale (E) et IRM en coupe sagittale T2 montrant un
matériel d'arthrodèse en place (1), un greffon osseux après corporectomie (étoile) et
une image de section médullaire en regard (2).

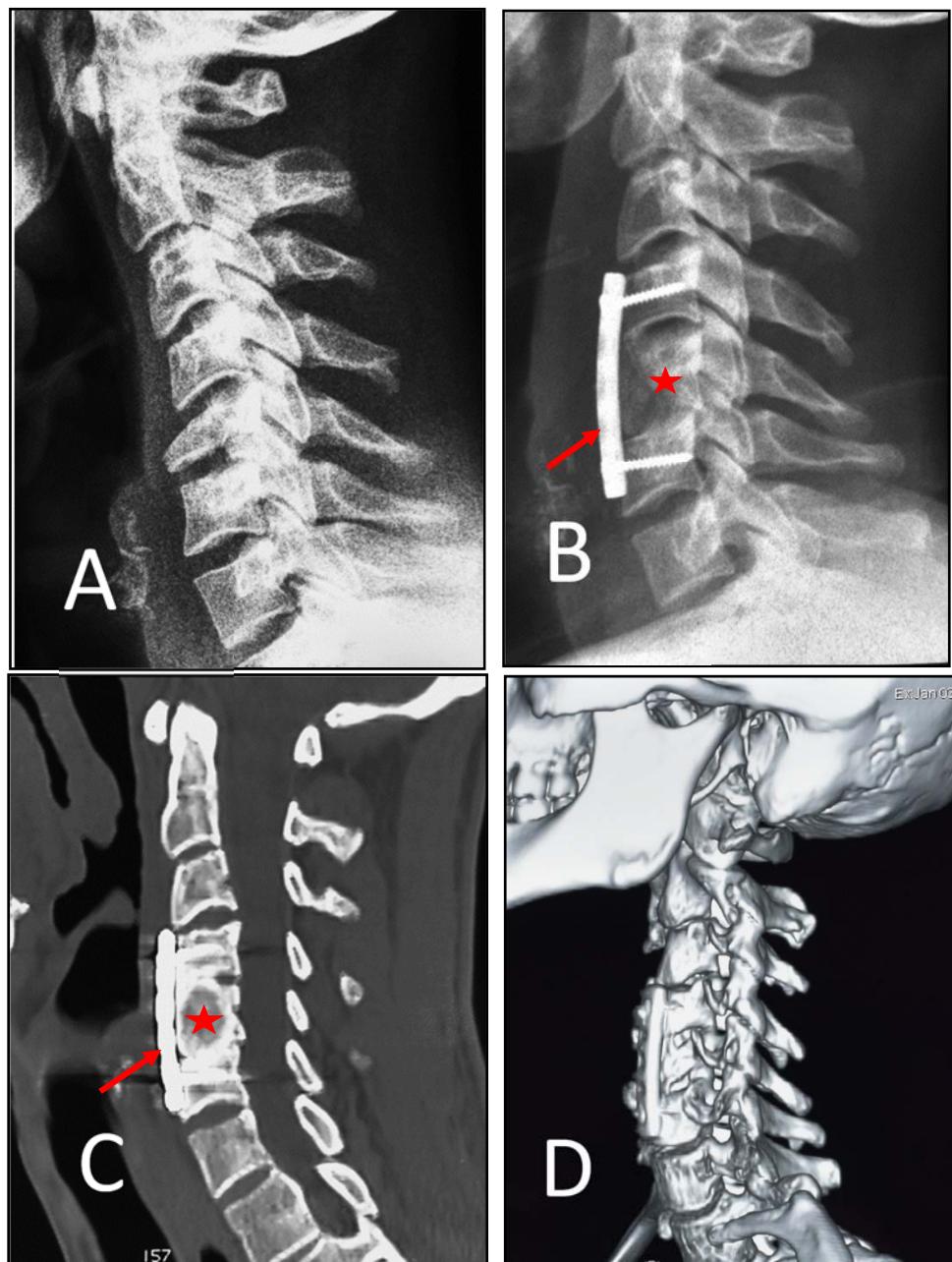


Figure 111 - Arthrodèse antérieure sur fracture Tear drop de C5

Radiographie préopératoire de profil (A), radiographie de profil (B), TDM en reconstruction sagittale (C) et 3D (D) montrant un matériel d'arthrodèse en place (Flèche) et 3D de contrôle montrant un matériel d'arthrodèse en place (Flèche) et le greffon osseux après corporectomie (Etoile)

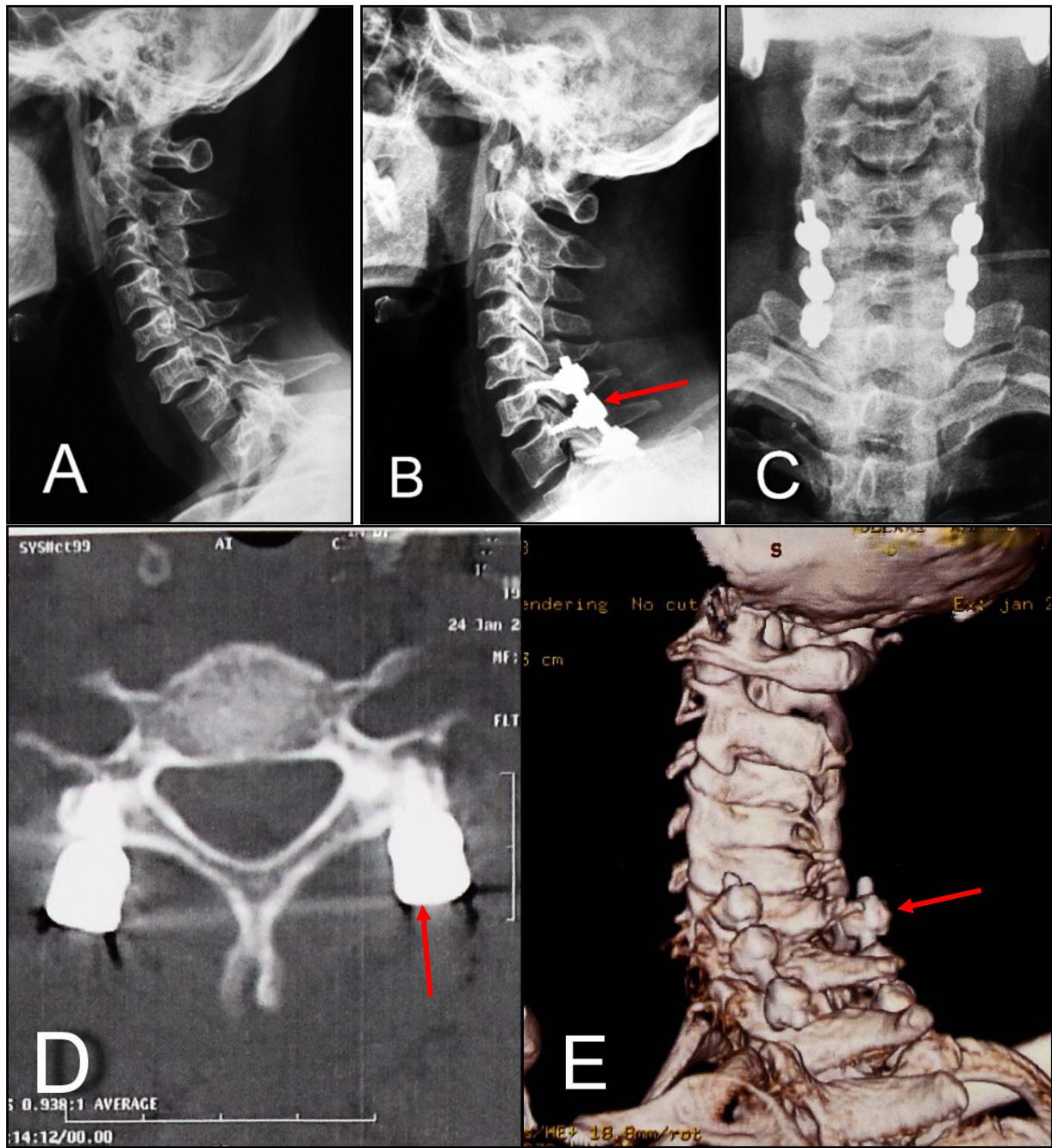


Figure 112 – Arthrodèse postérieure sur fracture-luxation C6-C7

Radiographie de contrôle de profil (B) et de face (C) et TDM coupe axiale (D) et 3D (E) montrant un matériel d'arthrodèse en place (Flèche)

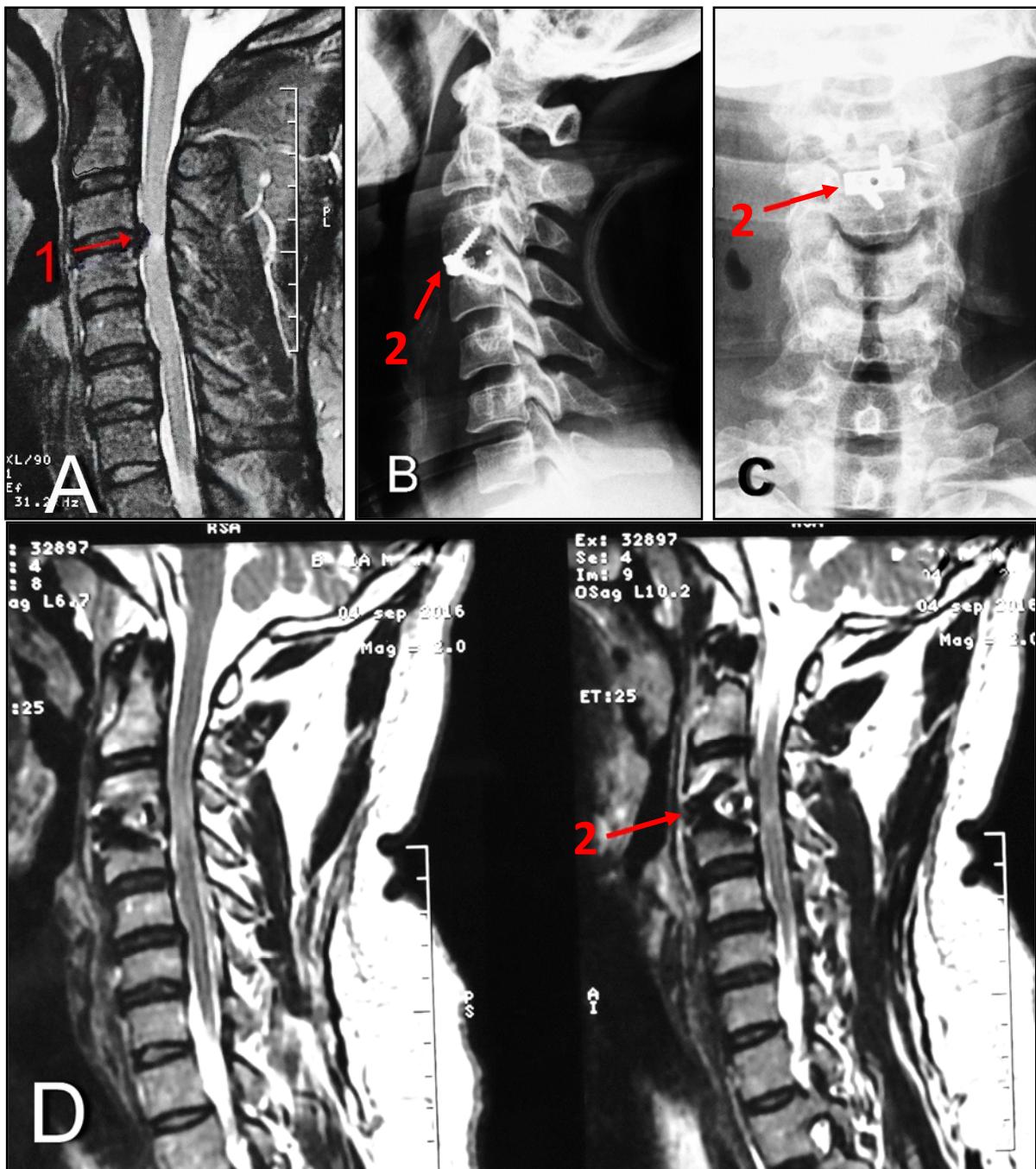


Figure 113 – Arthrodèse antérieure suite à une hernie discale traumatique (1)

IRM coupe sagittale T2 préopératoire (A), Radiographie standard de contrôle face (B) et profil (C) et IRM coupe sagittale T2 post opératoire (D) montrant la décompression médullaire avec cage intersomatique C3-C4 en place (2)

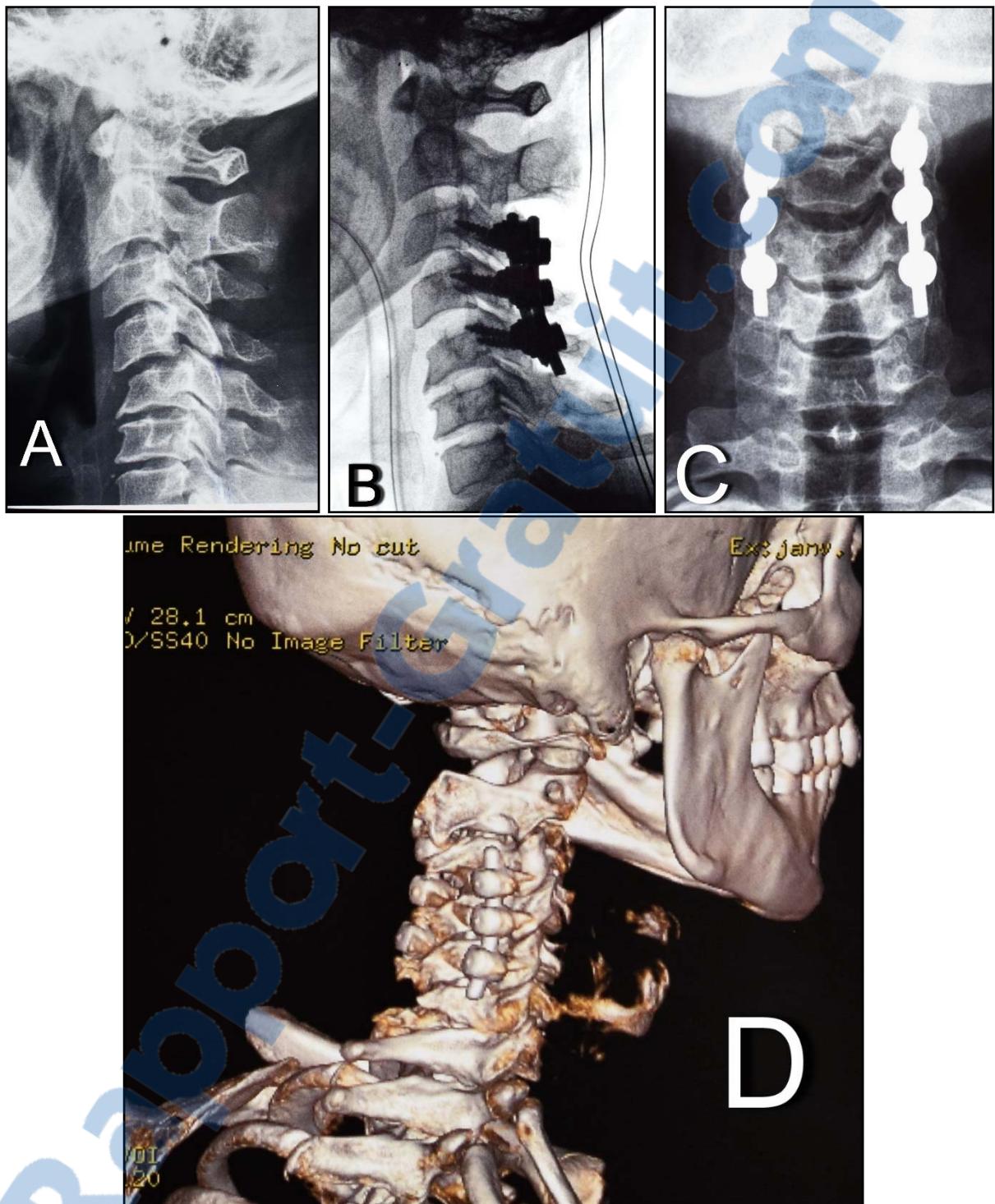


Figure 114 - Arthrodèse postérieure sur fracture-luxation C4-C5

Radiographie de profil préopératoire (A), postopératoire de profil (B) et de face (C) et TDM 3D montrant une arthrodèse cervicale postérieure sur deux étages C3-C4-C5.

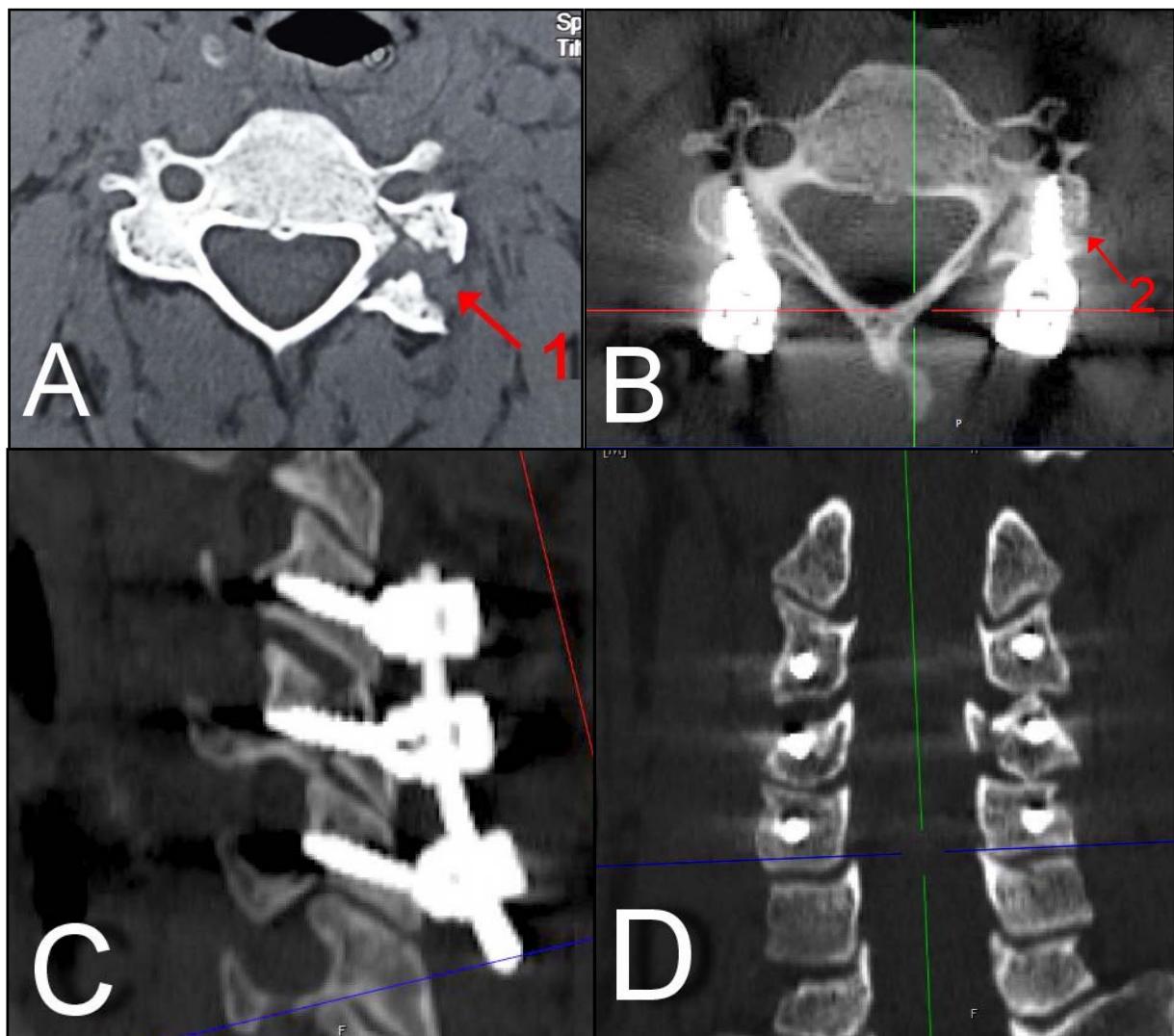


Figure 115 – Arthrodèse postérieure sur fracture-luxation C4-C5

TDM coupe axiale préopératoire (A) et axiale (B) reconstruction sagittale (C) et coronale (D) post-opératoire montrant une arthrodèse cervicale postérieure sur deux étages C3-C4-C5 avec réduction de la fracture (1) par vissage articulaire (2)

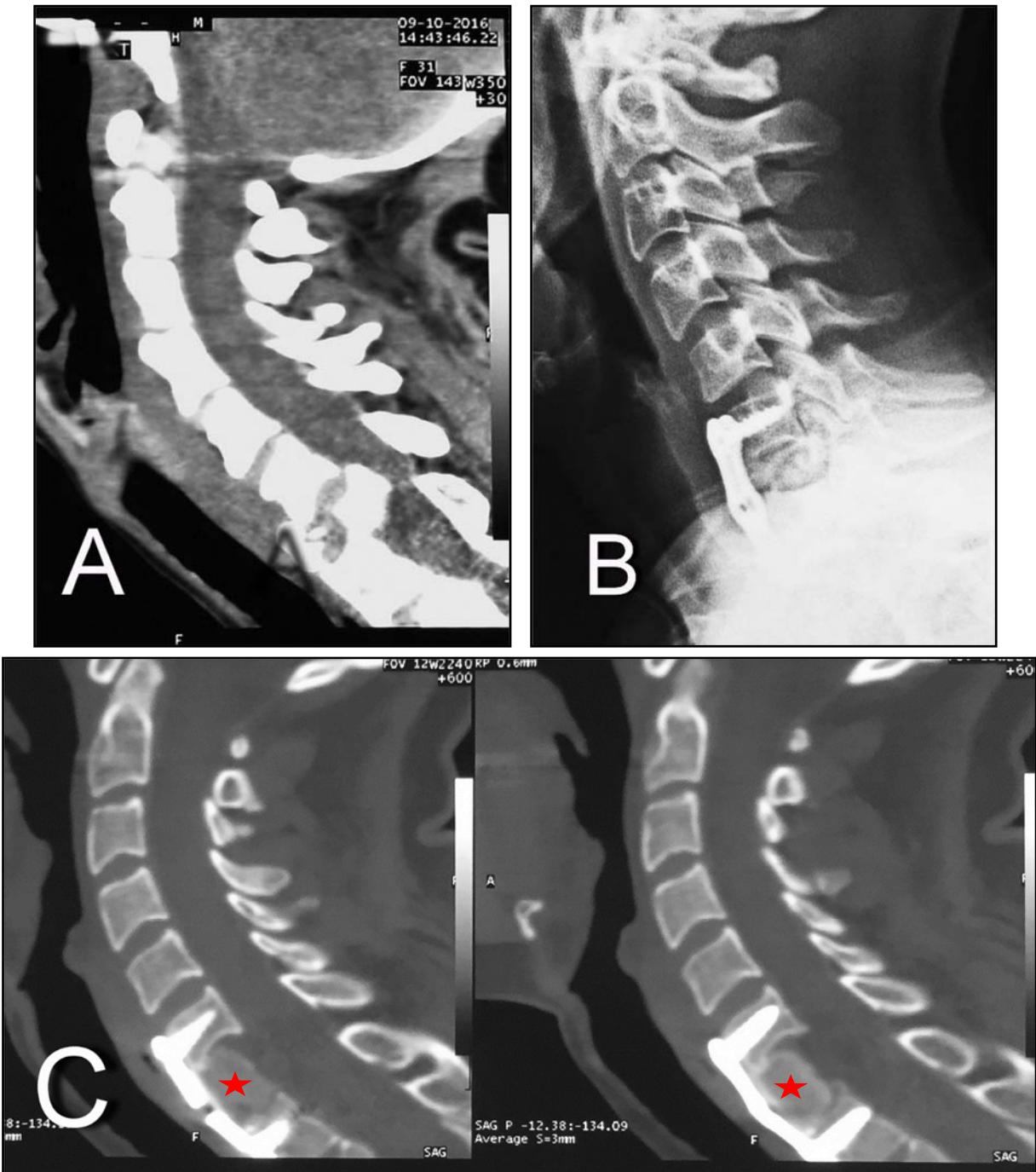


Figure 116 - Arthrodèse antérieure sur fracture comminutive de C7

TDM préopératoire en reconstruction sagittale (A), radiographie postopératoire de profil (B) et TDM en reconstruction sagittale (C) montrant un matériel d'ostéosynthèse C6-D1 en place avec greffon iliaque (étoile)

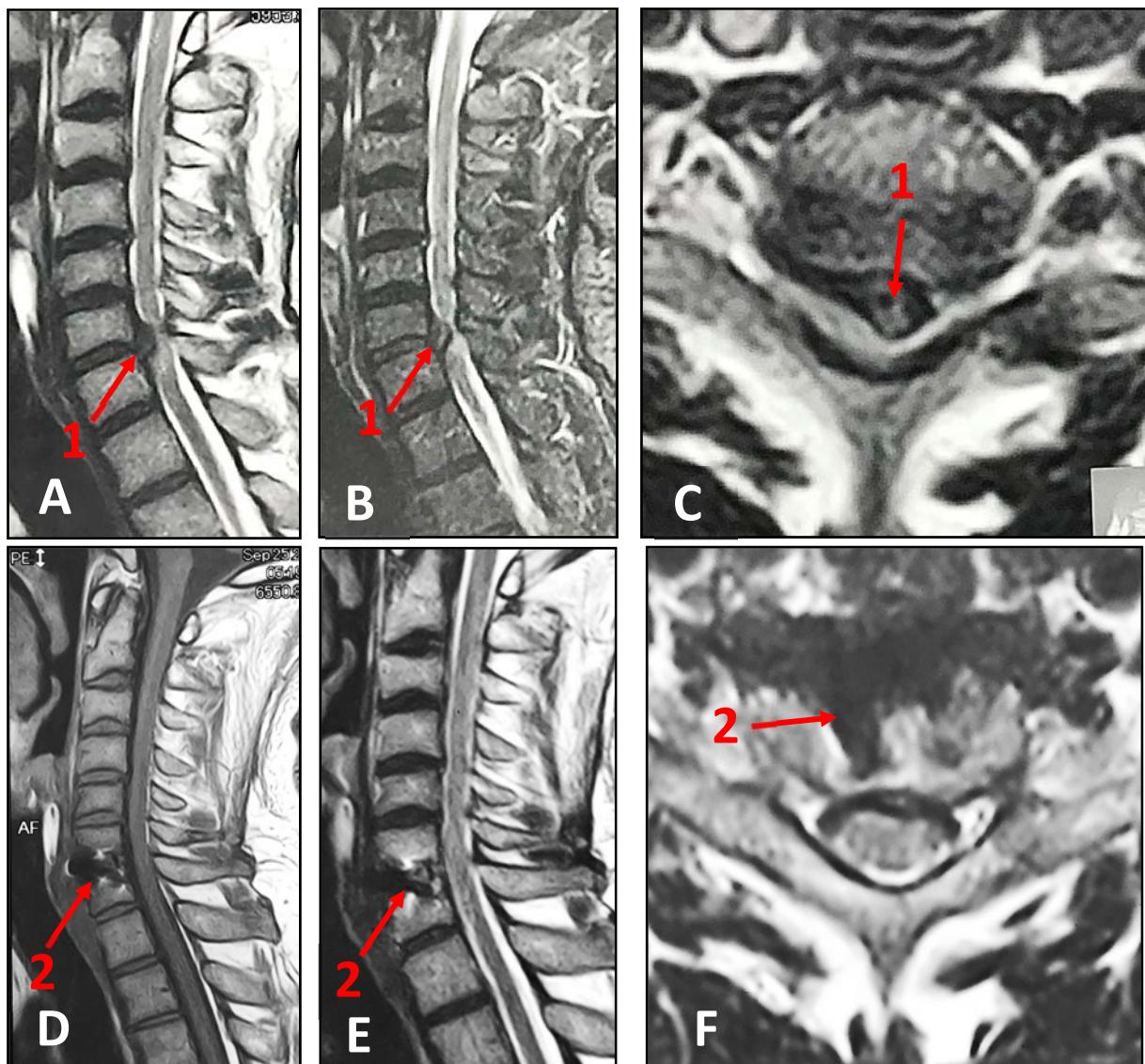


Figure 117 - Arthrodèse antérieure suite à une hernie discale traumatique (1)

IRM coupe sagittale T2 préopératoire (A, B) et axiale T2 (C), IRM de contrôle post opératoire en coupe sagittale T1 (D) et T2 (E) et coupe axiale T2 (F), montrant la décompression médullaire avec cage intersomatique C6-C7 en place (2)

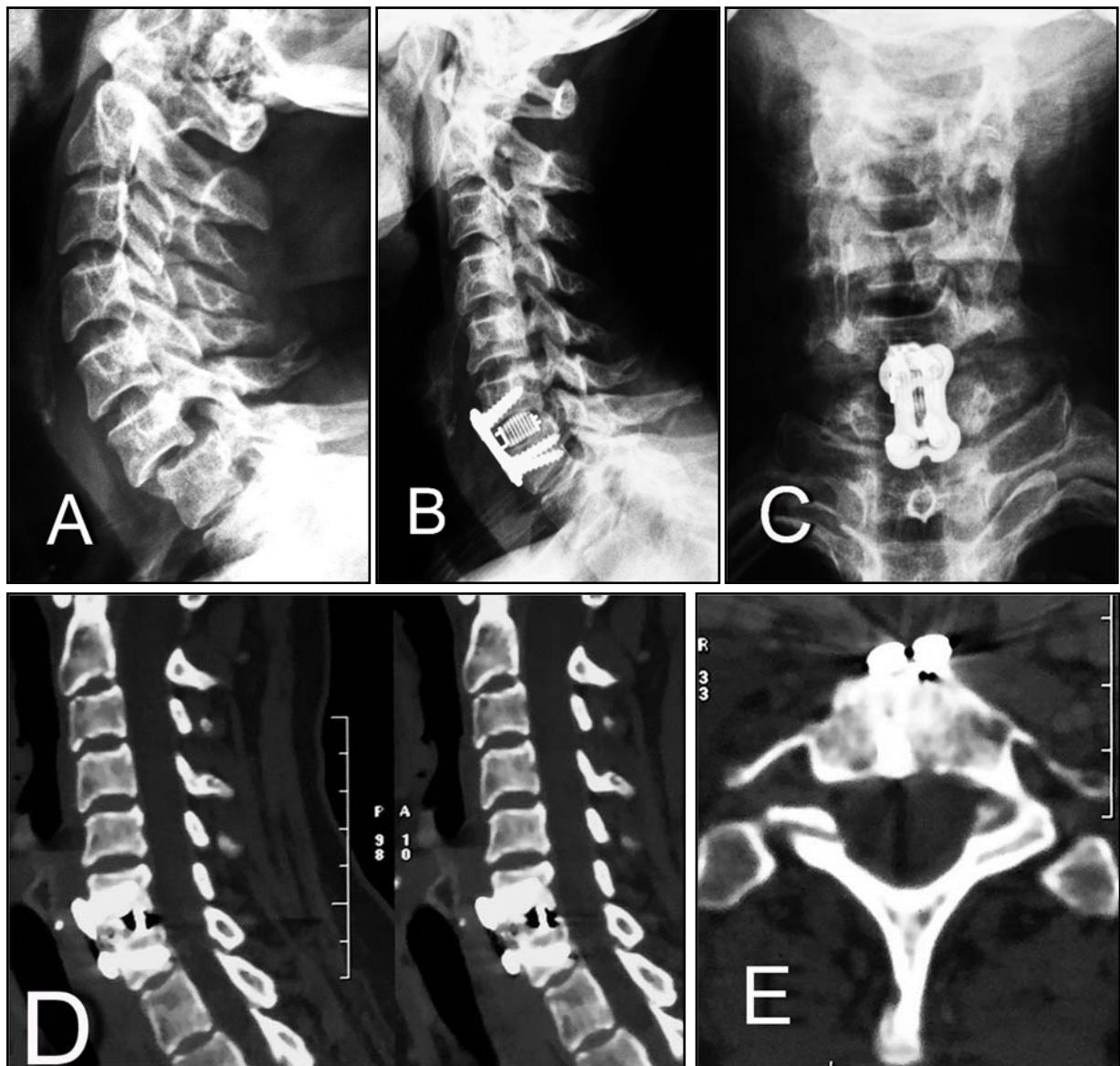


Figure 118 - Arthrodèse antérieure sur entorse grave C6-C7

Radiographie préopératoire de profil (A), radiographie postopératoire de profil (B), de face (C), TDM en reconstruction sagittale et coupe axiale montrant un matériel d'ostéosynthèse C6-C7 avec cage intersomatique.

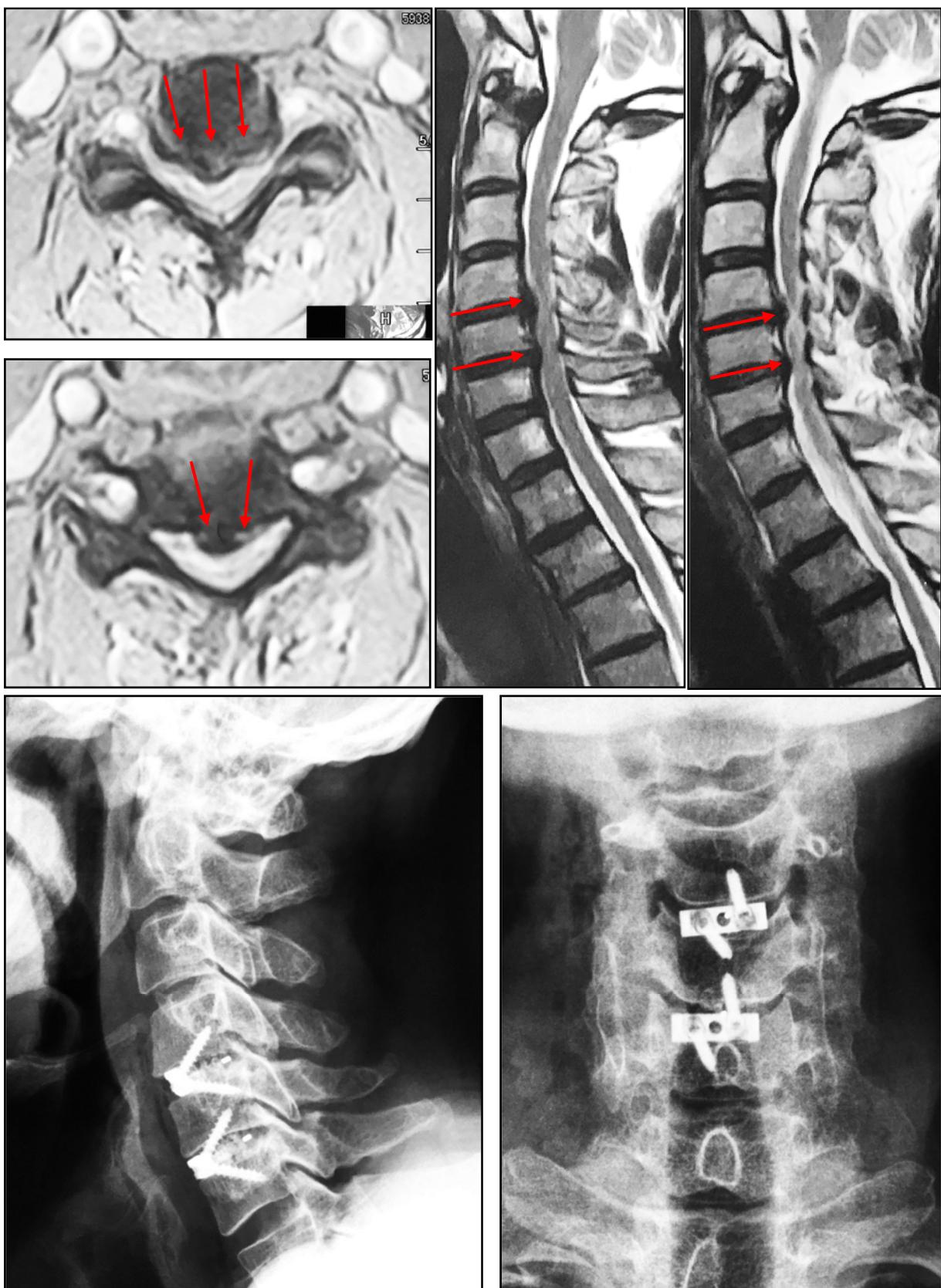


Figure 119 - Traumatisme cervical inférieur stable sur canal cervical étroit avec double hernie cervicale et compression en cours (Flèche)
Double dissectomie C4-C5 et C5-C6 et osteophytectomie avec mise en place de deux cage intersomatique avec substitut osseux

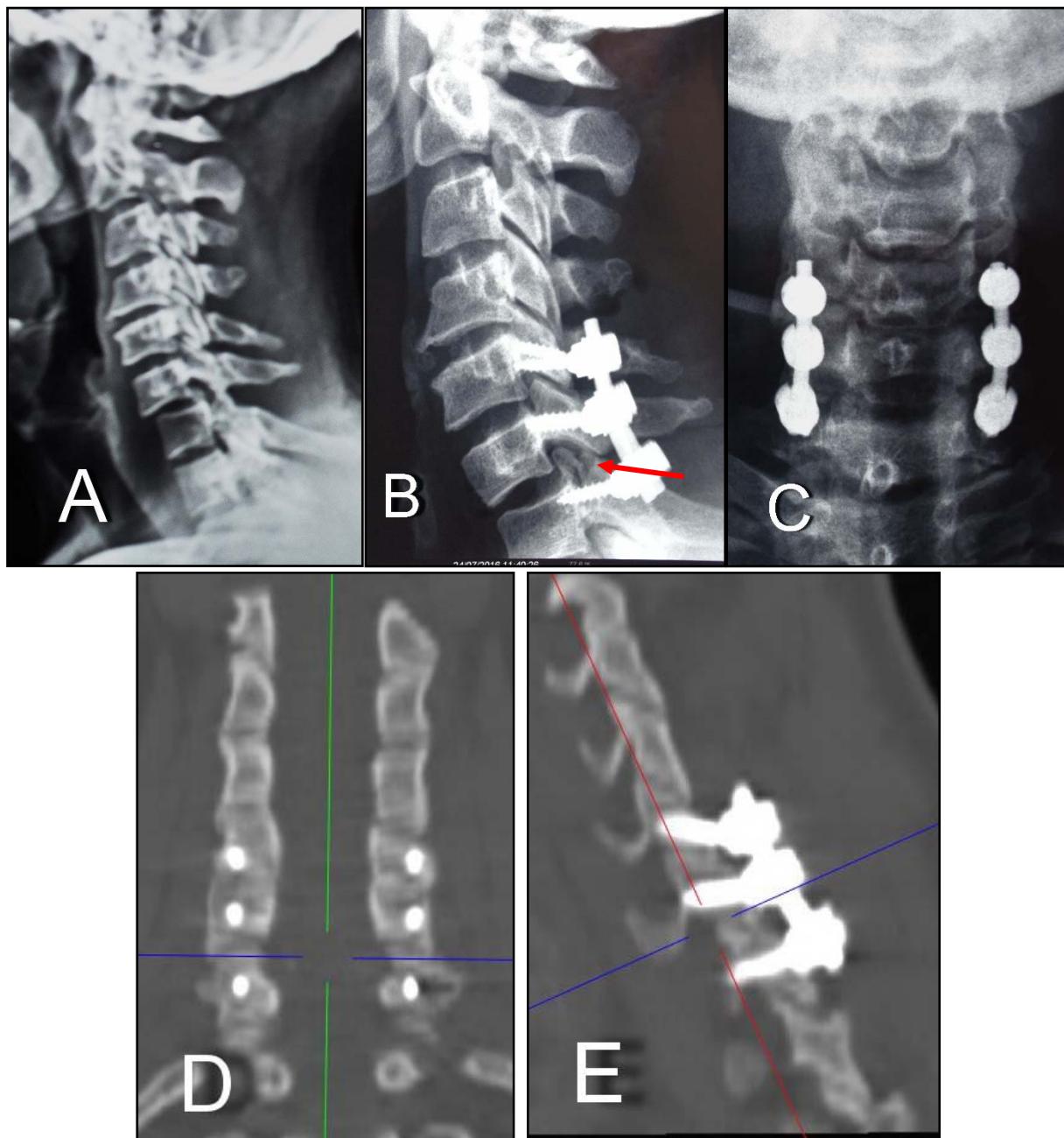


Figure 120 - Arthrodèse postérieure sur fracture-luxation uniarticulaire C7

Radiographie de profil préopératoire (A), postopératoire de profil (B) et de face (C), TDM en reconstruction coronale (D) et sagittale (E) montrant une arthrodèse cervicale postérieure sur deux étages C5-C6-C7 sur fracture uniarticulaire supérieure de C6 (Flèche)

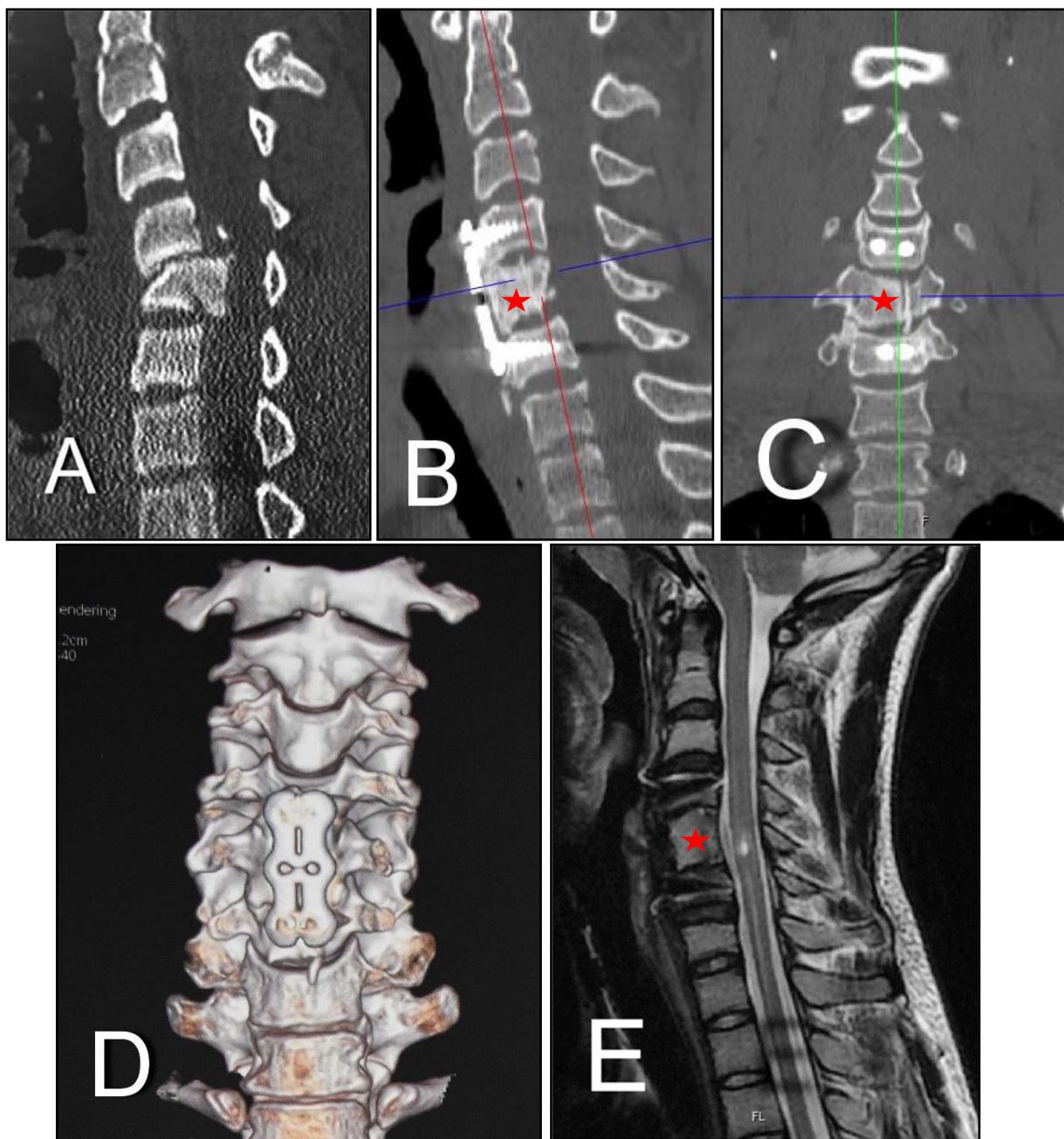


Figure 121 - Arthrodèse antérieure sur fracture Tear drop de C5

TDM préopératoire et postopératoire en reconstruction sagittale (A), (B), coronale (C), TDM 3D (D) et IRM en coupe sagittale T2(E) montrant un matériel d'ostéosynthèse C4-C6 en place avec greffon iliaque (étoile) et anomalie de signale médullaire en regard.

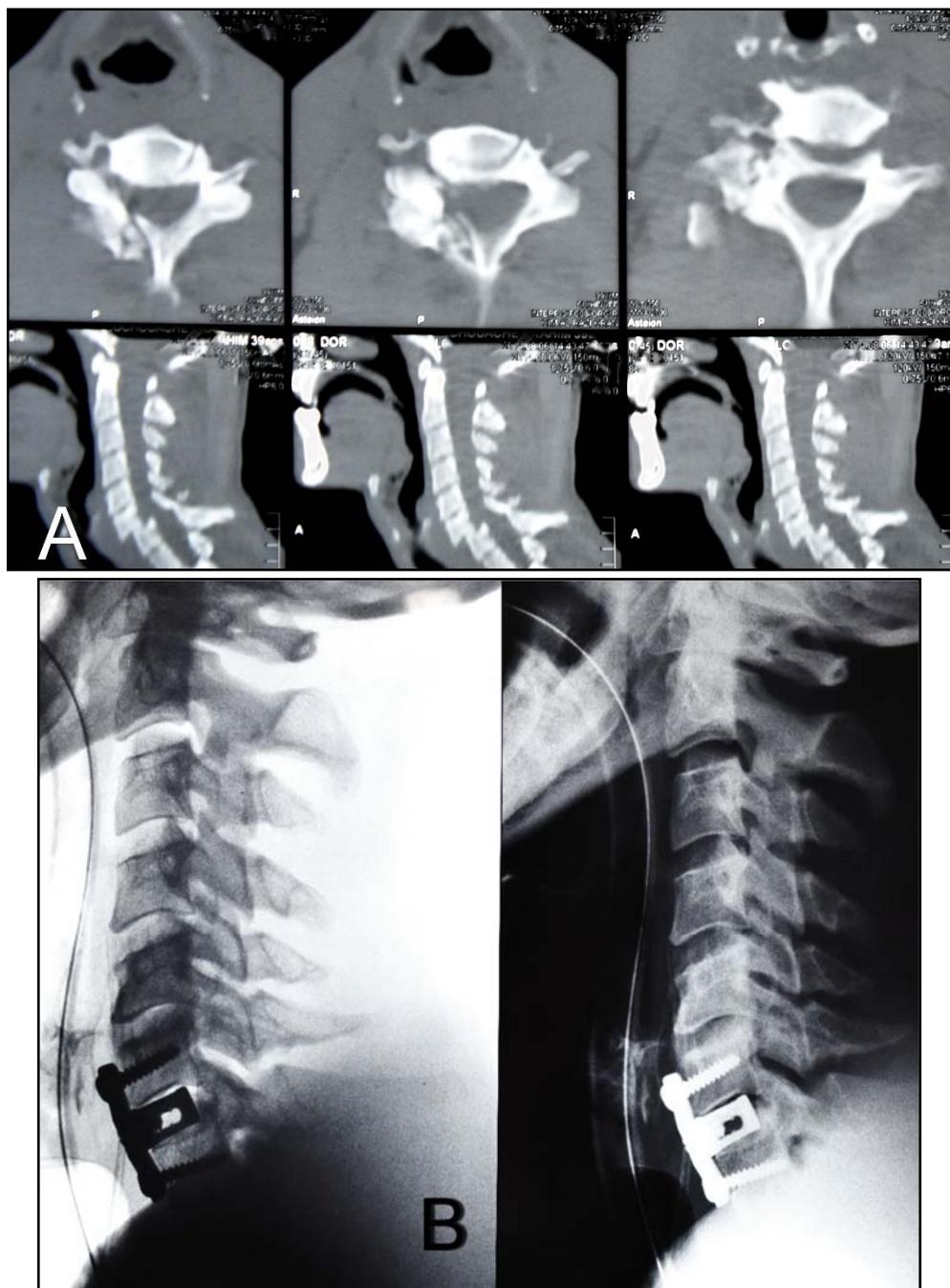


Figure 122 - Arthrodèse antérieure sur fracture-luxation uniarticulaire C6-C7

TDM préopératoire en coupe axiale et reconstruction sagittale (A) et radiographie postopératoire de profil (B), montrant un matériel d'ostéosynthèse C6-C7 avec cage intersomatique.

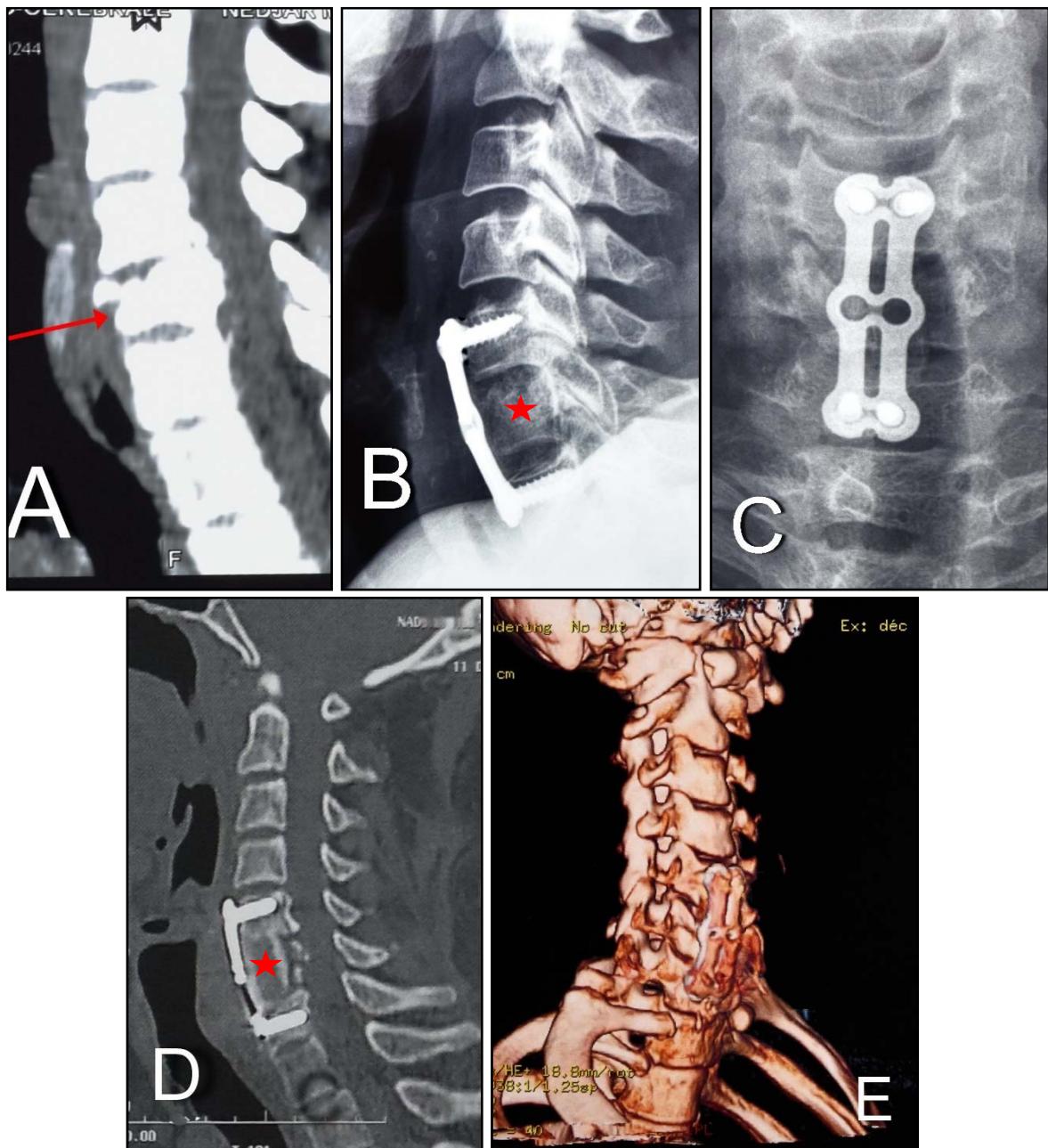


Figure 123 - Arthrodèse antérieure sur fracture comminutive de C6

TDM préopératoire en reconstruction sagittale (A), radiographie postopératoire de profil (B), de face (C), TDM en reconstruction sagittale (D) et 3D (E) montrant un matériel d'ostéosynthèse C5-C7 en place avec greffon iliaque (étoile)

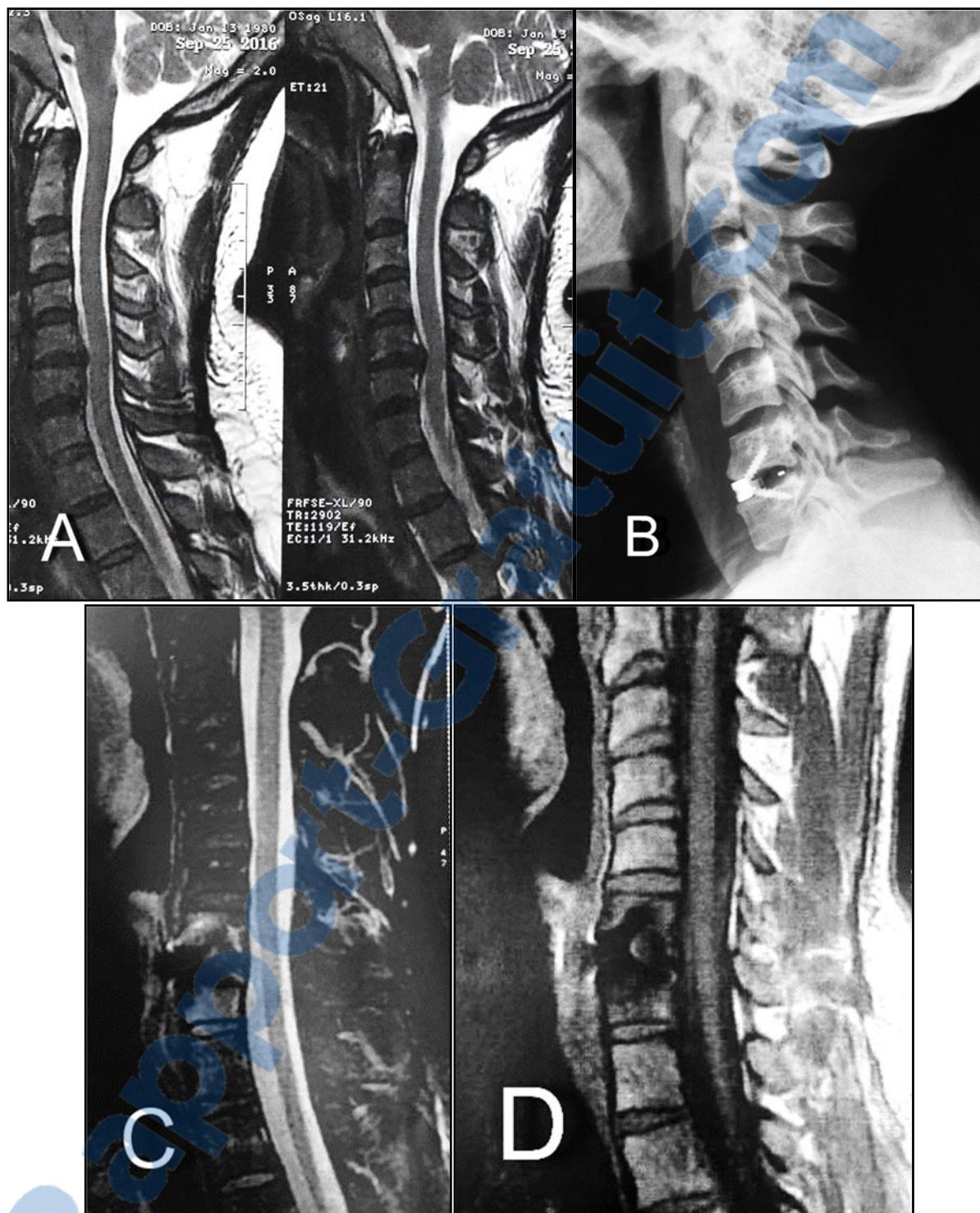


Figure 124 - Arthrodèse antérieure suite à une hernie discale traumatique

IRM coupe sagittale T2 préopératoire (A), Radiographie standard de contrôle de profil (B), IRM post opératoire coupe sagittale T2 (C) et T1 (D) montrant la décompression médullaire avec cage intersomatique C6-C7 en place.

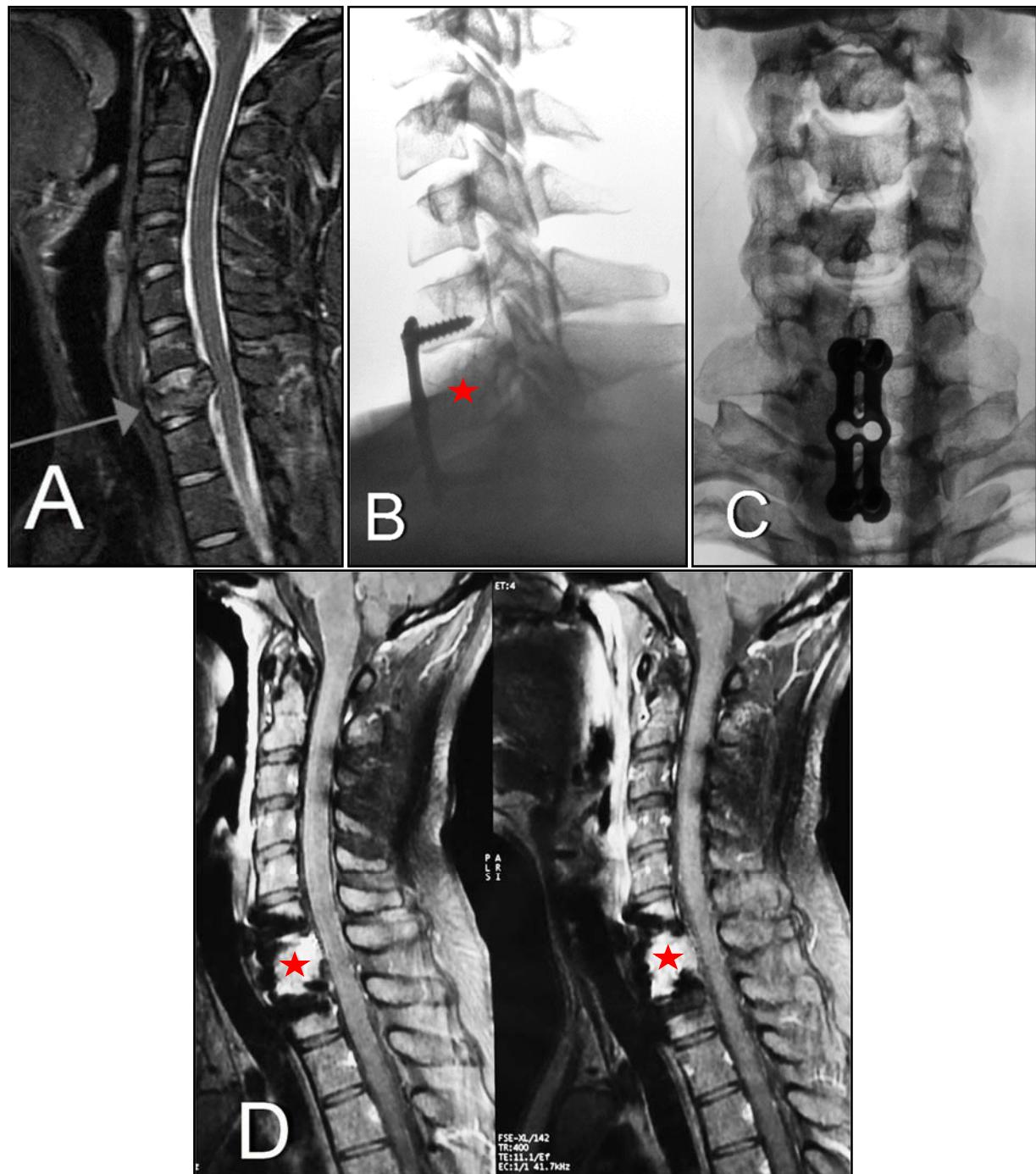


Figure 125 - Arthrodèse antérieure sur fracture comminutive de C7 (Flèche)

IRM préopératoire en coupe sagittale T1 (A), radiographie postopératoire de profil (B), de face (C), IRM en coupe sagittale T1 (D) montrant un matériel d'ostéosynthèse C6-D1 en place avec greffon iliaque (étoile)

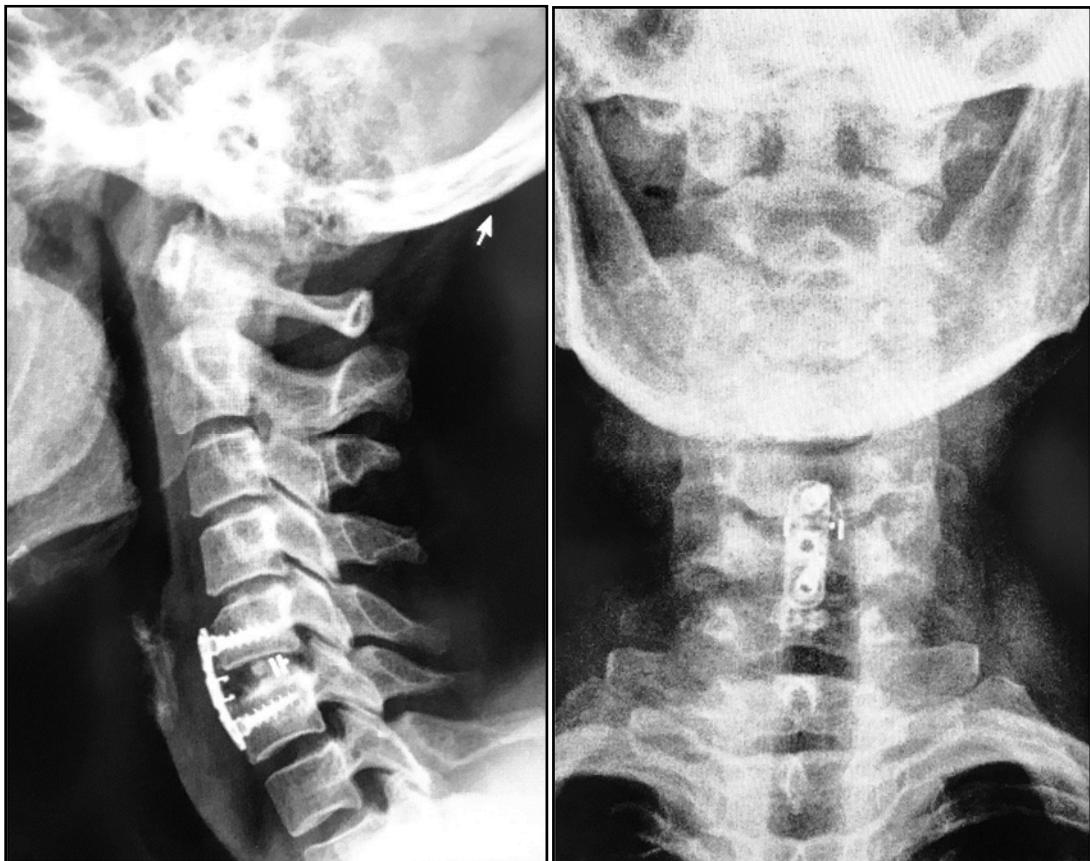


Figure 126 - Radiographie de face et de profil d'une arthrodèse C5-C6 par cage-plaque intersomatique d'une hernie discale C5-C6 post-traumatique

V. Discussion

Les traumatismes du rachis cervical sont des facteurs majeurs de décès et de handicap dans la population, ils peuvent avoir des conséquences personnelles dévastatrices et représentent un coût important pour les individus et la société.

Epidémiologie

La prévalence de la lésion traumatique vertébro-médullaire dans le monde est d'environ 750 par million avec une incidence annuelle qui semble augmenter au fil du temps. [259]

Compte tenu de l'impact des traumatismes vertébro-médullaires sur l'individu et la société, il est clair que des traitements efficaces visant à réduire l'étendue de la destruction des tissus et l'amélioration des résultats neurologiques après le traumatisme initial de la moelle épinière sont urgents.

Les concepts actuels de la pathophysiologie des traumatismes médullaires aigus indiquent qu'il existe à la fois des mécanismes primaires et secondaires qui entraînent des lésions neurologiques.

La lésion primaire, généralement causée par une compression et une contusion rapide de la moelle épinière, déclenche une cascade de signalisation d'événements en aval collectivement appelés blessures secondaires.

Prévenir et atténuer ces mécanismes secondaires est l'opportunité de la neuroprotection et où la plupart des tentatives d'intervention thérapeutique ont été organisées.

La présence d'une fracture du rachis cervical ou d'une luxation avec ou sans atteinte médullaire nécessite différentes interventions thérapeutiques et implique des conséquences potentielles distinctes à long terme.

La cause des traumatismes du rachis cervical varie selon l'âge et en particulier selon le sexe, les hommes étant trois à quatre fois plus susceptibles de subir un traumatisme cervical que les femmes. Des études épidémiologiques ont prouvé ce fait.

Dans une étude algérienne, effectuée par le Dr Hadji à l'hôpital Mustapha Pacha en 1997, [99] regroupant tous les traumatismes du rachis cervical, avec 160 patients, a retrouvé une nette prédominance masculine avec un sexe/ratio de 4,3. Dans une autre étude, cette fois-ci au Maroc, à Marrakech, par le Dr Bnouhanna concernant les traumatismes du rachis cervical inférieur [29] a observé aussi une nette prédominance masculine (92,5%).

Une étude effectuée au Nigeria par Kawu K et all à Lagos, [124] où il y avait 372 patients atteints de SCI, 299 (80,4%) hommes et 73 (19,6%) femmes présentant un sexe/ratio de 4,1. Dans notre étude les mêmes résultats ont été retrouvés avec une nette prédominance masculine (86,3%) et un sexe-ratio de 6,28 (Tableau 54)

Tableau 54 - Comparaison du sexe dans notre population d'étude avec les données de la littérature

| Pays | Etude | Sex/Ratio |
|------------|--------------------|-------------|
| Algérie | Hadji | 4,3 |
| | Notre étude | 6,28 |
| Maroc | Bnouhanna | 12,5 |
| Nigeria | Kawu K | 4,1 |
| Madagascar | Bemora JS | 2,3 |
| France | N Aghakhani | 2,33 |

Les jeunes adultes étaient le groupe d'âge le plus affecté dans notre étude avec un âge moyen de 35,92 ans. Le groupe d'âge de 20 à 40 ans représentait 51 % de tous les patients, suivis par des adultes de 40 à 50 ans (21,6%). Avec une moyenne d'âge de 35 ans, les mêmes résultats sont retrouvés dans différentes études avec une moyenne d'âge comprise entre 28 et 35 ans. [7], [24], [29], [99], [124] (Tableau 55)

Tableau 55 - Comparaison de l'âge dans notre population d'étude avec les données de la littérature

| Pays | Etude | Moyenne d'âge |
|-------------------|--------------------|---------------|
| Algérie | Hadji | 32 |
| | Notre étude | 35,92 |
| Maroc | Bnouhanna | 28 |
| Nigeria | Kawu K | 35,1 |
| Madagascar | Bemora JS | 32,1 |
| France | N Aghakhani | 30 |

Parmi les causes des traumatismes du rachis cervical, les accidents de la voie publique occupent la première place dans plusieurs études [7], [29], [77], [99], [121], [187], ceci se confirme dans notre étude avec 66% de toutes les causes, suivie des accidents de plongeon (15.7%), les chutes (11.8%) puis les accidents de sport, les accidents de travail et les coups et blessures volontaires (2%).

Ceci nous rappelle sur l'importance de la prévention qui aura pour but de diminuer la fréquence des AVP avec les campagnes de sensibilisation de la population concernée, le renforcement de la sécurité routière et des véhicules.

Tableau 56 - Comparaison de l'étiologie dans notre population d'étude avec les données de la littérature

| Pays | Etude | 1 ^{ère} cause | 2 ^{ème} cause | 3 ^{ème} cause |
|----------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Algérie | Hadji | AVP | A/plongeons | Chutes |
| | Notre étude | AVP | A/plongeons | Chutes |
| Maroc | Bnouhanna | AVP | Chutes | A/plongeons |
| Turkie | Karacan I | AVP | Chute | Violence |
| Japan | Shingu H | AVP | Chute | A/sport |
| Espagne | Pérez K | AVP | Chutes | A/sport |
| France | Aghakhani N | AVP | Chute | A/sport |

Clinique

Durant cette étude, nous avons constaté que 27.5% de nos patients ont été admis après les 72h, rentrant dans le cadre d'un traumatisme du rachis cervical négligé, alors que ces patients ont subi un traumatisme violent, avec des lésions graves et qui ont été sous-estimées.

Dans notre étude, tous les patients ayant été victimes d'un traumatisme violent ont été considérés comme présentant un traumatisme du rachis cervical jusqu'à preuve du contraire, afin de ne pas passer devant une lésion chirurgicale.

Sur les 51 patients de notre série, 20 avait un examen neurologique normal (29.2%), 31 patients (60.7%) ont présenté des troubles neurologiques. Nous avons constaté que 60.1% des patients admis avec des troubles neurologiques étaient classé ASIA D, et le reste étaient répartis entre ASIA C, B et A respectivement 16.1%, 9.6% et 12.9%.

Imagerie

Les modalités d'imagerie du rachis cervical sont souvent controversées, car les capacités d'imagerie varient d'une institution à l'autre en fonction des ressources disponibles. Traditionnellement, des vues radiographiques standards incluant les incidences face et profil sont utilisés pour évaluer le rachis cervical de la jonction craniocervicale à la jonction cervico-thoracique. [95], [118]

La tomodensitométrie (TDM) a été plus largement utilisée pour évaluer le rachis cervical étant donné sa grande disponibilité, son accessibilité rapide dans la zone de traumatologie et sa qualité d'image robuste. La TDM permet également une excellente visualisation des jonctions cervico-thoraciques et occipito-cervicales, souvent de mauvaise qualité sur les films ordinaires. Une sensibilité de 99% et une spécificité de 100% ont été démontrées dans certaines études sur l'utilisation de la tomodensitométrie multiplanaire. [13], [206]

Il est évident que la TDM fournit un outil puissant dans le bilan diagnostique initial, étant donné l'excellente résolution osseuse ; cependant, les études IRM sont primordiales pour la planification chirurgicale étant donné l'excellente visualisation des lésions compressives des tissus mous, y compris

les hernies discales et les hématomes. Il est également nécessaire d'évaluer le complexe disco-ligamentieux (DLC) ce qui aide à la détermination de la stabilité rachidienne. [80]

L'IRM a une grande sensibilité, mais une faible spécificité dans l'évaluation des lésions ligamentaires et augmente donc le risque potentiel de procédures potentiellement inutiles. Compte tenu de la propension à des résultats faussement positifs qui peuvent modifier la prise en charge, le rôle de l'IRM nécessite un rôle plus clairement défini. Pourtaheri et coll. ont tenté de définir le rôle grâce à une analyse clinique et radiographique rétrospective pour identifier les conditions prédisposant où l'IRM peut fournir des données utiles. Les patients âgés de plus de 60 ans, obnubilés, atteints d'arthrose cervicale, de polytraumatisme et de déficit neurologique ont montré des résultats cliniques en IRM qui ont modifié la prise en charge. La vaste proportion de ces changements dans la prise en charge était attribuable à l'IRM qui identifiait les lésions de la moelle épinière (81%) plutôt qu'à l'instabilité occulte (19%). [192]

Dans notre étude l'examen radiologique le plus utilisé et la radiographie standard (100%) suivi de la TDM (90.2%) et l'IRM (66.7%) (Tableau 32)

Classification anatomopathologique

Tous les systèmes de classification des traumatismes du rachis cervical traumatique dit "classique" sont caractérisés pour leur complexité, leur faible applicabilité et leur inutilité pour guider les options thérapeutiques. Ils sont basés sur des traumatismes extraits de l'imagerie, ignorants :

- La contribution des ligaments à la stabilité et le rôle de l'IRM dans la stratification [156].
- Le rôle de l'atteinte neurologique pour déterminer le pronostic a été clairement démontré dans les travaux antérieurs et représente un indicateur important de gravité de la lésion cervicale [163].
- Il est largement admis que des lésions neurologiques incomplètes nécessitent une procédure décompressive chirurgicale, même en cas d'absence d'instabilité structurelle franche.

Les nouveaux systèmes, notamment les systèmes SLIC et AOSPINE, comprennent des facteurs déterminants dans le pronostic, tels que les déficiences neurologiques et l'atteinte ou non du complexe disco-ligamentaire.

Actuellement, le système de classification des traumatismes du rachis cervical inférieur d'AOSpine est en cours d'élaboration et de validation.

L'objectif dans le développement de ce système de classification est d'avoir un système global qui soit simple et universellement accepté.

Il serait souhaitable que l'élaboration de directives fondées sur des données probantes puisse influencer d'autres aspects du processus décisionnel thérapeutique (par exemple, quelle approche opérationnelle est la plus appropriée pour une blessure particulière).

Nous croyons certainement que l'exactitude et la reproductibilité augmenteront avec le temps au fur et à mesure que les chirurgiens se familiariseront avec le protocole.

Dans notre étude nous avons adopté le système de classification d'AOSpine qui nous a semblé le plus complet et le plus précis, incluant des facteurs déterminants dans le pronostic.

Pour les lésions anatomopathologiques que nous avons rencontrées, les entorses graves sont les lésions les plus rencontrées (25.4%) suivies des fractures tear drop (17.6%) et des fractures-séparations du massif articulaire (15.6%).

Prise en charge initiale

Les soins initiaux des patients atteints de traumatisme vertébro-médullaire cervical sont d'une importance primordiale. La fonction neurologique au niveau de la racine nerveuse et du cordon médullaire peut être affectée négativement en cas de déplacement secondaire sur un rachis instable, et donc responsable d'aggravation neurologique [201]. Cela augmente la morbidité et la mortalité associées. Idéalement, le traitement commence sur le site du traumatisme. Le transport et l'immobilisation sécurisés sont cruciaux. Il est connu que suite à un traumatisme cervical, la stabilisation en ligne à l'aide d'un collier cervical dur réduit le mouvement de la colonne vertébrale cervical. La gestion des voies respiratoires et le maintien de l'immobilisation de la colonne vertébrale sont des facteurs importants pour limiter le risque de lésions neurologiques secondaires [19].

Les évaluations cliniques et diagnostiques précoces sont importantes pour déterminer la gravité de la blessure afin d'élaborer des plans pour une gestion ultérieure. Durant notre étude, nous avons pu offrir une évaluation et une prise en charge précoce pour tous nos patients. Avec l'accès aux examens de la tomodensitométrie et de l'IRM, 90.2% de nos patients ont bénéficié d'une TDM et 66% une IRM.

Traitement médical

Pour le traitement médical, l'un des sujets les plus controversés parmi les chirurgiens du rachis entoure l'utilisation de méthylprednisolone. Les données initiales des études sur les lésions médullaires aiguës n'ont pas montré de différence significative dans les résultats moteurs, sensoriels ou fonctionnels. Cependant, l'analyse a posteriori a démontré que l'administration précoce de méthylprednisolone dans les 8 h suivant la blessure a permis un rétablissement important. [31], [80]

Cependant ces diverses études ont été largement critiquées. Elles présentaient plusieurs biais méthodologiques, ne mettaient pas en évidence de bénéfices nets en termes de récupération et suggéraient une iatrogénie importante remettant fortement en cause le bénéfice risque pur le blessé. Certains auteurs persistent néanmoins à considérer qu'administrer précocement cette thérapeutique représente la seule possibilité de limiter l'aggravation des lésions neurologiques. En revanche un récente conférence d'experts français réunissant la société française d'anesthésie et de réanimation et les principales sociétés de médecin urgentiste et de neuro chirurgiens ne recommande pas l'administration de corticoïdes à la phase initiale, car les effets secondaires néfastes apparaissent plus évident que le bénéfice neurologique, [60] et c'est la raison qui nous a poussé à administré la méthylprednisolone dans notre étude, de façon systématique pour les patients avec troubles neurologiques, et donc avec atteinte médullaire ou radiculaire aiguë, mais avec des posologies de faibles à modérées pour éviter ces complications.

Traitement orthopédique versus arthrodèse

Le traitement avec immobilisation externe seulement (traction ou orthèse) a échoué à maintenir un alignement vertébral adéquat dans environ 30% des blessures traitées de cette façon. Environ 9% des patients traités chirurgicalement ont eu un destin similaire. Une compression vertébrale de 40%, une

cyphose de 15% ou une subluxation vertébrale de 20% ont été citées comme facteurs de risque d'échec de l'immobilisation externe. Une plus grande proportion de patients en échec d'alignement présentaient une douleur cervicale résiduelle par rapport à des patients traités de manière similaire chez lesquels l'alignement anatomique de la colonne vertébrale était atteint et maintenu. Vingt-six pour cent des patients avec luxations facettaires cervicales ont présenté un échec à la réduction non sanglante, tandis que 96% des patients traités chirurgicalement (réduction ouverte) ont obtenu une réduction réussie. La fixation de la plaque antérieure et les systèmes de vis / plaque de masse latérale postérieure ont tous deux très bien réussi à maintenir la réduction et l'alignement du rachis cervical après chirurgie. Les procédures de fusion postérieure étaient associées à un taux de complications plus élevé (37%) que les procédures de fusion antérieure (9%). [92]

Quatre articles de la revue de la littérature traitaient de la prise en charge non chirurgicale des fractures du rachis cervical inférieur : 3 articles liés à des blessures de facette unilatérales et 1 article lié à des blessures par flexion compression.

Les lésions facettaires unilatérales représentent un risque potentiel d'instabilité mécanique. Bien que la lésion du complexe facettaire lui-même soit souvent évidente, il peut être difficile de déterminer si la lésion est suffisante pour rendre le rachis cervical instable au point où l'immobilisation externe serait probablement insuffisante pour maintenir l'alignement vertébral afin de faciliter la guérison.

En 1997, Halliday et coll. [103] ont étudié 24 lésions unilatérales des facettes et évalué ces lésions par imagerie par résonance magnétique (IRM). Les lésions du LLA, du LLP, de la capsule facettaire et du ligament interépineux ont été étudiées. Les patients ont été traités chirurgicalement et non chirurgicalement dans leur série rétrospective. Douze patients ont été traités non chirurgicalement. Six des 7 échecs de traitement dans ce groupe ont eu 3 des 4 ligaments blessés. Huit des 12 patients traités chirurgicalement ont également eu au moins 3 ligaments blessés.

Spector et al [223] ont étudié 24 fractures facettaires unilatérales traitées de manière non chirurgicale. Cinq de ces blessures ont finalement nécessité une stabilisation chirurgicale, soit pour la perte d'alignement, soit pour le développement d'une radiculopathie. De plus, 4 des 6 patients ayant présenté des symptômes radiculaires n'ont pas amélioré leurs symptômes à la fin de la période d'étude. Ces

auteurs ont trouvé que les fractures impliquant 40% de la hauteur absolue de la masse latérale intacte ou une hauteur absolue de 1 cm présentaient un risque accru d'échec du traitement non opératoire.

Lee et Sung [140] ont décrit 39 patients traités par fusion intervertébrale antérieure à un seul niveau pour des fractures unilatérales de la masse latérale. Dans leur étude de cohorte, 15 patients ont d'abord été traités de façon non chirurgicale. Douze de ces 15 patients ont finalement nécessité un traitement chirurgical. Les auteurs, cependant, n'ont pas détaillé les raisons de leurs échecs de traitement non-opératoires.

En 2002, Fisher et ses collaborateurs [82] ont rapporté une étude de cohorte rétrospective comparant l'immobilisation par halo-veste à la fusion cervicale antérieure pour le traitement des fractures cervicales inférieures par compression-flexion (tear drop). Quatre des 24 patients traités dans un dispositif de halo ont finalement nécessité un traitement chirurgical. La cyphose moyenne dans le groupe de traitement halo était de 11,4° par rapport à 3,5° dans le groupe traité par fusion antérieure instrumentée (21 patients). Cependant, les résultats fonctionnels, jugés par « Short Form-36 scores », étaient équivalents entre les deux groupes. Bien que les patients aient été appariés à plusieurs égards, en raison de la nature rétrospective de la série et de la façon dont le traitement a été déterminé (selon la préférence du chirurgien traitant), cette étude offre des preuves médicales de classe III.

Toutes ces études nous démontrent l'avantage de l'arthrodèse par rapport au traitement dit conservateur par immobilisation/réduction externe, quand il existe une forte suspicion d'instabilité rachidienne. En effet le traitement chirurgical permet d'éviter une cyphose ou un déplacement secondaire et donc une compression médullaire, permet également d'éviter une réhabilitation précoce sans contrainte.

Dans sa thèse, le Dr Hadji a noté que 58% des patients atteints d'un traumatisme du rachis cervical inférieur ont bénéficié d'une arthrodèse. [99] Le Dr Bnouhanna a traité chirurgicalement 52,45% de ces patients. [29]

Dans notre étude, les patients traités chirurgicalement représentent 47% de tous les traumatismes du rachis cervical inférieur.

Tableau 57 - Comparaison selon le choix du traitement choisi dans notre population d'étude avec les données de la littérature [29], [79], [99]

| Pays | Etude | Ortho | Chirurgie |
|----------------|--------------------|------------|------------|
| Algérie | Hadjji | 39,7% | 60,3% |
| | Notre étude | 53% | 47% |
| Maroc | Bnouhanna | 52,4% | 48,6% |
| | Fatheddine | 17% | 83% |

Quand opérer ?

Le timing idéal pour un traitement chirurgical après un traumatisme cervical avec instabilité a toujours été controversé dans la littérature. Cependant plusieurs études multicentriques ont démontré récemment les avantages de la décompression précoce (< 24h), notamment The Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS) [77], qui une étude de cohorte prospective internationale multicentrique chez des patients de 16 à 80 ans atteints d'un traumatisme vertébro-médullaire cervical. Dans 19,8% des patients dans le groupe précoce, il y avait un gain supérieur ou égal à 2 dans l'ASIA Impairment Scale, comparée à un taux d'amélioration de 8,8% dans le groupe de décompression tardive (odds ratio 2,57, 95%, intervalle de confiance : 1,11 à 5,97).

Il est à noter que les résultats de cette étude semblent valider un consensus croissant chez les chirurgiens du rachis favorisant une intervention chirurgicale précoce pour les traumatismes vertébro-médullaires. [76], [77], [89]

Dans notre série les patients du groupe de chirurgie précoce avaient plus de chance pour une récupération neurologique postopératoire 76.9%, contrairement au groupe tardif 40%, ces résultats vont dans le sens de l'étude STASCIS, et donc une chirurgie précoce, en cas de compression en cours permettrait une meilleure récupération neurologique. [77] (Figure 109)

Hormis les avantages de la chirurgie décompressive pour une meilleure récupération, elle permet une mobilisation plus rapide des patients, une facilitation du traitement des blessures associées, une

réduction des taux de complications pulmonaires et des escarres, une réduction de la durée de l'unité de soins intensifs et des séjours à l'hôpital et une diminution des coûts médicaux globaux [8].

Approche antérieure ou postérieure ?

En plus du timing du traitement chirurgical, la meilleure approche (antérieure, postérieure, combinée) est un autre point de décision discutable. Il n'y a aucune différence dans la récupération neurologique entre l'abord antérieur et postérieur. [34], [135] En règle générale, l'approche est choisie en fonction des besoins de décompression cervicale, de reconstruction et de stabilisation, mais aussi des habitudes du chirurgien et de l'équipe chirurgicale.

Dans la littérature, l'abord antérieur est plus utilisé que l'abord postérieur, avec l'aide bien évidemment de techniques de réduction par traction ou manœuvres externes pour obtenir un bon alignement. Il est préféré dans trois quarts des cas. Elle permet d'accéder au rachis sans délabrement musculaire. En fonction du niveau à aborder, les rapports vasculo-nerveux sont différents et doivent être connus. [47], [98]

Les partisans de l'arthrodèse par voie antérieure pour le traitement des fractures du rachis cervical inférieur citent plusieurs avantages potentiels de cette approche thérapeutique. Le positionnement du patient est sûr et simple, évitant le besoin de retourner le patient avec le potentiel d'un rachis instable et donc d'une aggravation secondaire à la manipulation du patient.

La dissection chirurgicale est réalisée le long de plans de tissus définis avec peu ou pas de lésion musculaire iatrogène. La décompression antérieure de la moelle épinière peut être réalisée sous visualisation directe. Cependant, l'instrumentation vis/plaque antérieure peut être biomécaniquement inadéquate pour contrôler l'instabilité postopératoire. Plusieurs auteurs ont étudié l'utilité de l'instrumentation et de la fusion antérieures dans le traitement des lésions rachidiennes cervicales inférieures.

Woodworth et al [255] ont effectué une revue rétrospective de 19 patients avec un traumatisme du rachis cervical inférieur ayant nécessité une arthrodèse, traités par décompression antérieure et fusion. Ils ont

rapporté un taux de fusion de 88% avec seulement 1 échec d'instrumentation. Il n'y avait aucun cas de détérioration neurologique et aucune infection.

Kasimatis et al [122] ont décrit une série de 74 patients, également avec un mélange de types de blessures. 90% des patients de leur série ont réussi la fusion. Bien qu'ils aient rapporté 11 infections postopératoires (15%), seulement 3 patients ont nécessité une reprise chirurgicale.

D'autres auteurs ont rapporté une série d'arthrodèses antérieure, spécifiquement pour des fractures des facettes articulaires et des masses latérales.

Lee et Sung [140] ont décrit 39 patients traités avec une fusion antérieure à un seul niveau pour des fractures unilatérales de la masse latérale. Un échec a été observé chez 8 patients (21%). Trois cas présentaient une instabilité ou un mauvais alignement sur un segment adjacent ; 5 cas avaient une réduction incomplète de la subluxation.

Henriques et ses collaborateurs [108] ont rapporté une série de 39 patients présentant des luxations de facettes unilatérales et bilatérales ligamentaires traitées par instrumentation et fusion antérieures. Seulement 2 des 17 patients présentant des lésions unilatérales ont présenté une réduction postopératoire incomplète. À l'inverse, 7 des 13 patients présentant des lésions bilatérales ont présenté une subluxation récurrente postopératoire. Bien qu'aucune analyse statistique n'ait été effectuée sur ce petit échantillon, les auteurs ont noté que 4 des 5 patients présentant des lésions neurologiques complètes et des luxations bilatérales avaient eux aussi une réduction postopératoire incomplète.

Johnson et al [117] ont publié une série rétrospective de 87 patients (sur un total de 107) avec des lésions facettaires unilatérales et bilatérales traitées par instrumentation et fusion antérieures. Treize pour cent des patients ont présenté une réduction incomplète post-opératoire ; aucun n'a eu une aggravation neurologique. En analysant les 11 patients ayant subi une perte de réduction après chirurgie, les auteurs ont identifié une fracture facette (10 sur 11), une fracture des plateaux vertébraux (9 sur 11), et C6-C7 comme niveau atteint (8 sur 11) comme facteurs de risque dans leur expérience.

Les partisans de la voie postérieure pour le traitement des traumatismes du rachis cervical inférieur citent la biomécanique comme principal avantage de cette stratégie de fixation interne. En outre, la réduction

ouverte des luxations articulaires est simple avec l'approche postérieure et a été la méthode chirurgicale traditionnelle utilisée. Cinq articles contemporains ont rapporté des séries cliniques de lésions rachidiennes cervicales inférieures posttraumatiques traitées avec fixation postérieure et fusion.

Kotani et al, [129] Zhou et al, [261] et Yukawa et al [260] ont tous rapporté des séries rétrospectives de patients traités avec une arthrodèse par voie postérieure. Dans l'ensemble, ces séries documentent un faible taux de complications liées à l'instrumentation et d'autres complications ainsi qu'une bonne récupération neurologique avec cette technique chirurgicale.

Lenoir et ses collaborateurs [142] ont rapporté une série de 30 patients traités par ostéosynthèse et fusion postérieure pour des fractures autour de la jonction cervicothoracique, une zone où l'échec de l'instrumentation a été ressenti comme étant commun en raison de la tension biomécanique élevée. Cinq patients présentant des lésions similaires ont également été traités avec une décompression antérieure et une fusion (abord mixte). Le taux d'infection pulmonaire postopératoire (30%) et le taux de mortalité (23%) étaient élevés chez les patients souffrant de ces graves blessures graves, mais le nombre d'échecs instrumentaux (2) et d'infections des plaies (2) était faible.

Enfin, Pateder et Carbone ont décrit une série de 29 patients avec une série mixte de lésions subaxiales rachidiennes cervicales traitées par ostéosynthèse postérieure et par fusion. Parmi ces 29 patients, seulement 1 a connu un échec d'instrumentation et 1 a subi une blessure aux racines. Il y avait 4 complications de plaies postopératoires. En moyenne, les auteurs ont noté 2° de perte de correction de l'angulation sagittale avec réduction opératoire postérieure et techniques de fixation interne.

Dans notre étude, la voie d'abord qui a été le plus pratiquée est la voie antérieure présternocléidomastoïdienne qui a été réalisée chez 44 patients (86.3%), la voie d'abord postérieure du rachis cervical a été réalisée 7 patients (13.7%).

Tableau 58 - Comparaison de la voie d'abord choisie dans notre population d'étude avec les données de la littérature [29], [99], [188], [220]

| Pays | Etude | Abord Ant | Abord Post |
|------------------|--------------------|------------|------------|
| Algérie | Hadji | 90% | 10% |
| | Notre étude | 86% | 14% |
| Maroc | Bnouhanna | 77% | 23% |
| Amérique du nord | Peterson J | 69% | 31% |
| Corée du sud | Song KJ | 76% | 24% |

Complications

Malgré les avantages de la chirurgie cervicale, il existe encore de nombreuses complications possibles. Celles-ci commencent par l'anesthésie et le positionnement à la dissection et à la procédure chirurgicales. Dans la chirurgie antérieure, il faut éviter les rétractions prolongées afin de prévenir les lésions de l'œsophage, du nerf laryngien récurrent et des artères carotides. [44], [110], [184], [230], [246]

En chirurgie postérieure, la foraminotomie prophylactique peut aider à réduire le risque de compression radiculaire de l'étage concerné. Une analyse minutieuse de l'anatomie osseuse et vasculaire devrait être effectuée en préopératoire. La préservation des muscles postérieurs et leurs attaches sont importantes pour la prévention des douleurs cervicales postopératoires et de la cyphose retardée. La plupart des complications sont gérables avec une préparation adéquate. Lorsqu'il est soigneusement et correctement exécuté, les arthrodèses du rachis cervical inférieur peuvent être efficaces avec un taux acceptable de complications. [44]

Dans notre série le taux de complications post arthrodèses est faible. Nous avons constaté deux complications liées à la chirurgie, un hématome qui a nécessité son évacuation en urgence, et un débricolage minime qui n'a pas nécessité de reprise chirurgicale. Le reste des complications sont liées aux lésions médullaires et au décubitus.

Tableau 59 - Comparaison des complications dans notre population d'étude avec les données de la littérature

| Complications | Algérie Hadji | Notre étude | Maroc Bnouhana | Grèce Kasimatis | France Lenoir |
|------------------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|
| Débricolage | 7 | 1 | 1 | 5 | 2 |
| Hématome | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Reprise opératoire | - | 1 | 0 | 3 | 0 |
| Fistule oeso-tracheale | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Infection locale | 9 | 0 | 0 | 11 | 2 |
| Dysphonie | - | 1 | 1 | 0 | 0 |

Mortalité

Malgré les avancées de la prise en charge aiguë des TVM, 15 à 20% des patients décèdent avant leur arrivée à l'hôpital [66]. Dans la population survivante, le pronostic est particulièrement médiocre chez les tétraplégiques de haut niveau. Une mortalité sur 1 an de 8,2% et une espérance de vie de seulement 10 à 15 ans après la blessure, la septicémie et la pneumonie étant les principales causes de décès.[160]

La survie cumulative de tous les cas de TVM aiguë est de 94% à 1 an et de 86% à 10 ans [178]. Les patients avec une atteinte médullaire complète subissent une mortalité 3 fois supérieure à celle de leurs homologues avec une atteinte incomplète. [178]

Dans l'étude STASCIS, 4 décès ont été rencontrés pour 182 patients (2.1%) dans le groupe de chirurgie précoce, et seulement un décès sur 131 patients pour le groupe de chirurgie tardive (0.8%). [77]

Dans les études du Dr Hadji la mortalité globale était de 20.6%, elle concerne les patients opérés et non opérés, et dans les 33 décès observés, 23 patients présentaient un syndrome neurovégétatif sévère. [99] Dans sa thèse, Dr Bnouhanna a observé 11 décès sur les 122 patients (9%), 8 patients présentaient une atteinte médullaire complète. [29] Lenoir dans sa série de 30 cas a observé 23.3% de décès [142] Kasimatis quand a lui a observé 5% de taux de décès. [122]

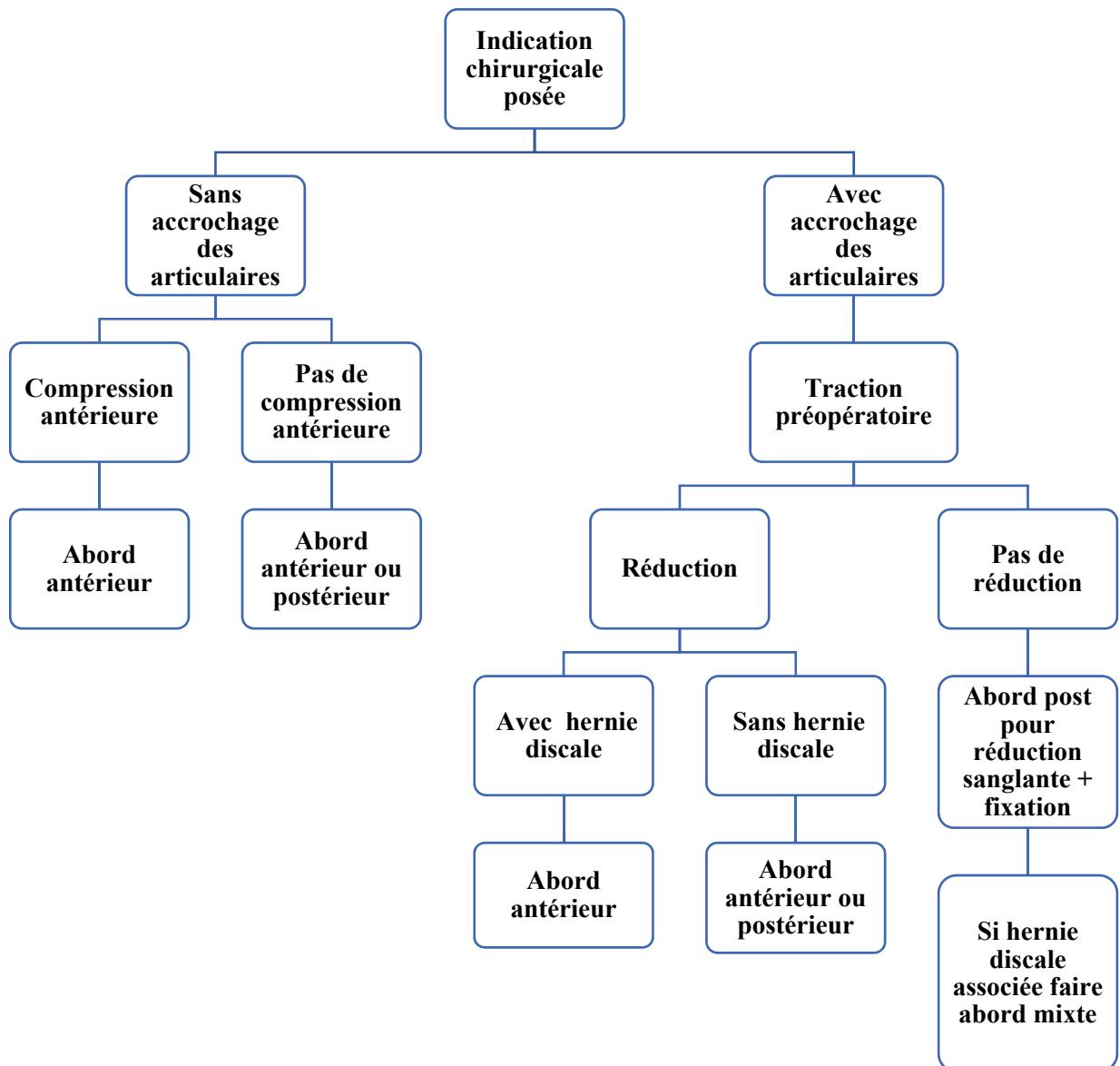
Dans notre étude nous déplorons deux décès, il s'agit dans les deux de patients AIS A, qui présentaient des troubles neurovégétatifs sévères. Et donc dans cette série la mortalité est de 3.9%.

Tableau 60 - Comparaison de la mortalité dans notre population d'étude avec les données de la littérature [29], [99], [122], [142]

| Pays | Etude | Mortalité |
|---------|--------------------|-------------|
| Algérie | Hadji | 20,6% |
| | Notre étude | 3,9% |
| Maroc | Bnouhanna | 8% |
| France | Lenoir et al | 23,3% |
| Grèce | Kasimatis et al | 5% |

VI. Recommandations

Au terme de notre travail, nous proposons ci-dessous un algorithme pour la décision chirurgicale en ce qui concerne les traumatismes du rachis cervical inférieur.



VII. Conclusion

Au terme de notre travail, il ressort que le traumatisme du rachis cervical inférieur est une pathologie fréquente, intéresse le jeune de sexe masculin et dont l'étiologie est dominée par les accidents de la voie publique et les accidents de plongeant en eaux peu profondes, mettant en jeu le pronostic fonctionnel et vital.

Si les traumatismes de la moelle épinière restent d'un pronostic fonctionnel redoutable, les progrès de la réanimation, du nursing et de la rééducation ont diminué la mortalité.

Une prise en charge précoce et coordonnée, un diagnostic et une évaluation rapides, la levée chirurgicale de la compression médullaire associée au recalibrage et à la stabilisation de la fracture, sont les conditions indispensables à l'amélioration du pronostic neurologique.

L'arthrodèse permet de stabiliser un rachis traumatique instable, de prévenir un déplacement secondaire et donc une compression médullaire, afin d'éviter une aggravation neurologique secondaire aux conséquences fonctionnelle et vitale, et permet par la suite une réhabilitation précoce sans crainte.

Malgré l'amélioration de la prise en charge ces dernières années, il reste beaucoup à faire en ce qui concerne la prise en charge préhospitalière et l'accueil de ce genre de patients dans les centres non spécialisés.

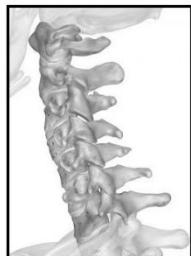
La mortalité à court et à moyen terme reste élevée pour les tétraplégiques avec ASIA A.

En attendant l'aboutissement des recherches scientifiques en matière de thérapie génique, repousse et greffe neuronale, la prévention paraît la meilleure option pour lutter contre les conséquences de cette pathologie.

VIII. Annexes

Ci-dessous la fiche clinique que nous avons utilisée durant notre étude.

Centre hospitalo-universitaire d'Oran - Service de neurochirurgie – Pr BOUCHAKOUR
Chirurgie du rachis traumatique



Dossier Médical Traumatisme du rachis

N° du dossier :

Nom :

Prénom :

Age :

Médecins traitants :

.....
.....

Date d'entrée :

Date d'opération :

Date de sortie :

Diagnostic :

Centre hospitalo-universitaire d'Oran - Service de neurochirurgie – Pr BOUCHAKOUR
Chirurgie du rachis traumatique

**Dossier Médical
Traumatisme du rachis**

Informations personnelles

| | | | |
|---------------------------------------|----------|------------------|---|
| Nom : | Prénom : | N° :/..... | M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> |
| Date de naissance :/...../..... | Age : | Tel 1 : | |
| Adresse : | | Tel 2 : | |
| Profession : | | N° de Wilaya : | |

Antécédents médicaux

Antécédents chirurgicaux

Mode d'admission

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Date d'admission :/....../..... | Date de sortie :/....../..... | Jours d'hospitalisation |
| Urgences <input type="checkbox"/> | Consultation <input type="checkbox"/> | Hôpital d'origine : |

Circonstance de l'accident

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| Date :/....../..... HeureH | Lieu : | Délais d'admission : (H/J) |
| Type : AVP <input type="checkbox"/> Chute <input type="checkbox"/> A/ plongeon <input type="checkbox"/> A/ sport <input type="checkbox"/> CBV <input type="checkbox"/> A/ travail <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> | | |
| Mécanisme : Compression <input type="checkbox"/> Flexion <input type="checkbox"/> Extension <input type="checkbox"/> Wiplash <input type="checkbox"/> Rotation <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/> | | |
| Ramassage : Civière oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Transport : Médicalisé oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Minerve oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | |
| Polytraumatisme : Crâne <input type="checkbox"/> Thorax <input type="checkbox"/> Membres <input type="checkbox"/> Abdomen <input type="checkbox"/> (.....) | | |

Examen clinique à l'admission

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Pouls : | Tension artérielle : |
| Fréquence respiratoire : | Température : |

| Examen Neurologique initial | | | | | | | | | |
|--|---|--------------------------------------|---|--------|---|---------------------|--|--|--|
| Evaluation motrice | | | | | Evaluation sensitive | | | | |
| | | Toucher | | Piqûre | | | | | |
| D | G | D | G | D | G | | | | |
| C2 | | | | C2 | | C2 | | | |
| C3 | | | | C3 | | C3 | | | |
| C4 | | | | C4 | | C4 | | | |
| C5 | | | | C5 | | C5 | | | |
| C6 | | | | C6 | | C6 | | | |
| C7 | | | | C7 | | C7 | | | |
| C8 | | | | C8 | | C8 | | | |
| T1 | | | | T1 | | T1 | | | |
| T2 | | | | T2 | | T2 | | | |
| T3 | | | | T3 | | T3 | | | |
| T4 | | | | T4 | | T4 | | | |
| T5 | | | | T5 | | T5 | | | |
| T6 | | | | T6 | | T6 | | | |
| T7 | | | | T7 | | T7 | | | |
| T8 | | | | T8 | | T8 | | | |
| T9 | | | | T9 | | T9 | | | |
| T10 | | | | T10 | | T10 | | | |
| T11 | | | | T11 | | T11 | | | |
| T12 | | | | T12 | | T12 | | | |
| L1 | | | | L1 | | L1 | | | |
| L2 | | | | L2 | | L2 | | | |
| L3 | | | | L3 | | L3 | | | |
| L4 | | | | L4 | | L4 | | | |
| L5 | | | | L5 | | L5 | | | |
| S1 | | | | S1 | | S1 | | | |
| S2 | | | | S2 | | S2 | | | |
| S3 | | | | S3 | | S3 | | | |
| S4-5 | | | | S4-5 | | S4-5 | | | |
| Total | | | | Total | | Total | | | |
| Score « motricité » : /100 | | | Score toucher : /112 | | | Score piqûre : /112 | | | |
| Contraction anale : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | | | Sensibilité anale : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| Niveau neurologique | | Sensitif : Droite Gauche | | | | | | | |
| | | Moteur : Droite Gauche | | | | | | | |
| *Segment le plus caudal ayant une fonction normale | | | | | | | | | |
| Échelle d'anomalie ASIA / ASIA Impairment Scale (AIS) | | | | | | | | | |
| A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> | | | | | Syndrome clinique | | | | |
| <p>A = complète : aucune motricité ou sensibilité dans le territoire S4-S5</p> <p>B = incomplète : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5</p> <p>C = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3</p> <p>D = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous du niveau a un score ≥ 3</p> <p>E = normale : la sensibilité et la motricité sont normales</p> | | | | | <p>Complet <input type="checkbox"/></p> <p>Centromédullaire <input type="checkbox"/></p> <p>Antérieure <input type="checkbox"/></p> <p>Postérieur <input type="checkbox"/></p> <p>Syndrome latéral <input type="checkbox"/></p> | | | | |
| Date de l'examen: | | | | | | | | | |

Centre hospitalo-universitaire d'Oran - Service de neurochirurgie – Pr BOUCHAKOUR
Chirurgie du rachis traumatique

Résumé de l'examen Neurologique d'admission

| | | | | | | |
|--|--|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|---|
| Classification FRANKEL | A <input type="checkbox"/> | B <input type="checkbox"/> | C <input type="checkbox"/> | D <input type="checkbox"/> | E <input type="checkbox"/> | Glasgow : |
| ASIA Impairment Scale (AIS) | A <input type="checkbox"/> | B <input type="checkbox"/> | C <input type="checkbox"/> | D <input type="checkbox"/> | E <input type="checkbox"/> | |
| Score ASIA moteur :/100 | | | | | | Contraction anale : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> |
| Score ASIA sensitif : Toucher :/112 Pique :/112 | | | | | | Sensibilité anale : oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> |
| Niveau neurologique | Sensitif : Droite Gauche | | | | | |
| | Moteur : Droite Gauche | | | | | |
| *Segment le plus caudal ayant une fonction normale | | | | | | |
| Syndrome clinique : complet <input type="checkbox"/> Centromédullaire <input type="checkbox"/> Antérieure <input type="checkbox"/> Postérieur <input type="checkbox"/> syndrome latéral <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| Respiration abdominale oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Priapisme Oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | | Hypotension + bradycardie oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | | | |

Neuro-Radio

Radio standard F P $\frac{3}{4}$ Dynamique TDM IRM

Neuro-Physio

EMG PES PEM Autres :

Types de lésions

| | |
|--|-----------|
| Osseuse oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Détails : |
| Ligamentaire oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Détails : |
| Médullaire oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Détails : |

Conclusion

Centre hospitalo-universitaire d'Oran - Service de neurochirurgie – Pr BOUCHAKOUR
Chirurgie du rachis traumatique

| | |
|---|--|
| Traitements | |
| Bolus de Méthylprednisolone oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>mg en bolus /mg/24h | |
| Traction oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Réduction oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> |
| Traitement orthopédique oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Minerve <input type="checkbox"/> Halo-veste <input type="checkbox"/> Durée : jours Autre..... |
| Traitement Chirurgical oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> | Date de l'intervention :/...../..... |
| Résumé du protocole opératoire : | |
| Délai opératoire : 0 – 6h <input type="checkbox"/> 6 – 24h <input type="checkbox"/> 24 – 48h <input type="checkbox"/> plus de 48h <input type="checkbox"/> (.....H) | |
| Voies d'abord : antérieure <input type="checkbox"/> postérieure <input type="checkbox"/> Mixte <input type="checkbox"/> | |
| Type du consommable utilisé : | |

| | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Evolution Neurologique à la sortie | | | |
| Amélioration <input type="checkbox"/> | stationnaire <input type="checkbox"/> | Aggravation <input type="checkbox"/> | Décès <input type="checkbox"/> |

| | |
|--|---|
| Complications | |
| Infection <input type="checkbox"/> Débricolage <input type="checkbox"/> Migration du greffon <input type="checkbox"/> Escarre <input type="checkbox"/> pneumopathie <input type="checkbox"/> Infection Urinaire <input type="checkbox"/> Fistule œsophagienne <input type="checkbox"/> Reprise <input type="checkbox"/> Autre..... | |
| Sortie et Suivi | Date de sortie :/...../..... |
| ASIA de sortie :..... | Asia après rééducation : |
| Frankel de sortie :..... | Frankel après rééducation : |

RESUME DE SORTIE

Centre hospitalo-universitaire d'Oran - Service de neurochirurgie – Pr BOUCHAKOUR
Chirurgie du rachis traumatique

Evolution

IX. Références

- [1] A., ILLMAN ; K., STILLER: The prevalence of orthostatic hypotension during physiotherapy treatment in patients with an acute spinal cord injury. In: *Spinal Cord* Bd. 38 (2000), Nr. 12 — ISBN 1362-4393
- [2] AA, WHITE ; MM, PANJABI: Clinical Biomechanics of the Spine, 2nd ed. In: *Philadelphia: Lippincott* Bd. 2 (1990), S. 18–20 — ISBN 0397507208
- [3] ABUMI, K ; ITOH, H ; TANEICHI, H ; KANEDA, K: Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report. In: *Journal of spinal disorders* Bd. 7 (1994), Nr. 1, S. 19–28 — ISBN 0895-0385
- [4] ACKERY, ALUN ; ROBINS, SHERRI ; FEHLINGS, MICHAEL G: Inhibition of Fas-mediated apoptosis through administration of soluble Fas receptor improves functional outcome and reduces posttraumatic axonal degeneration after acute spinal cord injury. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 23 (2006), Nr. 5, S. 604–16 — ISBN 0897-7151 (Print)r0897-7151 (Linking)
- [5] AEBI, MAX: Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures. In: *European Spine Journal* Bd. 19 (2010), Nr. SUPPL. 1. — NULL — ISBN 0940-6719
- [6] AEBI, M ; ZUBER, K ; MARCHESI, D: Treatment of cervical spine injuries with anterior plating. Indications, techniques, and results. In: *Spine* Bd. 16 (1991), Nr. 3 Suppl, S. S38-45
- [7] AGHAKHANI, N. ; VIGHE, B. ; M., TADIE: Traumatismes de la moelle épinière. In: *Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Neurologie* Bd. 17-685-NaN-1 (1999), Nr. Paris Elsevier
- [8] ALBERT, TODD J. ; KIM, DAVID H.: Timing of surgical stabilization after cervical and thoracic trauma. In: *J Neurosurg* Bd. 3, Journal of Neurosurgery Publishing Group (2005), Nr. 3, S. 182–190
- [9] ALLEN, ALFRED REGINALD: Surgery of experimental lesion of spinal cord equivalent to crush injury of fracture dislocation of spinal column. A preliminary report. In: *Surgery* Bd. LVII, American Medical Association (1911), Nr. 11, S. 878
- [10] ALLEN, BEN L. ; FERGUSON, RON L. ; LEHMANN, THOMAS R. ; O'BRIEN, R. P.: A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. In: *Spine* Bd. 7 (1982), Nr. 1 — ISBN 0362-2436 (Print)r0362-2436 (Linking)
- [11] ANDERSON, P A ; HENLEY, M B ; GRADY, M S ; MONTESANO, P X ; WINN, H R: Posterior cervical arthrodesis with AO reconstruction plates and bone graft. In: *Spine* Bd. 16 (1991), Nr. 3 Suppl, S. S72-9 — ISBN 0362-2436 (Print)r0362-2436 (Linking)
- [12] ANDERSON, PAUL A ; MOORE, TIMOTHY A ; DAVIS, KIRKLAND W ; MOLINARI, ROBERT W ; RESNICK, DANIEL K ; VACCARO, ALEXANDER R ; BONO, CHRISTOPHER M ; DIMAR, JOHN R ; U. A.: Cervical spine injury severity score. Assessment of reliability. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* Bd. 89 (2007), Nr. 5, S. 1057–65 — ISBN 0021-9355 (Print)
- [13] ANTEVIL, JARED L. ; SISE, MICHAEL J. ; SACK, DANIEL I. ; KIDDER, BRENDAN ; HOPPER, ANDREW ; BROWN, CARLOS V. R.: Spiral Computed Tomography for the Initial Evaluation of

Spine Trauma: A New Standard of Care? In: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* Bd. 61 (2006), Nr. 2, S. 382–387

- [14] DE ARAUJO ONO, ALLAN HIROSHI ; DA ROCHA, IVAN DIAS ; CRISTANTE, ALEXANDRE FOGA??A ; MARCON, RAPHAEL MARTUS ; OLIVEIRA, REGINALDO PERILO ; FILHO, TARC??SIO ELOY PESSOA BARROS: Subaxial cervical fracture: Application and correlation of AO and SLIC. In: *Coluna/ Columna* Bd. 14 (2015), Nr. 3, S. 218–222
- [15] ARENDS, M J ; WYLLIE, A H: Apoptosis: mechanisms and roles in pathology. In: *Int Rev Exp Pathol* Bd. 32 (1991), S. 223–254 — ISBN 0074-7718; 0074-7718
- [16] ARNOLD, PAUL M. ; BRYNIARSKI, MARK ; MCMAHON, JOAN K.: Posterior stabilization of subaxial cervical spine trauma: Indications and techniques. In: *Injury* Bd. 36 (2005), Nr. SUPPL. 2, S. 36–43
- [17] AROOJ, SHUMAILA ; MUBARAK, FATIMA ; AZEEMUDDIN, MUHAMMAD ; SAJJAD, ZAFAR ; JILANI, WASEY: Hirayama disease, a rare cause of posture related cord compression: A case report from radiological perspective. In: *Journal of the Pakistan Medical Association* Bd. 63 (2013), Nr. 11, S. 1435–1438 — ISBN 0030-9982 (Print)0030-9982
- [18] ARSLAN, ALI OSMAN ; BENEK, SELIM ; DIRAMALI, FATMA DILEK ; DIRAMALI, MURAT ; TONYALI, FERDA: Founder of Catgut. In: *Acta Medica Anatolia* Bd. 2 (2014), Nr. 3
- [19] AUSTIN, NAOLA ; KRISHNAMOORTHY, VIJAY ; DAGAL, ARMAN: Airway management in cervical spine injury. In: *International journal of critical illness and injury science* Bd. 4, Wolters Kluwer -- Medknow Publications (2014), Nr. 1, S. 50–6
- [20] AYDOGAN, MEHMET ; ENERCAN, MERIC ; HAMZAOGLU, AZMI ; ALANAY, AHMET: Reconstruction of the Subaxial Cervical Spine Using Lateral Mass and Facet Screw Instrumentation. In: *Spine* Bd. 37 (2012), Nr. 5, S. E335–E341 — ISBN 8111706758
- [21] BAIG, MIRZA N. ; LUBOW, MARTIN ; IMMESOETE, PHILLIP ; BERGESE, SERGIO D. ; HAMDY, ELSAYED-AWAD ; MENDEL, EHUD: Vision loss after spine surgery: review of the literature and recommendations. In: *Neurosurgical Focus* Bd. 23, American Association of Neurological Surgeons (2007), Nr. 5, S. E15
- [22] BAUER, JAN: Apoptosis in brain-specific autoimmune disease. In: *Current Opinion in Immunology* Bd. 7 (1995), Nr. 6
- [23] BECSKE, TIBOR ; NELSON, PETER KIM: The Vascular Anatomy of the Vertebro-Spinal Axis. In: *Neurosurgery Clinics of North America* Bd. 20 (2009), Nr. 3
- [24] BEMORA, JOSEPH SYNESE ; RAKOTONDRAIBE, WILLY FRANCIS ; RAMAROKOTO, MIJORO ; RATOVONDRAINY, WILLY ; ANDRIAMAMONJY, CLEMENT: [Epidemiological aspects of spinal traumas: about 139 cases]. In: *The Pan African medical journal* Bd. 26, African Field Epidemiology Network (2017), S. 16
- [25] BERRY, GABRIEL E ; ADAMS, SCOTT ; HARRIS, MITCHEL B ; BOLES, CAROL A ; MCKERNAN, MARGARET G ; COLLINSON, FRANK ; HOTH, JASON J ; MEREDITH, J WAYNE ; U. A.: Are plain radiographs of the spine necessary during evaluation after blunt trauma? Accuracy of screening torso computed tomography in thoracic/lumbar spine fracture diagnosis. In: *The Journal of trauma* Bd. 59 (2005), Nr. 6, S. 1410–3; discussion 1413
- [26] BERTALANFFY, H ; EGGERT, H R: Complications of anterior cervical discectomy without fusion in 450 consecutive patients. In: *Acta neurochirurgica* Bd. 99 (1989), Nr. 1–2, S. 41–50

- [27] BIERRY, G ; DOSCH, J ; MOSER, T ; DIETEMANN, J: Imagerie des traumatismes de la colonne vertébrale Bd. 9 (2014), Nr. 14, S. 1–22
- [28] BLACKSIN, M F ; LEE, H J: Frequency and significance of fractures of the upper cervical spine detected by CT in patients with severe neck trauma. In: *American Journal of Roentgenology* Bd. 165 (1995), Nr. 5, S. 1201–1204
- [29] BNOUHANNA, WADII: *Prise en charge des traumatisme du rachis cervical inférieur au CHU Mohamed IV*, UNIVERSITE CADI AYYAD FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE MARRAKECH, 2007
- [30] BONDURANT, F J ; COTLER, H B ; KULKARNI, M V ; MCARDLE, C B ; HARRIS, J H: Acute spinal cord injury. A study using physical examination and magnetic resonance imaging. In: *Spine* Bd. 15 (1990), Nr. 3, S. 161–8
- [31] BRACKEN, MICHAEL B. ; SHEPARD, MARY JO ; COLLINS, WILLIAM F. ; HOLFORD, THEODORE R. ; YOUNG, WISE ; BASKIN, DAVID S. ; EISENBERG, HOWARD M. ; FLAMM, EUGENE ; U. A.: A Randomized, Controlled Trial of Methylprednisolone or Naloxone in the Treatment of Acute Spinal-Cord Injury. In: *New England Journal of Medicine* Bd. 322 (1990), Nr. 20, S. 1405–1411
- [32] BRACKEN, MICHAEL B ; SHEPARD, MARY JO ; HOLFORD, THEODORE R ; LEO-SUMMERS, LINDA ; ALDRICH, E FRANCOIS ; FAZL, MAHMOOD ; FEHLINGS, MICHAEL ; HERR, DANIEL L ; U. A.: Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. In: *JAMA* Bd. 277 (1997), Nr. 20, S. 1597–1604. — NULL
- [33] BREASTED, JAMES HENRY: The Edwin Smith Surgical Papyrus, Volume 2: Facsimile Plates and Line for Line Hieroglyphic Transliteration (1930)
- [34] BRODKE, DARREL S ; ANDERSON, PAUL A ; NEWELL, DAVID W ; GRADY, M SEAN ; CHAPMAN, JENS R: Comparison of anterior and posterior approaches in cervical spinal cord injuries. In: *Journal of spinal disorders & techniques* Bd. 16 (2003), Nr. 3, S. 229–35
- [35] BROWN, ROBERT ; DiMARCO, ANTHONY F ; HOIT, JEANNETTE D ; GARSHICK, ERIC ; MANUSCRIPT, AUTHOR ; DYSFUNCTION, RESPIRATORY: Respiratory dysfunction and management in spinal cord injury. In: *Respiratory care* Bd. 51 (2006), Nr. 8, S. 853–68-70 — ISBN 0020-1324 (Print)0020-1324 (Linking)
- [36] BUCHOLZ, R D ; CHEUNG, K C: Halo vest versus spinal fusion for cervical injury: evidence from an outcome study. In: *J Neurosurg* Bd. 70 (1989), Nr. 6, S. 884–92
- [37] BUY, X ; DOSCH, J -C ; BOGORIN, A ; EID, M ABU ; JACQUES, C ; MARIN, H ; DIETEMANN, J -L: Imagerie des avulsions du plexus cervico-brachial : intérêt de la séquence IRM CISS 3D. In: *Feuillets de Radiologie* Bd. Vol 41, Librairie Maloine (2001), S. 425–430
- [38] CAPEN, D A ; GARLAND, D E ; WATERS, R L: Surgical stabilization of the cervical spine. A comparative analysis of anterior and posterior spine fusions. In: *Clinical orthopaedics and related research* (1985), Nr. 196, S. 229–37
- [39] DE CARLOS, JUAN A. ; BORRELL, JOSE: A historical reflection of the contributions of Cajal and Golgi to the foundations of neuroscience. In: *Brain Research Reviews* Bd. 55 (2007), Nr. 1, S. 8–16 — ISBN 0165-0173 (Print)
- [40] CASHA, S. ; YU, W. R. ; FEHLINGS, M. G.: Oligodendroglial apoptosis occurs along degenerating axons and is associated with FAS and p75 expression following spinal cord injury

in the rat. In: *Neuroscience* Bd. 103 (2001), Nr. 1, S. 203–218 — ISBN 0306-4522
(Print)r0306-4522 (Linking)

- [41] CASHA, STEVEN ; ZYGUN, DAVID ; MCGOWAN, M. DAN ; BAINS, ISH ; YONG, V. WEE ; JOHN HURLBERT, R.: Results of a phase II placebo-controlled randomized trial of minocycline in acute spinal cord injury. In: *Brain* Bd. 135 (2012), Nr. 4, S. 1224–1236. — NULL — ISBN 0006-8950, 1460-2156
- [42] DE CASTRO, IGOR ; DOS SANTOS, DANIEL PAES ; DE HOLANDA CHRISTOPH, DANIEL ; LANDEIRO, JOSE ALBERTO: The history of spinal surgery for disc disease: An illustrated timeline. In: *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* Bd. 63 (2005), Nr. 3 A, S. 701–706
- [43] CHEN, DAVID ; APPLE, DAVID F. ; HUDSON, LESLEY M. ; BODE, RITA: Medical complications during acute rehabilitation following spinal cord injury—current experience of the model systems. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Bd. 80 (1999), Nr. 11, S. 1397–1401
- [44] CHEUNG, JASON PUI YIN ; LUK, KEITH DIP-KEI: Complications of Anterior and Posterior Cervical Spine Surgery. In: *Asian spine journal* Bd. 10, Korean Society of Spine Surgery (2016), Nr. 2, S. 385–400
- [45] CHIU, W C ; HAAN, J M ; CUSHING, B M ; KRAMER, M E ; SCALEA, T M: Ligamentous injuries of the cervical spine in unreliable blunt trauma patients: incidence, evaluation, and outcome. In: *The Journal of trauma* Bd. 50 (2001), Nr. 3, S. 457–463; discussion 464 — ISBN 0022-5282
(Print)r0022-5282 (Linking)
- [46] CHOZICK, B S ; WATSON, P ; GREENBLATT, S H: Internal carotid artery thrombosis after cervical corpectomy. In: *Spine* Bd. 19 (1994), Nr. 19, S. 2230–2
- [47] CLOCHE, T ; VITAL, J: Chirurgie des traumatismes récents du rachis cervical (2016), S. 1–28
- [48] COLLICOTT, PE ; HUGHES, I: Training in advanced trauma life support. In: *JAMA : the journal of the American Medical Association* Bd. 243 (1980), Nr. 11, S. 1156–1159. — NULL
- [49] COOPER, P. R.: Posterior stabilization of the cervical spine. In: *Clinical neurosurgery* Bd. 40 (1993) — ISBN 0069-4827 (Print)
- [50] CRAGG, J J ; NOONAN, V K ; KRASSIOUKOV, A ; BORISOFF, J F: Cardiovascular disease and spinal cord injury: results from a national population health survey. In: *Neurology* Bd. 81 (2013), Nr. 1526–632X (Electronic), S. 723–728 — ISBN 0028-3878
- [51] CROSBY, E: Airway management after upper cervical spine injury: what have we learned? In: *Can J Anaesth* Bd. 49 (2002), Nr. 7, S. 733–744. — NULL — ISBN 0832-610X (Print)r0832-610X (Linking)
- [52] CYBULSKI, G R ; DOUGLAS, R A ; MEYER, P R JR ; ROVIN, R A: Complications in three-column cervical spine injuries requiring anterior-posterior stabilization. In: *Spine* Bd. 17 (1992), Nr. 3, S. 253–256 — ISBN 0362-2436
- [53] DAI, L ; JIA, L: Central cord injury complicating acute cervical disc herniation in trauma. In: *Spine* Bd. 25 (2000), Nr. 3, S. 331–5—discussion 336
- [54] DAI, LIYANG Y. ; JIA, L. S.: Multiple non-contiguous injuries of the spine. In: *Injury* Bd. 27 (1996), Nr. 8, S. 573–575
- [55] DAVID, S ; AGUAYO, A J: Axonal elongation into peripheral nervous system „bridges“ after

- central nervous system injury in adult rats. In: *Science (New York, N.Y.)* Bd. 214 (1981), Nr. 4523, S. 931–933 — ISBN 0036-8075 (Print)r0036-8075 (Linking)
- [56] DAVIS, S J ; TERESI, L M ; BRADLEY, W G ; ZIEMBA, M A ; BLOZE, A E: Cervical spine hyperextension injuries: MR findings. In: *Radiology* Bd. 180 (1991), Nr. 1, S. 245–51 — ISBN 0033-8419
- [57] DÉCAUDAIN, JULIEN: HÉMIVERTÈBRES : ANALYSE DE LEUR ÉVOLUTION ET CONSÉQUENCES DES TRAITEMENTS Étude descriptive rétrospective bicentrique, à propos de 77 cas. In: *THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE - UNIVERSITÉ DU DROIT ET DE LA SANTÉ - LILLE 2 FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMOBURG* (2014), S. 74
- [58] DENARO, VINCENZO ; DI MARTINO, ALBERTO: Cervical spine surgery: An historical perspective. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* Bd. 469 (2011), Nr. 3, S. 639–648 — ISBN 1199901016
- [59] DICKMAN, C A ; SONNTAG, V K ; PAPADOPOULOS, S M ; HADLEY, M N: The interspinous method of posterior atlantoaxial arthrodesis. In: *J Neurosurg* Bd. 74 (1991), Nr. 2, S. 190–8
- [60] DION, N ; BOYER, A ; LAMHAUT, L ; CARLI, P ; VIVIEN, B: Traumatisme vertébro-médullaire : prise en charge initiale. In: *Conférences d'actualisation SFAR* (2010)
- [61] DITOR, DAVID S. ; JOHN, SUNIL M. ; ROY, JOSEE ; MARX, JEFFREY C. ; KITTMER, COLIN ; WEAVER, LYNNE C.: Effects of polyethylene glycol and magnesium sulfate administration on clinically relevant neurological outcomes after spinal cord injury in the rat. In: *Journal of Neuroscience Research* Bd. 85, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company (2007), Nr. 7, S. 1458–1467. — NULL
- [62] DE DIVITIIS, ENRICO ; CAPPABIANCA, PAOLO ; DE DIVITIIS, ORESTE ; LIU, CHARLES Y. ; LAWS, EDWARD R. ; DAVEY, LYCURGUS M. ; GOODRICH, JAMES T.: The „Schola Medica Salernitana“: The forerunner of the modern university medical schools. In: *Neurosurgery* Bd. 55 (2004), Nr. 4, S. 722–745 — ISBN 0148-396X
- [63] DONNELLY, D J ; POPOVICH, P G: Inflammation and its role in neuroprotection, axonal regeneration and functional recovery after spinal cord injury. In: *Exp Neurol* Bd. 209 (2008), Nr. 2, S. 378–388 — ISBN 0014-4886 (Print)r0014-4886 (Linking)
- [64] DOSCH, J.-C. ; MOSER, T. ; DIETEMANN, J.-L.: Imagerie des traumatismes rachidiens. In: *Elsevier Masson SAS* (2007), Nr. 1, S. 1–26
- [65] DOSHI, AMISH H ; BOU-HAIDAR, PASCAL ; DELMAN, BRADLEY N: *Youmans Neurological Surgery 7th Edition*, 2017 — ISBN 9781416053163
- [66] DRYDEN, DONNA M ; SAUNDERS, L DUNCAN ; ROWE, BRIAN H ; MAY, LAURA A ; YIANNAKOULIAS, NIKO ; SVENSON, LAWRENCE W ; SCHOPFLOCHER, DONALD P ; VOAKLANDER, DONALD C: The epidemiology of traumatic spinal cord injury in Alberta, Canada. In: *The Canadian journal of neurological sciences. Le journal canadien des sciences neurologiques* Bd. 30 (2003), Nr. 2, S. 113–121
- [67] DUCKER, T B ; SALCMAN, M ; PEROT, P L ; BALLANTINE, D: Experimental spinal cord trauma, I: Correlation of blood flow, tissue oxygen and neurologic status in the dog. In: *Surgical neurology* Bd. 10 (1978), Nr. 1, S. 60–3
- [68] DUMONT, AARON S ; DUMONT, RANDALL J ; OSKOUIAN, ROD J: Will improved understanding of the pathophysiological mechanisms involved in acute spinal cord injury improve the

potential for therapeutic intervention ? In: *Trauma* (2002), S. 713–720 — ISBN 0000044768

- [69] DVORAK, M ; FISHER, C ; FEHLINGS, M ; ET AL.: The Surgical Approach to Subaxial Cervical Spine Injuries: An Evidence-Based Algorithm Based on the SLIC Classification System. In: *Spine* Bd. 32 (2007), Nr. 23, S. 2620–9 — ISBN 1528-1159 (Electronic)n0362-2436 (Linking)
- [70] DWEIK, A ; BRANDE, E. VAN DEN ; KOSSMANN, T. ; MAAS, ANDREW IAN R.: History of cervical spine surgery: from nihilism to advanced reconstructive surgery. In: *Spinal cord* Bd. 51, Nature Publishing Group (2013), Nr. 11, S. 809–14
- [71] EBRAHEIM, N A ; AN, H S ; JACKSON, W T ; BROWN, J A: Internal fixation of the unstable cervical spine using posterior Roy-Camille plates: preliminary report. In: *Journal of orthopaedic trauma* Bd. 3 (1989), Nr. 1, S. 23–28
- [72] EBRAHEIM, N A ; LU, J ; SKIE, M ; HECK, B E ; YEASTING, R A: Vulnerability of the recurrent laryngeal nerve in the anterior approach to the lower cervical spine. In: *Spine* Bd. 22 (1997), Nr. November, S. 2664–2667. — NULL — ISBN 0362-2436 (Print)0362-2436 (Linking)
- [73] F.W., HOLDSWORTH ; A., HARDY: Early treatment of paraplegia from fractures of the thoracolumbar spine. In: *Journal of Bone and Joint Surgery (British Edition)* Bd. 35 B (1953), Nr. 4, S. 540–550 — ISBN 0301-620X (Print)r0301-620X (Linking)
- [74] FEHLINGS, M G: Summary statement: the use of methylprednisolone in acute spinal cord injury. In: *Spine* Bd. 26 (2001), Nr. 24 Suppl, S. S55
- [75] FEHLINGS, M G ; NAKASHIMA, H ; NAGOSHI, N ; CHOW, D S L ; GROSSMAN, R G ; KOPJAR, B: Rationale, design and critical end points for the Riluzole in Acute Spinal Cord Injury Study (RISCIS): a randomized, double-blinded, placebo-controlled parallel multi-center trial. In: *Spinal Cord* (2015), Nr. April, S. 1–8. — NULL
- [76] FEHLINGS, MICHAEL G. ; RABIN, DORON ; SEARS, WILLIAM ; CADOTTE, DAVID W. ; AARABI, BIZHAN: Current Practice in the Timing of Surgical Intervention in Spinal Cord Injury. In: *Spine* Bd. 35 (2010), Nr. Supplement, S. S166–S173
- [77] FEHLINGS, MICHAEL G. ; VACCARO, ALEXANDER ; WILSON, JEFFERSON R. ; SINGH, ANOUSHKA ; W. CADOTTE, DAVID ; HARROP, JAMES S. ; AARABI, BIZHAN ; SHAFFREY, CHRISTOPHER ; U. A.: Early versus Delayed Decompression for Traumatic Cervical Spinal Cord Injury: Results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). In: DI GIOVANNI, S. (Hrsg.) *PLoS ONE* Bd. 7 (2012), Nr. 2, S. e32037
- [78] FEHLINGS, MICHAEL G ; WILSON, JEFFERSON R ; FRANKOWSKI, RALPH F ; TOUPS, ELIZABETH G ; AARABI, BIZHAN ; HARROP, JAMES S ; SHAFFREY, CHRISTOPHER I ; HARKEMA, SUSAN J ; U. A.: Riluzole for the treatment of acute traumatic spinal cord injury: rationale for and design of the NACTN Phase I clinical trial. In: *J Neurosurg* Bd. 17 (2012), Nr. September, S. 151–156. — NULL — ISBN 1547-5646
- [79] FETHEDDINE, MARIAM: *Prise en charge neurochirurgicale des luxations du rachis cervical inférieur au CHU MED VI « a propos de 18 cas »*, Marrakech, 1991
- [80] FEUCHTBAUM, ERIC ; BUCHOWSKI, JACOB ; ZEBALA, LUKAS: Subaxial cervical spine trauma. In: *Current reviews in musculoskeletal medicine* Bd. 9, Springer (2016), Nr. 4, S. 496–504
- [81] FIELDING, J W: Complications of anterior cervical disk removal and fusion. In: *Clinical orthopaedics and related research* (1992), Nr. 284, S. 10–3
- [82] FISHER, CHARLES G ; DVORAK, MARCEL F S ; LEITH, JORDAN ; WING, PETER C: Comparison

of outcomes for unstable lower cervical flexion teardrop fractures managed with halo thoracic vest versus anterior corpectomy and plating. In: *Spine* Bd. 27 (2002), Nr. 2, S. 160–6

- [83] FLANDERS, A E ; SPETTELL, C M ; TARTAGLINO, L M ; FRIEDMAN, D P ; HERBISON, G J: Forecasting motor recovery after cervical spinal cord injury: value of MR imaging. In: *Radiology* Bd. 201 (1996), Nr. 3, S. 649–55 — ISBN 0033-8419
- [84] FLEMING, JENNIFER C ; NORENBERG, MICHAEL D ; RAMSAY, DAVID A ; DEKABAN, GREGORY A ; MARCILLO, ALEXANDER E ; SAENZ, ALVARO D ; PASQUALE-STYLES, MELISSA ; DIETRICH, W DALTON ; U. A.: The cellular inflammatory response in human spinal cords after injury. In: *Brain : a journal of neurology* Bd. 129 (2006), Nr. Pt 12, S. 3249–69
- [85] FOUNDATION, SCIENTIFIC ; CRITERIA, SEARCH: Blood pressure management after acute spinal cord injury. In: *Neurosurgery* Bd. 50 (2002), Nr. 3, S. S58–S62. — NULL
- [86] FOURNIER, A E ; GRANDPRE, T ; STRITTMATTER, S M: Identification of a receptor mediating Nogo-66 inhibition of axonal regeneration. In: *Nature* Bd. 409 (2001), Nr. 6818, S. 341–346 — ISBN 0028-0836
- [87] FREEMAN, ROY ; WIELING, WOUTER ; AXELROD, FELICIA B. ; BENDITT, DAVID G. ; BENARROCH, EDUARDO ; BIAGGIONI, ITALO ; CHESHIRE, WILLIAM P. ; CHELIMSKY, THOMAS ; U. A.: Consensus statement on the definition of orthostatic hypotension, neurally mediated syncope and the postural tachycardia syndrome. In: *Autonomic Neuroscience* Bd. 161 (2011), Nr. 1–2, S. 46–48
- [88] FURLAN, J C ; FEHLINGS, M G: Cardiovascular complications after acute spinal cord injury: Pathophysiology, diagnosis, and management. In: *Neurosurgical Focus* Bd. 25 (2008), Nr. 5. — NULL — ISBN 1092-0684
- [89] FURLAN, JULIO C ; NOONAN, VANESSA ; CADOTTE, DAVID W ; FEHLINGS, MICHAEL G: Timing of decompressive surgery of spinal cord after traumatic spinal cord injury: an evidence-based examination of pre-clinical and clinical studies. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 28 (2011), Nr. 8, S. 1371–99 — ISBN 1557-9042 (Electronic)n0897-7151 (Linking)
- [90] GAMBARELLI, J. ; GUERINEL, G.: *Anatomie de la tête et du cou* : Collection Médifac, 1979
- [91] GEISLER, F H ; COLEMAN, W P ; GRIECO, G ; POONIAN, D ; GROUP, SYGEN STUDY: The Sygen multicenter acute spinal cord injury study. In: *Spine* Bd. 26 (2001), Nr. 24 Suppl, S. S87-98. — NULL — ISBN 0362-2436 (Print)
- [92] GELB, DANIEL E. ; AARABI, BIZHAN ; DHALL, SANJAY S. ; JOHN HURLBERT, R. ; ROZZELLE, CURTIS J. ; RYKEN, TIMOTHY C. ; THEODORE, NICHOLAS ; WALTERS, BEVERLY C. ; U. A.: Treatment of subaxial cervical spinal injuries. In: *Neurosurgery* Bd. 72 (2013), Nr. SUPPL.2, S. 187–194 — ISBN 1524-4040 (Electronic)r0148-396X (Linking)
- [93] GENNARELLI, T. A. ; GRAHAM, D. I.: Neuropathology of the Head Injuries. In: *Seminars in Clinical Neuropsychiatry* Bd. 3 (1998), Nr. 3, S. 160–175 — ISBN 1084-3612 (Print)r1084-3612 (Linking)
- [94] GOFFIN, J ; PLETS, C ; VAN DEN BERGH, R: Anterior cervical fusion and osteosynthetic stabilization according to Caspar: a prospective study of 41 patients with fractures and/or dislocations of the cervical spine. In: *Neurosurgery* Bd. 25 (1989), Nr. 6, S. 865–71
- [95] GOLDBERG, WILLIAM ; MUELLER, CHARLES ; PANACEK, EDWARD ; TIGGES, STEFAN ; HOFFMAN, JEROME R. ; MOWER, WILLIAM R. ; NEXUS GROUP: Distribution and patterns of blunt traumatic cervical spine injury. In: *Annals of Emergency Medicine* Bd. 38 (2001), Nr. 1,

- [96] GOODRICH, JAMES TAIT: History of spine surgery in the ancient and medieval worlds. In: *Neurosurgical focus* Bd. 16 (2004), Nr. 1, S. E2 — ISBN 1092-0684
- [97] GRAHAM, J J: Complications of cervical spine surgery. A five-year report on a survey of the membership of the Cervical Spine Research Society by the Morbidity and Mortality Committee. In: *Spine* Bd. 14 (1989), Nr. 10, S. 1046–50
- [98] GUERIN, P. ; LUC, S. ; BENCHIKH EL FEGOUN, A. ; GILLE, O. ; VITAL, J.-M.: Voies d'abord du rachis cervical. In: *EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie - Traumatologie* Bd. 7, Elsevier B.V. (2012), Nr. 3, S. 1–13
- [99] HADJI, SAID: *Indication et application de nouvelles techniques chirurgicales et résultats dans les traumatismes vertebro-médullaires cervicaux*, Faculté de médecine d'Alger, 1997
- [100] HAGG, THEO ; OUDEGA, MARTIN: Degenerative and spontaneous regenerative processes after spinal cord injury. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 23 (2006), Nr. 3–4, S. 264–80 — ISBN 0897-7151 (Print)r0897-7151 (Linking)
- [101] HALL, E D: The neuroprotective pharmacology of methylprednisolone. In: *J Neurosurg* Bd. 76 (1992), Nr. 1, S. 13–22. — NULL — ISBN 00223085 (ISSN)
- [102] HALL, E D ; BRAUGHLER, J M: Free radicals in CNS injury. In: *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis* Bd. 71 (1993), S. 81–105 — ISBN 0091-7443 (Print)r0091-7443 (Linking)
- [103] HALLIDAY, A L ; HENDERSON, B R ; HART, B L ; BENZEL, E C: The management of unilateral lateral mass/facet fractures of the subaxial cervical spine: the use of magnetic resonance imaging to predict instability. In: *Spine* Bd. 22 (1997), Nr. 22, S. 2614–21
- [104] HARRIS, JH ; EDEIKEN-MONROE, B ; KOPANIKY, DR: A practical classification of acute cervical spine injuries. In: *Orthop Clin N Am* Bd. 17 (1986), Nr. 1, S. 15–30
- [105] HARROP, J S ; SHARAN, A D ; VACCARO, A R ; PRZYBYLSKI, G J: The cause of neurologic deterioration after acute cervical spinal cord injury. In: *SPINE* Bd. 26 (2001), Nr. 4, S. 340–346 — ISBN 0362-2436
- [106] HAWRYLUK, G W ; ROWLAND, J ; KWON, B K ; FEHLINGS, M G: Protection and repair of the injured spinal cord: a review of completed, ongoing, and planned clinical trials for acute spinal cord injury. In: *Neurosurg Focus* Bd. 25 (2008), Nr. 5, S. E14 — ISBN 1092-0684 (Electronic)r1092-0684 (Linking)
- [107] HELLE, T L ; CONLEY, F K: Postoperative cervical pseudomeningocele as a cause of delayed myelopathy. In: *Neurosurgery* Bd. 9 (1981), Nr. 3, S. 314–6
- [108] HENRIQUES, THOMAS ; OLERUD, CLAES ; BERGMAN, ANTONINA ; JONSSON, HALLDOR: Distractive flexion injuries of the subaxial cervical spine treated with anterior plate alone. In: *Journal of spinal disorders & techniques* Bd. 17 (2004), Nr. 1, S. 1–7
- [109] HIRABAYASHI, K ; WATANABE, K ; WAKANO, K ; SUZUKI, N ; SATOMI, K ; ISHII, Y: Expansive open-door laminoplasty for cervical spinal stenotic myelopathy. In: *Spine* Bd. 8 (1983), Nr. 7, S. 693–699 — ISBN 0362-2436 (Print) 0362-2436 (Linking)
- [110] HOI SANG, U ; WILSON, CHARLES B.: Postoperative epidural hematoma as a complication of anterior cervical discectomy. In: *J Neurosurg* Bd. 49 (1978), Nr. 2, S. 288–291

- [111] HOLCK, PER: [Anatomy of the cervical spine]. In: *Tidsskrift for den Norske lægeforening : tidsskrift for praktisk medicin, ny række* Bd. 130 (2010), Nr. 1, S. 29–32 — ISBN 0807-7096 (Electronic)r0029-2001 (Linking)
- [112] HOLDSWORTH, F: Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* Bd. 52 (1970), Nr. 8, S. 1534–1551 — ISBN 0021-9355 (Print)
- [113] HOLMES, JAMES FREDERICK ; AKKINEPALLI, RADHA: Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: a meta-analysis. In: *The Journal of trauma* Bd. 58 (2005), Nr. 5, S. 902–5 — ISBN 0022-5282 (Print)
- [114] HOUNSFIELD, G. N.: Computerized transverse axial scanning (tomography): I. Description of system. In: *British Journal of Radiology* Bd. 46 (1973), Nr. 552, S. 1016–1022 — ISBN 0007-1285
- [115] JELLY, LOUISE M. E. ; EVANS, DAVID R. ; EASTY, MARINA J. ; COATS, TIMOTHY J. ; CHAN, OTTO: Radiography versus Spiral CT in the Evaluation of Cervicothoracic Junction Injuries in Polytrauma Patients Who Have Undergone Intubation. In: *RadioGraphics* Bd. 20 (2000), Nr. suppl_1, S. S251–S259
- [116] JOAQUIM, ANDREI F ; PATEL, ALPESH A: Subaxial Cervical Spine Trauma: Evaluation and Surgical Decision-Making. In: *Global spine journal* Bd. 4 (2014), Nr. 1, S. 63–70
- [117] JOHNSON, MICHAEL G ; FISHER, CHARLES G ; BOYD, MICHAEL ; PITZEN, TOBIAS ; OXLAND, THOMAS R ; DVORAK, MARCEL F: The radiographic failure of single segment anterior cervical plate fixation in traumatic cervical flexion distraction injuries. In: *Spine* Bd. 29 (2004), Nr. 24, S. 2815–2820 — ISBN 0362-2436
- [118] JONES, C ; JAZAYERI, F: Evolving standards of practice for cervical spine imaging in trauma: A retrospective review. In: *Australasian Radiology* Bd. 51 (2007), Nr. 5, S. 420–425
- [119] JUDET, J ; ROY-CAMILLE, R ; ZERAH, J C ; SAILLANT, G: Fractures of the cervical spine: fracture-separation of the articular column. In: *Revue de chirurgie orthopédique et reparatrice de l'appareil moteur* Bd. 56 (1970), Nr. 2, S. 155–64
- [120] KANE, AGNES B: Redefining Cell Death. In: *The American journal of pathology* Bd. 146 (1995), Nr. 1, S. 1–2 — ISBN 0002-9440 (Print)r0002-9440 (Linking)
- [121] KARACAN, I ; KOYUNCU, H ; PEKEL, O ; SÜMBÜLOGLU, G ; KIRNAP, M ; DURSUN, H ; KALKAN, A ; CENGİZ, A ; U. A.: Traumatic spinal cord injuries in Turkey: a nation-wide epidemiological study. In: *Spinal cord* Bd. 38 (2000), Nr. 11, S. 697–701
- [122] KASIMATIS, G.B. ; PANAGIOTOPoulos, E. ; GLIATIS, J. ; TYLLIANAKIS, M. ; ZOUBOULIS, P. ; LAMBIRIS, E.: Complications of anterior surgery in cervical spine trauma: An overview. In: *Clinical Neurology and Neurosurgery* Bd. 111 (2009), Nr. 1, S. 18–27
- [123] KATZBERG, R W ; BENEDETTI, P F ; DRAKE, C M ; IVANOVIC, M ; LEVINE, R A ; BEATTY, C S ; NEMZEK, W R ; MCFALL, R A ; U. A.: Acute cervical spine injuries: prospective MR imaging assessment at a level 1 trauma center. In: *Radiology* Bd. 213 (1999), Nr. 1, S. 203–12 — ISBN 0033-8419 (Print)
- [124] KAWU, K ; ADEBULE, G.T ; GBADEGESIN, A.A ; ALIMI, M.F ; SALAMI, A.O: Outcome of conservative treatment of spinal cord injuries in Lagos, Nigeria. In: *Nigerian Journal of Orthopaedics and Trauma* Bd. 9, Orthopaedic Surgeons in Nigeria (2010), Nr. 1

- [125] KELSEY, J L ; GITHENS, P B ; WALTER, S D ; SOUTHWICK, W O ; WEIL, U ; HOLFORD, T R ; OSTFELD, A M ; CALOGERO, J A ; U. A.: An epidemiological study of acute prolapsed cervical intervertebral disc. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* Bd. 66 (1984), Nr. 6, S. 907–14
- [126] KK, HANSRAJ: Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head. In: *Surgical Technology International*, S. 25:277-9
- [127] KNOELLER, S M ; SEIFRIED, C: Historical perspective: history of spinal surgery. In: *Spine* Bd. 25 (2000), Nr. 21, S. 2838–2843
- [128] KOBRINE, A I ; DOYLE, T F ; MARTINS, A N: Local spinal cord blood flow in experimental traumatic myelopathy. In: *J Neurosurg* Bd. 42 (1975), Nr. 2, S. 144–9
- [129] KOTANI, YOSHIHISA ; ABUMI, KUNIYOSHI ; ITO, MANABU ; MINAMI, AKIO: Cervical spine injuries associated with lateral mass and facet joint fractures: New classification and surgical treatment with pedicle screw fixation. In: *European Spine Journal* Bd. 14 (2005), Nr. 1, S. 69–77
- [130] KRASSIOUKOV, ANDREI V ; FURLAN, JULIO C ; FEHLINGS, MICHAEL G: Autonomic dysreflexia in acute spinal cord injury: an under-recognized clinical entity. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 20 (2003), Nr. 8, S. 707–716 — ISBN 0897-7151
- [131] KRENGEL, W F ; ROBINSON, L R ; SCHNEIDER, V A: Combined effects of compression and hypotension on nerve root function. A clinical case. In: *Spine* Bd. 18 (1993), Nr. 2, S. 306–9
- [132] KROEMER, G ; PETIT, P ; ZAMZAMI, N ; VAYSSIÈRE, J L ; MIGNOTTE, B: The biochemistry of programmed cell death. In: *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology* Bd. 9 (1995), Nr. 13, S. 1277–87
- [133] KULKARNI, M V ; BONDURANT, F J ; ROSE, S L ; NARAYANA, P A: 1.5 Tesla Magnetic Resonance Imaging of Acute Spinal Trauma. In: *Radiographics* Bd. 8 (1988), Nr. 0271–5333, S. 1059–1082
- [134] KWON, BRIAN K ; CURT, ARMIN ; BELANGER, LISE M ; BERNARDO, ARLENE ; CHAN, DONNA ; MARKEZ, JOHN A ; GORELIK, STEPHEN ; SLOBOGEAN, GERARD P ; U. A.: Intrathecal pressure monitoring and cerebrospinal fluid drainage in acute spinal cord injury: a prospective randomized trial. In: *J Neurosurg* Bd. 10 (2009), Nr. 3, S. 181–93 — ISBN 1547-5654
- [135] KWON, BRIAN K ; FISHER, CHARLES G ; BOYD, MICHAEL C ; COBB, JOHN ; JEBSON, HILARY ; NOONAN, VANESSA ; WING, PETER ; DVORAK, MARCEL F: A prospective randomized controlled trial of anterior compared with posterior stabilization for unilateral facet injuries of the cervical spine. In: *J Neurosurg* Bd. 7 (2007), Nr. 1, S. 1–12. — NULL — ISBN 1547-5646
- [136] KWON, BRIAN K ; LIU, JIE ; MESSEMER, CORRIE ; KOBAYASHI, NAO R ; MCGRAW, JOHN ; OSCHIPOK, LOREN ; TETZLAFF, WOLFRAM: Survival and regeneration of rubrospinal neurons 1 year after spinal cord injury. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* Bd. 99 (2002), Nr. 5, S. 3246–51 — ISBN 0027-8424 (Print)r0027-8424 (Linking)
- [137] KWON, BRIAN K ; TETZLAFF, WOLFRAM ; GRAUER, JONATHAN N ; BEINER, JOHN ; VACCARO, ALEXANDER R: Pathophysiology and pharmacologic treatment of acute spinal cord injury. In: *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* Bd. 4 (2004), Nr. 4, S. 451–64 — ISBN 1529-9430 (Print)r1529-9430 (Linking)
- [138] L. BÖHLER: *Die Technik der Knochenbruchbehandlung*, 1951

- [139] LAMBIRIS, ELIAS ; ZOBOULIS, PANAYOTIS ; TYLLIANAKIS, MINOS ; PANAGIOTOPoulos, ELIAS: Anterior surgery for unstable lower cervical spine injuries. In: *Clinical orthopaedics and related research* (2003), Nr. 411, S. 61–9 — ISBN 0009-921X
- [140] LEE, SUN-HO ; SUNG, JOO-KYUNG: Unilateral Lateral Mass-Facet Fractures With Rotational Instability: New Classification and A Review of 39 Cases Treated Conservatively and With Single Segment Anterior Fusion. In: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* Bd. 66 (2009), Nr. 3, S. 758–767
- [141] LEHMANN, KENNETH G. ; LANE, JOHN G. ; PIEPMEIER, JOSEPH M. ; BATSFORD, WILLIAM P.: Cardiovascular abnormalities accompanying acute spinal cord injury in humans: Incidence, time course and severity. In: *Journal of the American College of Cardiology* Bd. 10 (1987), Nr. 1, S. 46–52. — NULL — ISBN 0735-1097 (Print)n0735-1097 (Linking)
- [142] LENOIR, THIBAUT ; HOFFMANN, ETIENNE ; THEVENIN-LEMOINE, CAMILLE ; LAVELLE, GUILLAUME ; RILLARDON, LUDOVIC ; GUIGUI, PIERRE: Neurological and functional outcome after unstable cervicothoracic junction injury treated by posterior reduction and synthesis. In: *The Spine Journal* Bd. 6 (2006), Nr. 5, S. 507–513
- [143] LI, Y ; RAISMAN, G: Sprouts from cut corticospinal axons persist in the presence of astrocytic scarring in long-term lesions of the adult rat spinal cord. In: *Experimental neurology* Bd. 134 (1995), Nr. 1, S. 102–11 — ISBN 0014-4886 (Print)r0014-4886 (Linking)
- [144] LINDAN, R ; JOINER, E ; FREEHAFER, A A ; HAZEL, C: Incidence and clinical features of autonomic dysreflexia in patients with spinal cord injury. In: *Paraplegia* Bd. 18 (1980), Nr. 5, S. 285–292
- [145] LIPTON, S A ; ROSENBERG, P A: Excitatory amino acids as a final common pathway for neurologic disorders. In: *The New England journal of medicine* Bd. 330 (1994), S. 613–622 — ISBN 0028-4793 (Print) 0028-4793 (Linking)
- [146] LOU, J ; LENKE, L G ; LUDWIG, F J ; O'BRIEN, M F: Apoptosis as a mechanism of neuronal cell death following acute experimental spinal cord injury. In: *Spinal cord : the official journal of the International Medical Society of Paraplegia* Bd. 36 (1998), Nr. 10, S. 683–690 — ISBN 1362-4393 (Print)r1362-4393 (Linking)
- [147] LOUIS, RENÉ: *Chirurgie du rachis : anatomie chirurgicale et voies d'abord.* Berlin ;;Heidelberg : Springer-Verlag, 1982 — ISBN 9782287004117
- [148] LUO, JIAN ; BORGENS, RICHARD ; SHI, RIYI: Polyethylene Glycol Improves Function and Reduces Oxidative Stress in Synaptosomal Preparations following Spinal Cord Injury. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 21 (2004), Nr. 8, S. 994–1007. — NULL — ISBN 0897-7151 (Print)r0897-7151 (Linking)
- [149] LUO, JIAN ; SHI, RIYI: Diffusive oxidative stress following acute spinal cord injury in guinea pigs and its inhibition by polyethylene glycol. In: *Neuroscience Letters* Bd. 359 (2004), Nr. 3, S. 167–170. — NULL
- [150] LUO, JIAN ; SHI, RIYI: Polyethylene glycol inhibits apoptotic cell death following traumatic spinal cord injury. In: *Brain Research* Bd. 1155 (2007), Nr. 1, S. 10–16. — NULL
- [151] MAHALE, Y J ; SILVER, J R ; HENDERSON, N J: Neurological complications of the reduction of cervical spine dislocations. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* Bd. 75 (1993), Nr. 3, S. 403–409
- [152] MAILLOT, CLAUDE.: *Encéphale et moelle épinière: Anatomie macroscopique et fonctionnelle :*

Springer, 2002 — ISBN 2287597433

- [153] MAJNO, G ; JORIS, I: Apoptosis, oncosis, and necrosis. An overview of cell death. In: *The American journal of pathology* Bd. 146 (1995), Nr. 1, S. 3–15 — ISBN 0002-9440 (Print)0002-9440 (Linking)
- [154] MANSKI, T J ; WOOD, M D ; DUNSKER, S B: Bilateral vocal cord paralysis following anterior cervical discectomy and fusion - Case report. In: *J Neurosurg* Bd. 89 (1998), Nr. 5, S. 839–843. — NULL
- [155] MARKETOS, S.G. ; SKIADAS, P.K.: Hippocrates. The father of spine surgery. In: *Spine* Bd. 24 (1999), Nr. 13, S. 1381–1387 — ISBN 0362-2436 (Print) 0362-2436 (Linking)
- [156] MARTINEZ-PEREZ, RAFAEL ; FUENTES, FRANCISCO ; ALEMANY, VICTOR S: Subaxial cervical spine injury classification system : is it most appropriate for classifying cervical injury ? (2017)
- [157] MCCONNELL, P ; BERRY, M: Regeneration of ganglion cell axons in the adult mouse retina. In: *Brain research* Bd. 241 (1982), Nr. 2, S. 362–365
- [158] MCCORD, J M ; EDEAS, M A: SOD, oxidative stress and human pathologies: a brief history and a future vision. In: *Biomed.Pharmacother.* Bd. 59 (2005), Nr. 4, S. 139–142
- [159] VAN MIDDENDORP, JOOST J. ; AUDIGE, LAURENT ; HANSON, BEATE ; CHAPMAN, JENS R. ; HOSMAN, ALLARD J F: What should an ideal spinal injury classification system consist of? A methodological review and conceptual proposal for future classifications. In: *European Spine Journal* Bd. 19 (2010), Nr. 8
- [160] MIDDLETON, J W ; DAYTON, A ; WALSH, J ; RUTKOWSKI, S B ; LEONG, G ; DUONG, S: Life expectancy after spinal cord injury: a 50-year study. In: *Spinal Cord* Bd. 50 (2012), Nr. 11, S. 803–811 — ISBN 1476-5624 (Electronic)n1362-4393 (Linking)
- [161] MIRVIS, S E ; DIACONIS, J N ; CHIRICO, P A ; REINER, B I ; JOSLYN, J N ; MILITELLO, P: Protocol-driven radiologic evaluation of suspected cervical spine injury: efficacy study. In: *Radiology* Bd. 170 (1989), Nr. 3 Pt 1, S. 831–834 — ISBN 0033-8419 (Print)
- [162] MIXTER SJ, OSGOOD RB.: Traumatic lesions of the atlas and axis. In: *Ann Surg* Bd. 54 (1961), Nr. September, S. 821–822
- [163] MIYANJI, FIROZ ; FURLAN, JULIO C. ; AARABI, BIZHAN ; ARNOLD, PAUL M. ; FEHLINGS, MICHAEL G.: Acute Cervical Traumatic Spinal Cord Injury: MR Imaging Findings Correlated with Neurologic Outcome—Prospective Study with 100 Consecutive Patients ¹. In: *Radiology* Bd. 243, Radiological Society of North America (2007), Nr. 3, S. 820–827
- [164] MOFTAKHAR, ROHAM ; TROST, GREGORY R: Anterior cervical plates: a historical perspective. In: *Neurosurgical Focus* Bd. 16 (2004), Nr. 1, S. E8
- [165] MOHAMED, ELRAHMANY ; IHAB, ZIDAN ; MOAZ, ANWAR ; AYMAN, NABAWI ; HAITHAM, ABO-ELW: Lateral mass fixation in subaxial cervical spine: anatomic review. In: *Global spine journal* Bd. 2, SAGE Publications (2012), Nr. 1, S. 39–46
- [166] MOORE, K L ; PERSAUD, T V N ; TORCHIA, M G: *The Developing Human: Clinically Oriented Embryology*, 2004 — ISBN 0721694128
- [167] MOORE, KEITH L. ; DALLEY, ARTHUR F. ; AGUR, A. M. R.: *Clinically oriented anatomy*, 2001 — ISBN 1451184476

- [168] MOORE, TIMOTHY A ; VACCARO, ALEXANDER R ; ANDERSON, PAUL A: Classification of Lower Cervical Spine Injuries Bd. 31 (2006), Nr. 11, S. 37–43
- [169] MOTHE, ANDREA J ; TATOR, CHARLES H: Advances in stem cell therapy for spinal cord injury. In: *The Journal of clinical investigation* Bd. 122 (2012), Nr. 11, S. 3824–34. — NULL — ISBN 1558-8238 (Electronic) 0021-9738 (Linking)
- [170] MOYED, S ; SHANMUGANATHAN, K ; MIRVIS, S E ; BETHEL, A ; ROTHMAN, M: MR imaging of penetrating spinal trauma. In: *American Journal of Roentgenology* Bd. 173 (1999), Nr. 5, S. 1387–1391
- [171] MUMMANENI, PRAVEEN V ; HAID, REGIS W: Atlantoaxial fixation: overview of all techniques. In: *Neurology India* Bd. 53 (2005), Nr. 4, S. 408–415
- [172] NABIL EBRAHEIM, M.D.: Posterior Lateral Mass Screw Fixation : Anatomic and Radiographic Considerations. In: *The University of Pennsylvania Orthopaedic Journal* Bd. 12 (1999), S. 66–72
- [173] NAMURA, S ; ZHU, J ; FINK, K ; ENDRES, M ; SRINIVASAN, A ; TOMASELLI, K J ; YUAN, J ; MOSKOWITZ, M A: Activation and cleavage of caspase-3 in apoptosis induced by experimental cerebral ischemia. In: *The Journal of Neuroscience* Bd. 18 (1998), Nr. 10, S. 3659–3668
- [174] NETTER, FRANK H.: *Atlas of Human Anatomy 5th Edition*, 2011 — ISBN 978-1-4160-5951-6
- [175] NEWHOUSE, K E ; LINDSEY, R W ; CLARK, C R ; LIEPONIS, J ; MURPHY, M J: Esophageal perforation following anterior cervical spine surgery. In: *Spine* Bd. 14 (1989), Nr. 10, S. 1051–3
- [176] NOLTING, D ; HANSEN, B F ; KEELING, J ; KJAER, I: Prenatal development of the normal human vertebral corpora in different segments of the spine. In: *Spine* Bd. 23 (1998), Nr. 21 — ISBN 0362-2436 (Print)r0362-2436 (Linking)
- [177] NUÑEZ, D B ; ZULUAGA, A ; FUENTES-BERNARDO, D A ; RIVAS, L A ; BECERRA, J L: Cervical spine trauma: how much more do we learn by routinely using helical CT? In: *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* Bd. 16 (1996), Nr. 6, S. 1307-18-21
- [178] O'CONNOR, PETER J.: Survival after spinal cord injury in Australia. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Bd. 86 (2005), Nr. 1, S. 37–47 — ISBN 1650-1977
- [179] OLSSON, Y ; SHARMA, H S ; PETTERSSON, A ; CERVOS-NAVARRO, J: Release of endogenous neurochemicals may increase vascular permeability, induce edema and influence cell changes in trauma to the spinal cord. In: *Progress in Brain Research* Bd. 91 (1992), S. 197–203 — ISBN 0079-6123 (Print)n0079-6123 (Linking)
- [180] OMEIS, IBRAHIM ; DEMATTIA, JOSEPH A ; HILLARD, VIRANY HUYNH ; MURALI, RAJ ; DAS, KAUSHIK: History of instrumentation for stabilization of the subaxial cervical spine. In: *Neurosurgical focus* Bd. 16 (2004), Nr. 1, S. E10
- [181] ONAN, O A ; HEGGENESS, M H ; HIPP, J A: A motion analysis of the cervical facet joint. In: *Spine* Bd. 23 (1998), Nr. 4, S. 430–9 — ISBN 0362-2436 (Print)
- [182] PARK, EUGENE ; VELUMIAN, ALEXANDER A ; FEHLINGS, MICHAEL G: The role of excitotoxicity in secondary mechanisms of spinal cord injury : a review with an emphasis on the implications for white matter degeneration. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 21 (2004), Nr. 6, S. 754–774 — ISBN 0897-7151 (Print)r0897-7151 (Linking)

- [183] PARK, IN-HYUN ; ZHAO, RUI ; WEST, JASON A ; YABUCHI, AKIKO ; HUO, HONGGUANG ; INCE, TAN A ; LEROU, PAUL H ; LENSCHE, M WILLIAM ; U. A.: Reprogramming of human somatic cells to pluripotency with defined factors. In: *Nature* Bd. 451 (2008), Nr. 7175, S. 141–146 — ISBN 1476-4687 (Electronic)r1476-4687 (Linking)
- [184] PATEL, CHETAN K ; FISCHGRUND, JEFFREY S: Complications of anterior cervical spine surgery. In: *Instructional course lectures* Bd. 52 (2003), S. 465–9
- [185] PEHAR, MARIANA ; VARGAS, MARCELO R. ; ROBINSON, KRISTINE M. ; CASSINA, PATRICIA ; ENGLAND, PATRICK ; BECKMAN, JOSEPH S. ; ALZARI, PEDRO M. ; BARBEITO, LUIS: Peroxynitrite transforms nerve growth factor into an apoptotic factor for motor neurons. In: *Free Radical Biology and Medicine* Bd. 41 (2006), Nr. 11, S. 1632–1644 — ISBN 0891-5849 (Print)r0891-5849 (Linking)
- [186] PENDER, M. P. ; NGUYEN, K. B. ; MCCOMBE, P. A. ; KERR, J. F R: Apoptosis in the nervous system in experimental allergic encephalomyelitis. In: *Journal of the Neurological Sciences* Bd. 104 (1991), Nr. 1, S. 81–87 — ISBN 6173655462
- [187] PEREZ, KATHERINE ; NOVOA, ANA M. ; SANTAMARIÑA-RUBIO, ELENA ; NARVAEZ, YISLENZ ; ARRUFAT, VITA ; BORRELL, CARME ; CABEZA, ELENA ; CIRERA, EVA ; U. A.: Incidence trends of traumatic spinal cord injury and traumatic brain injury in Spain, 2000–2009. In: *Accident Analysis & Prevention* Bd. 46 (2012), S. 37–44
- [188] PETERSON, JEREMY C ; ARNOLD, PAUL M ; SMITH, ZACHARY A ; HSU, WELLINGTON K ; FEHLINGS, MICHAEL G ; HART, ROBERT A ; HILIBRAND, ALAN S ; NASSR, AHMAD ; U. A.: Misplaced Cervical Screws Requiring Reoperation. In: *Global spine journal* Bd. 7, SAGE Publications (2017), Nr. 1 Suppl, S. 46S–52S
- [189] PICKETT, GWYNEDD E ; CAMPOS-BENITEZ, MAURICIO ; KELLER, JANA L ; DUGGAL, NEIL: Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Canada. In: *Spine* Bd. 31 (2006), Nr. 7, S. 799–805 — ISBN 0362-2436
- [190] POPOVICH, P G: Immunological regulation of neuronal degeneration and regeneration in the injured spinal cord. In: *Progress in brain research* Bd. 128 (2000), S. 43–58
- [191] POPOVICH, P G ; WEI, P ; STOKES, B T: Cellular inflammatory response after spinal cord injury in Sprague-Dawley and Lewis rats. In: *The Journal of comparative neurology* Bd. 377 (1997), Nr. April 1996, S. 443–464 — ISBN 0021-9967 (Print)n0021-9967 (Linking)
- [192] POURTAHERI, SINA ; EMAMI, ARASH ; SINHA, KUMAR ; FALOON, MICHAEL ; HWANG, KI ; SHAFA, EIMAN ; HOLMES, LAURENS: The role of magnetic resonance imaging in acute cervical spine fractures. In: *The Spine Journal* Bd. 14 (2014), Nr. 11, S. 2546–2553
- [193] RAMON, S ; DOMINGUEZ, R ; RAMIREZ, L ; PARAIRA, M ; OLONA, M ; CASTELLO, T ; GARCIA FERNANDEZ, L: Clinical and magnetic resonance imaging correlation in acute spinal cord injury. In: *Spinal cord* Bd. 35 (1997), Nr. 10, S. 664–73
- [194] RAMON Y CAJAL, SANTIAGO ; DEFELIPE, JAVIER ; JONES, EDWARD G. ; MAY, R. M.: *Cajal's Degeneration and Regeneration of the Nervous System*, 2012 — ISBN 9780199847242
- [195] RICHARDSON, P M ; MCGUINNESS, U M ; AGUAYO, A J: Axons from CNS neurons regenerate into PNS grafts. In: *Nature* Bd. 284 (1980), Nr. 5753, S. 264–5 — ISBN 0028-0836
- [196] RINK, A ; FUNG, K M ; TROJANOWSKI, J Q ; LEE, V M ; NEUGEBAUER, E ; MCINTOSH, T K: Evidence of apoptotic cell death after experimental traumatic brain injury in the rat. In: *The American journal of pathology* Bd. 147 (1995), Nr. 6, S. 1575–83

- [197] RIVLIN, A S ; TATOR, C H: Regional spinal cord blood flow in rats after severe cord trauma. In: *J Neurosurg* Bd. 49 (1978), Nr. 6, S. 844–853 — ISBN 0022-3085 (Print)r0022-3085 (Linking)
- [198] RIZZOLO, S J ; PIAZZA, M R ; COTLER, J M ; BALDERSTON, R A ; SCHAEFER, D ; FLANDERS, A: Intervertebral disc injury complicating cervical spine trauma. In: *Spine.16 (6 SUPPL.) ()(pp S187-S189), 1991.* Date of Publication: 1991. (1991), Nr. 6 SUPPL., S. S187–S189 — ISBN 0362-2436
- [199] ROCKSWOLD, G L ; BERGMAN, T A ; FORD, S E: Halo immobilization and surgical fusion: relative indications and effectiveness in the treatment of 140 cervical spine injuries. In: *The Journal of trauma* Bd. 30 (1990), Nr. 7, S. 893–8
- [200] ROWLAND, JAMES W ; HAWRYLUK, GREGORY W J ; KWON, BRIAN ; FEHLINGS, MICHAEL G: Current status of acute spinal cord injury pathophysiology and emerging therapies: promise on the horizon. In: *Neurosurgical focus* Bd. 25 (2008), Nr. 5, S. E2 — ISBN 1092-0684 (Electronic)r1092-0684 (Linking)
- [201] RUBIN, B D ; FIELDING, J W: Neurological sequelae of cervical spine trauma. In: *Bulletin of the Los Angeles neurological societies* Bd. 46 (1981), S. 36–40
- [202] RYBICKI, FRANK ; NAWFEL, RICHARD D. ; JUDY, PHILIP F. ; LEDBETTER, STEPHEN ; DYSON, REBECCA L. ; HALT, PETER S. ; SHU, KIRSTIN M. ; NUÑEZ, DIEGO B.: Skin and Thyroid Dosimetry in Cervical Spine Screening: Two Methods for Evaluation and a Comparison Between a Helical CT and Radiographic Trauma Series. In: *American Journal of Roentgenology* Bd. 179 (2002), Nr. 4, S. 933–937
- [203] RYKEN, T C ; HURLBERT, R J ; HADLEY, M N ; AARABI, B ; DHALL, S S ; GELB, D E ; ROZZELLE, C J ; THEODORE, N ; U. A.: The acute cardiopulmonary management of patients with cervical spinal cord injuries. In: *Neurosurgery* Bd. 72 (2013), Nr. SUPPL.2, S. 84–92. — NULL — ISBN 1524-4040 (Electronic)r0148-396X (Linking)
- [204] SABOE, L A ; REID, D C ; DAVIS, L A ; WARREN, S A ; GRACE, M G: Spine trauma and associated injuries. In: *The Journal of trauma* Bd. 31 (1991), Nr. 1, S. 43–48
- [205] SAHNI, VIBHU ; KESSLER, JOHN A: Stem cell therapies for spinal cord injury. In: *Nature reviews. Neurology* Bd. 6 (2010), Nr. 7, S. 363–72. — NULL — ISBN 1759-4758
- [206] SANCHEZ, BARRY ; WAXMAN, KENNETH ; JONES, THOMAS ; CONNER, SCOTT ; CHUNG, RICHARD ; BECERRA, SALVADOR: Cervical spine clearance in blunt trauma: evaluation of a computed tomography-based protocol. In: *The Journal of trauma* Bd. 59 (2005), Nr. 1, S. 179–83
- [207] SANDLER, A N ; TATOR, C H: Review of the effect of spinal cord trauma on the vessels and blood flow in the spinal cord. In: *J Neurosurg* Bd. 45 (1976), Nr. 6, S. 638–646
- [208] SAVIC, GORDANA: ABC of Spinal Cord Injury. In: *Spinal Cord* Bd. 41 (2003), Nr. 1, S. 57–57
- [209] SCHANNE, F A ; KANE, A B ; YOUNG, E E ; FARBER, J L: Calcium dependence of toxic cell death: a final common pathway. In: *Science (New York, N.Y.)* Bd. 206 (1979), Nr. 4419, S. 700–2 — ISBN 0036-8075 (Print)r0036-8075 (Linking)
- [210] SCHNEIDER, ARMIN ; KUHN, HANS GEORG ; SCHÄBITZ, W. R.: A role for G-CSF (Granulocyte-colony stimulating factor) in the central nervous system. In: *Cell Cycle* Bd. 4 (2005), Nr. 12. — NULL — ISBN 1551-4005 (Electronic)r1551-4005 (Linking)

- [211] SEKHON, L H S ; FEHLINGS, M G: Epidemiology, demographics, and pathophysiology of acute spinal cord injury. In: *Spine* Bd. 26 (2001), Nr. 24, S. S2–S12 — ISBN 0362-2436
- [212] SENEGAS, J ; GUERIN, J ; VITAL, J M ; DUPLAN, B ; DOLS, J M: [Extended spinal decompression using an anterior approach in the treatment of myelopathies caused by cervical arthrosis]. In: *Revue de chirurgie orthopédique et reparatrice de l'appareil moteur* Bd. 71 (1985), Nr. 5, S. 291–300
- [213] SFAR, SOCIETE FRANÇAISE D'ANESTHESIE ET DE REANIMATION: Prise en charge d'un blessé adulte présentant un traumatisme vertébromédullaire Société. In: *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* Bd. 23 (2004), Nr. 9, S. 930–945
- [214] SIESJO, B K: Pathophysiology and treatment of focal cerebral ischemia. Part I: Pathophysiology. In: *J Neurosurg* Bd. 77 (1992), Nr. 2 — ISBN 0022-3085 (Print)r0022-3085 (Linking)
- [215] SIESJÖ, B K: Pathophysiology and treatment of focal cerebral ischemia. Part II: Mechanisms of damage and treatment. In: *J Neurosurg* Bd. 77 (1992), Nr. 3, S. 337–54 — ISBN 0022-3085 (Print)r0022-3085 (Linking)
- [216] SILVER, J ; MILLER, J H: Regeneration beyond the glial scar. In: *Nature Reviews Neuroscience* Bd. 5 (2004), Nr. 2, S. 146–156 — ISBN 1471-0048
- [217] SIRAIKI, NANCY G.: Disease and treatment. In: *Medieval and Early Renaissance Medicine: An introduction to knowledge and practice* (1990), S. 115–152 — ISBN 0226761312
- [218] DE SMET, L ; VERCAUTEREN, M ; VERDONK, R ; CLAESSENS, H: Severe acute cervical spine injuries. Conservative treatment. In: *Acta orthopaedica Belgica* Bd. 50 (1984), Nr. 4, S. 512–20
- [219] SMITH, M D ; EMERY, S E ; DUDLEY, A ; MURRAY, K J ; LEVENTHAL, M: Vertebral artery injury during anterior decompression of the cervical spine. A retrospective review of ten patients. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* Bd. 75 (1993), Nr. 3, S. 410–5
- [220] SONG, KYUNG-JIN ; LEE, KWANG-BOK: Anterior versus combined anterior and posterior fixation/fusion in the treatment of distraction-flexion injury in the lower cervical spine. In: *Journal of Clinical Neuroscience* Bd. 15 (2008), Nr. 1, S. 36–42
- [221] SONG, MINGZHI ; ZHANG, ZHEN ; LU, MING ; ZONG, JUNWEI ; DONG, CHAO ; MA, KAI ; WANG, SHOUYU: Four lateral mass screw fixation techniques in lower cervical spine following laminectomy: a finite element analysis study of stress distribution. In: *BioMedical Engineering OnLine* Bd. 13, BioMed Central (2014), Nr. 1, S. 115
- [222] SONNTAG, V. K H: Management of bilateral locked facets of the cervical spine. In: *Neurosurgery* Bd. 8 (1981), Nr. 2, S. 150–152 — ISBN 0148-396X
- [223] SPECTOR, LEO R ; KIM, DAVID H ; AFFONSO, JESSE ; ALBERT, TODD J ; HILIBRAND, ALAN S ; VACCARO, ALEXANDER R: Use of computed tomography to predict failure of nonoperative treatment of unilateral facet fractures of the cervical spine. In: *Spine* Bd. 31 (2006), Nr. 24, S. 2827–2835 — ISBN 1528-1159 (Electronic)n0362-2436 (Linking)
- [224] STEIB, J.-P. ; SCHULLER, S.: Ostéosynthèse du rachis : évolution des matériels et des techniques. In: *EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie - Traumatologie* Bd. 8, Elsevier B.V. (2013), Nr. 1, S. 1–20
- [225] STEVENS, ROGER: Gray's Anatomy for Students. In: *Annals of the Royal College of Surgeons*

of England Bd. 88 (2006), Nr. 5 — ISBN 1437720552

- [226] STEVENS, W R ; GLAZER, P A ; KELLEY, S D ; LIETMAN, T M ; BRADFORD, D S: Ophthalmic complications after spinal surgery. In: *Spine* Bd. 22 (1997), Nr. 12, S. 1319–24
- [227] T., INADA ; H., TAKAHASHI ; M., YAMAZAKI ; A., OKAWA ; T., SAKUMA ; K., KATO ; M., HASHIMOTO ; K., HAYASHI ; U. A.: Multicenter prospective nonrandomized controlled clinical trial to prove neurotherapeutic effects of granulocyte colony-stimulating factor for acute spinal cord injury: Analyses of follow-up cases after at least 1 Year. In: *Spine* Bd. 39 (2014), Nr. 3, S. 213–219. — NULL — ISBN 00000000000000
- [228] TAKAHASHI, HIROSHI ; YAMAZAKI, MASASHI ; OKAWA, AKIHIKO ; SAKUMA, TSUYOSHI ; KATO, KEI ; HASHIMOTO, MITSUHIRO ; HAYASHI, KOICHI ; FURUYA, TAKEO ; U. A.: Neuroprotective therapy using granulocyte colony-stimulating factor for acute spinal cord injury: a phase I/IIa clinical trial. In: *European Spine Journal* Bd. 21 (2012), Nr. 12, S. 2580–2587. — NULL
- [229] TETZLAFF, W ; KOBAYASHI, N R ; GIEHL, K M ; TSUI, B J ; CASSAR, S L ; BEDARD, A M: Response of rubrospinal and corticospinal neurons to injury and neurotrophins . In: *Progress in brain research* Bd. 103 (1994), S. 271–286
- [230] TEW, J M ; MAYFIELD, F H: Complications of surgery of the anterior cervical spine. In: *Clinical neurosurgery* Bd. 23 (1976), S. 424–34
- [231] THE NATIONAL SPINAL CORD INJURY STATISTICAL CENTER PUBLISHES: *THE 2006 ANNUAL STATISTICAL REPORT for the MODEL SPINAL CORD INJURY CARE SYSTEMS*, 2006
- [232] DELLA TORRE, P ; RINONAPOLI, E: Halo-cast treatment of fractures and dislocations of the cervical spine. In: *International orthopaedics* Bd. 16 (1992), Nr. 3, S. 227–231
- [233] TROTTER, DAVID ; AL-ZAHRAWI, HALAF IBN 'ABBAS ABU AL-QASIM: *Traité de Chirurgie : édition de la traduction en ancien français de la „Chirurgie“ d'Abu'l Quasim Halaf Ibn'Abbas al-Zahrawi du manuscrit BNF, français 1318*, 2005 — ISBN 3-484-52325-5
- [234] TSAI, MING-CHU ; SHEN, LI-FEN ; KUO, HUAI-SHENG ; CHENG, HENRICH ; CHAK, KIN-FU: Involvement of acidic fibroblast growth factor in spinal cord injury repair processes revealed by a proteomics approach. In: *Molecular & cellular proteomics : MCP* Bd. 7 (2008), Nr. 9, S. 1668–1687. — NULL
- [235] TULI, SAGUN ; TULI, JAYSHREE ; COLEMAN, WILLIAM P ; GEISLER, FRED H ; KRASSIOUKOV, ANDREI: Hemodynamic parameters and timing of surgical decompression in acute cervical spinal cord injury. In: *The journal of spinal cord medicine* Bd. 30 (2007), Nr. 5, S. 482–90. — NULL
- [236] VACCARO, ALEXANDER R. ; KOERNER, JOHN D. ; RADCLIFF, KRIS E. ; ONER, F. CUMHUR ; REINHOLD, MAXIMILIAN ; SCHNAKE, KLAUS J. ; KANDZIORA, FRANK ; FEHLINGS, MICHAEL G. ; U. A.: AO Spine subaxial cervical spine injury classification system. In: *European Spine Journal* Bd. 25 (2016), Nr. 7, S. 2173–2184 — ISBN 0058601538
- [237] VACCARO, ALEXANDER R ; HULBERT, R JOHN ; PATEL, ALPESH A ; FISHER, CHARLES ; DVORAK, MARCEL ; LEHMAN, RONALD A ; ANDERSON, PAUL ; HARROP, JAMES ; U. A.: The subaxial cervical spine injury classification system: a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology, and integrity of the disco-ligamentous complex. In: *Spine* Bd. 32 (2007), Nr. 21, S. 2365 — ISBN 1528-1159 (Electronic)n0362-2436 (Linking)
- [238] VALE, F.L. ; BURNS, J. ; JACKSON, A.B. ; HADLEY, M.N.: Combined medical and surgical

treatment after acute spinal cord injury: Results of a prospective pilot study to assess the merits of aggressive medical resuscitation and blood pressure management. In: *J Neurosurg* Bd. 87 (1997), Nr. 2, S. 239–246. — NULL

- [239] VARMA, A ; HILL, E G ; NICHOLAS, J ; SELASSIE, A: Predictors of early mortality after traumatic spinal cord injury: a population-based study. In: *Spine (Phila Pa 1976)* Bd. 35 (2010), Nr. 1528–1159 (Electronic), S. 778–783 — ISBN 1528-1159 (Electronic)r0362-2436 (Linking)
- [240] VAWDA, R ; WILCOX, J ; FEHLINGS, MG: Current stem cell treatments for spinal cord injury. In: *Indian journal of orthopaedics* Bd. 46, Medknow Publications (2012), Nr. 1, S. 10–8
- [241] VITAL, F.M.: Anatomie fonctionnelle du rachis cervical : actualités. In: *Rev Fr Dommage Corp* (2001), S. 187–197
- [242] VITAL, J M ; GILLE, O ; SENEGRAS, J ; POINTILLART, V: Reduction technique for uni- and biarticular dislocations of the lower cervical spine. In: *Spine* Bd. 23 (1998), Nr. 8, S. 949–54; discussion 955
- [243] VITAL, J M ; SENEGRAS, J: Anatomical bases of the study of the constraints to which the cervical spine is subject in the sagittal plane A study of the center of gravity of the head. In: *Surgical and Radiologic Anatomy* Bd. 8, Springer-Verlag (1986), Nr. 3, S. 169–173
- [244] DE VIVO, MICHAEL J. ; STUART KRAUSE, J. ; LAMMERTSE, DANIEL P.: Recent trends in mortality and causes of death among persons with spinal cord injury. In: *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Bd. 80 (1999), Nr. 11, S. 1411–1419 — ISBN 0003-9993
- [245] WEISBERG, N K ; SPENGLER, D M ; NETTERVILLE, J L: Stretch-induced nerve injury as a cause of paralysis secondary to the anterior cervical approach. In: *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* Bd. 116 (1997), Nr. 3, S. 317–26
- [246] WELLMAN, B J ; FOLLETT, K A ; TRAYNELIS, V C: Complications of posterior articular mass plate fixation of the subaxial cervical spine in 43 consecutive patients. In: *Spine* Bd. 23 (1998), Nr. 2, S. 193–200
- [247] WELLS-ROTH, DAVID ; ZONENSHAYN, MARTIN: Vascular Anatomy of the Spine. In: *Operative Techniques in Neurosurgery* Bd. 6 (2003), Nr. 3
- [248] WELLS, JENNIFER E A ; HURLBERT, R JOHN ; FEHLINGS, MICHAEL G ; YONG, V WEE: Neuroprotection by minocycline facilitates significant recovery from spinal cord injury in mice. In: *Brain : a journal of neurology* Bd. 126 (2003), Nr. Pt 7, S. 1628–37. — NULL — ISBN 0006-8950 (Print)r0006-8950 (Linking)
- [249] WELSH, LOUIS W. ; WELSH, JOHN J. ; CHINNICI, JOANNE C.: Dysphagia Due to Cervical Spine Surgery. In: *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* Bd. 96, SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA (1987), Nr. 1, S. 112–115
- [250] WEST, J ; ASKIN, G ; CLARKE, M ; VERNON, S A: Loss of vision in one eye following scoliosis surgery. In: *The British journal of ophthalmology* Bd. 74 (1990), Nr. 4, S. 243–4
- [251] WILSON, J ; CADOTTE, D ; FEHLINGS, M: Clinical predictors of neurological outcome, functional status, and survival after traumatic spinal cord injury: a systematic review. In: *J Neurosurg* Bd. 17 (2012), Nr. 1 Suppl, S. 11–26
- [252] WILSON, JEFFERSON R ; FORGIONE, NICOLE ; FEHLINGS, MICHAEL G: Emerging therapies for

acute traumatic spinal cord injury. In: *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne* Bd. 185, Canadian Medical Association (2013), Nr. 6, S. 485–92. — NULL

- [253] WILSON, JEFFERSON R ; GROSSMAN, ROBERT G ; FRANKOWSKI, RALPH F ; KISS, ALEXANDER ; DAVIS, AILEEN M ; KULKARNI, ABHAYA V ; HARROP, JAMES S ; AARABI, BIZHAN ; U. A.: A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. In: *Journal of neurotrauma* Bd. 29 (2012), Nr. 13, S. 2263–71
- [254] WONG, D. M. ; PRABHU, A. ; CHAKRABORTY, S. ; TAN, G. ; MASSICOTTE, E. M. ; COOPER, R.: Cervical spine motion during flexible bronchoscopy compared with the Lo-Pro GlideScope®. In: *British Journal of Anaesthesia* Bd. 102 (2009), Nr. 3, S. 424–430. — NULL — ISBN 1471-6771 (Electronic):0007-0912 (Linking)
- [255] WOODWORTH, RICHARD S. ; MOLINARI, WILLIAM J. ; BRANDENSTEIN, DANIEL ; GRUHN, WILLIAM ; MOLINARI, ROBERT W.: Anterior cervical discectomy and fusion with structural allograft and plates for the treatment of unstable posterior cervical spine injuries. In: *J Neurosurg* Bd. 10 (2009), Nr. 2, S. 93–101
- [256] WU, J C ; CHEN, Y C ; LIU, L ; CHEN, T J ; HUANG, W C ; CHENG, H ; TUNG-PING, S: Increased risk of stroke after spinal cord injury: a nationwide 4-year follow-up cohort study. In: *Neurology* Bd. 78 (2012), Nr. 14, S. 1051–1057 — ISBN 0028-3878
- [257] WU, JAU-CHING ; HUANG, WEN-CHENG ; TSAI, YUN-AN ; CHEN, YU-CHUN ; CHENG, HENRICH: Nerve repair using acidic fibroblast growth factor in human cervical spinal cord injury: a preliminary Phase I clinical study. In: *J Neurosurg* Bd. 8 (2008), Nr. 3, S. 208–14. — NULL — ISBN 1547-5654
- [258] WUERMER, LISA-ANN ; HO, CHESTER H ; CHIODO, ANTHONY E ; PRIEBE, MICHAEL M ; KIRSHBLUM, STEVEN C ; SCELZA, WILLIAM M: Spinal cord injury medicine. 2. Acute care management of traumatic and nontraumatic injury. In: *Archives of physical medicine and rehabilitation* Bd. 88 (2007), Nr. 3 Suppl 1, S. S55–S61 — ISBN 0003-9993
- [259] WYNDAELE, M ; WYNDAELE, J-J: Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? In: *Spinal Cord* Bd. 44 (2006), Nr. 9, S. 523–529
- [260] YUKAWA, YASUTSUGU ; KATO, FUMIHIKO ; ITO, KEIGO ; HORIE, YUMIKO ; HIDA, TETSUROU ; NAKASHIMA, HIROAKI ; MACHINO, MASAAKI: Placement and complications of cervical pedicle screws in 144 cervical trauma patients using pedicle axis view techniques by fluoroscope. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* Bd. 18, Springer (2009), Nr. 9, S. 1293–9
- [261] ZHOU, FENG ; ZOU, JUN ; GAN, MINFENG ; ZHU, RUOFU ; YANG, HUILIN: Management of fracture-dislocation of the lower cervical spine with the cervical pedicle screw system. In: *Annals of the Royal College of Surgeons of England* Bd. 92, Royal College of Surgeons of England (2010), Nr. 5, S. 406–10
- [262] ZIPNICK, R I ; SCALEA, T M ; TROOSKIN, S Z ; SCLAFANI, S J A ; EMAD, B ; SHAH, A ; TALBERT, S ; HAHER, T: Hemodynamic-Responses to Penetrating Spinal-Cord Injuries. In: *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* Bd. 35 (1993), Nr. 4, S. 578–583

Résumé

LES ARTHRODESES DU RACHIS CERVICAL INFÉRIEUR TRAUMATIQUE CHEZ L'ADULTE

Les traumatismes vertèbro-médullaires (TVM) sont un problème majeur de santé publique. Quand ils intéressent le rachis cervical, ces lésions peuvent mettre en jeu le pronostic vital. Les hospitalisations, les longues réhabilitations, les dommages émotionnels, pour le patient et sa famille sont toujours très importants, et parfois peuvent représenter de véritables drames sociaux.

Il s'agit d'une étude observationnelle exhaustive type descriptive à recueil prospectif, concernant les patients qui ont subi une arthrodèse suite à un traumatisme du rachis cervical inférieur, qui s'est déroulé sur 24 mois, à compter du 5 octobre 2015, dans le service de neurochirurgie du CHU d'ORAN.

Notre série comporte 51 patients qui présentent un traumatisme du rachis cervical inférieur, qui ont tous bénéficié d'un traitement chirurgical, à savoir une arthrodèse rachidienne, sur 95 cas de traumatisme du rachis cervical inférieur.

La tranche d'âge 20 - 40 ans est la plus touchée par les traumatismes du rachis cervical inférieur avec 51% des cas, avec une nette prédominance masculine, en effet 86.3% de nos patients sont de sexe masculin. L'étiologie des traumatismes du rachis cervical était dominée par les AVP (accidents de la voie publique) (66.7%), suivie des accidents de plongeon (15.7%), les chutes (11.8%) puis les accidents de sport, les accidents de travail et les coups et blessures volontaires (2%). Sur les 51 patients de notre série, 20 avait un examen neurologique normal (29.2%), 31 patients (60.7%) ont présenté des troubles neurologiques. Nous avons constaté que 60.1% des patients admis avec des troubles neurologiques étaient classé ASIA D, et le reste étaient répartis à pourcentage presque égal entre ASIA C, B et A respectivement 16.1%, 9.6% et 12.9%.

La voie d'abord antérieure a été utilisée chez 44 patients, et la voie postérieure chez 7 patients. Une amélioration neurologique a été constatée chez 21 patients sur les 29 qui présentaient des troubles neurologiques, ce qui représente 72.4% des cas. 19 cas de notre série ont eu une amélioration de +1 sur le score ASIA, et 2 cas ont une amélioration de +2. Nous n'avons pas enregistré d'aggravation neurologique postopératoire durant notre étude.

La complication la plus rencontrée dans notre série est la pneumopathie de décubitus, 4 patients ont présenté cette complication. Nous déplorons 2 décès durant notre étude, dans les deux cas il s'agit de patients AIS A, qui présentaient des troubles neurovégétatifs sévères. Et donc dans cette série la mortalité est de 3.9%.

Au terme de notre travail, il ressort que le traumatisme du rachis cervical inférieur est une pathologie fréquente, intéresse le jeune de sexe masculin et dont l'étiologie est dominée par les accidents de la voie publique et les accidents de plongeant en eaux peu profondes, mettant en jeu le pronostic fonctionnel et vital.

Une prise en charge précoce et coordonnée, un diagnostic et une évaluation rapides, la levée chirurgicale de la compression médullaire associée au recalibrage et à la stabilisation de la fracture, sont les conditions indispensables à l'amélioration du pronostic neurologique.

Mots-clés : Traumatologie cervicale ; Chirurgie cervicale ; arthrodèse ; fixation ; ostéosynthèse ; Rachis, voie antérieure ; Rachis, voie postérieure.

Dr Ayoun Abdelmoumene Ryad

Maitre-assistant en neurochirurgie – service de neurochirurgie du CHU Oran

dayr2002@gmail.com

ملخص

إيثاق مفصل العمود الفقري العنقى السفلي بعد الصدمة

الصدمات الفقيرية هي مشكلة صحية عوممية. عندما تتطوي على العمود الفقري العنقى، يمكن أن تكون مهددة للحياة. إن الاستثناء، والتأهيل الطويل، والضرر العاطفي، للمربيض وعائلته هي دائماً مهمة جداً، وأحياناً يمكن أن تمثل دراما اجتماعية حقيقة.

هذه دراسة شاملة وصفية، للمرضى الذين خضعوا للعلاج جراحي بعد إصابة العمود الفقري العنقى السفلي، التي وقعت على مدى فترة 24 شهراً، ابتداء من 5 أكتوبر 2015، بقسم جراحة المخ والأعصاب بالمركز الاستشفائي الجامعي وهران. يشمل عمنا 51 مريضاً كلهم يعانون من صدمة العمود الفقري العنقى السفلي، وجميعهم تلقوا العلاج الجراحي، وهو إيثاق مفصلي العمود الفقري، في 95 حالة صدمة العمود الفقري العنقى.

الفئة العمرية 20 - 40 سنة هي الأكثر تضرراً من صدمة العمود الفقري العنقى السفلي مع 51% من الحالات، مع هيمنة الذكور واضحة، في الواقع 86.3% من مرضاناً هم من الذكور. وقد هيمنت مسببات صدمات العمود الفقري العنقى (66.7%)، تليها حوادث الغطس (15.7%)، والسقوط (11.8%). تليها الحوادث الرياضية وحوادث السيارات. (2%).

من بين 51 مريضاً في سلسلتنا، كان 20 فحصاً عصبياً عادياً (29.2%)، 31 مريضاً (60.7%) لديهم اضطرابات عصبية. وجدنا أن 60.1% من المرضى الذين اعترفوا باضطرابات عصبية تم تصنيفهم على أنهم D ASIA، أما الباقى فقد قسموا بنسب متساوية تقريباً بين C ASIA و B على التوالى 16.1% و 9.6% و 12.9%.

تم استخدام النهج الجراحي الأمامي في 44 مريضاً، والنهج الجراحي الخلفي في 7 مرضى. وقد لوحظ تحسن عصبي في 21 من أصل 29 مريضاً يعانون من اضطرابات عصبية، وهو ما يمثل 72.4% من الحالات. 19 حالة من سلسلتنا لديهم تحسن AIS، وحالتين لديهما تحسن +2. لم نواجه أي تفاقم عصبي بعد العملية الجراحية أثناء دراستنا.

المضاعفات الأكثر شيوعاً في سلسلتنا هي الالتهاب الرئوي، وقدم 4 مرضى هذه المضاعفات. نحن نتأسف لحصولنا 2 وفيات خلال دراستنا، في كلتا الحالتين كانوا مصنفين A ASIA. وهكذا في هذه السلسلة معدل الوفيات هو 3.9%.

في نهاية عمنا، يبدو أن صدمة العمود الفقري العنقى السفلي هو مرض شائع، من مصلحة الشباب الذكور والتي تسيطر عليها مسببات حوادث الطرق وحوادث الغوص في المياه الضحلة، مما يهدد التشخيص الوظيفي والحيوي.

الرعاية المبكرة والمنسقة، التشخيص والتقييم السريع، الرفع الجراحي لضغط النخاع الشوكي والتثبيت الجراحي للكسر، هي الشروط الأساسية لتحسين التشخيص العصبي.

كلمات البحث: إصابات العمود الفقري العنقى. جراحة العمود الفقري العنقى. تثبيت طرف في العظم. العمود الفقري، الأمامي. العمود الفقري، النهج الأمامي، النهج الخلفي.

الدكتور عيون عبد المؤمن رياض

أستاذ مساعد في جراحة المخ والأعصاب - قسم جراحة المخ والأعصاب - المركز الاستشفائي الجامعي وهران

SUMMARY

Arthrodesis of sub-axial cervical spine injury

Acute spinal cord injury (SCI) is a major public health problem. When they involve the cervical spine, these lesions can be life-threatening. The hospitalizations, the long rehabilitations, the emotional damage, for the patient and his family are always very important, and sometimes can represent real social dramas.

This is a comprehensive, descriptive, prospective, observational study of patients who underwent arthrodesis following a lower cervical spine injury, which occurred over a 24-month period, beginning on October 5, 2015, in the neurosurgery department of Oran hospital.

Our series includes 51 patients with lower cervical spine trauma, all of whom received surgical treatment, spinal arthrodesis, in 95 cases of lower cervical spine trauma.

The age group 20 - 40 years is the most affected by trauma of the lower cervical spine with 51% of cases, with a clear male predominance, indeed 86.3% of our patients are male. The etiology of cervical spine trauma was dominated by AVP (road accidents) (66.7%), followed by diving accidents (15.7%), falls (11.8%), followed by sports accidents, motor vehicle accidents. work and intentional injury (2%). Of the 51 patients in our series, 20 had a normal neurological examination (29.2%), 31 patients (60.7%) had neurological disorders. We found that 60.1% of patients admitted with neurological disorders were classified as ASIA D, and the rest were divided at almost equal percentages between ASIA C, B and A respectively 16.1%, 9.6% and 12.9%.

The anterior approach was used in 44 patients, and the posterior approach in 7 patients. Neurological improvement was observed in 21 out of 29 patients with neurological disorders, accounting for 72.4% of cases. 19 cases of our series had an improvement of +1 on the ASIA score, and 2 cases have an improvement of +2. We did not experience any postoperative neurologic aggravation during our study.

The most common complication in our series is decubitus pneumonia, 4 patients presented this complication. We deplore 2 deaths during our study, in both cases it is patients AIS A, who had severe neurovegetative disorders. And so, in this series the mortality is 3.9%.

At the end of our work, it appears that the trauma of the lower cervical spine is a common pathology, interesting young male and whose etiology is dominated by road accidents and diving accidents in shallow waters, threatening the functional and vital prognosis.

Early and coordinated management, rapid diagnosis and evaluation, surgical removal of spinal cord compression associated with recalibration and fracture stabilization are the prerequisites for improving neurologic prognosis.

Keywords: Cervical trauma; Cervical surgery; arthrodesis; fixation; osteosynthesis; Spine, anterior approach; Spine, posterior approach.

Dr. Ayoun Abdelmoumene Ryad

Assistant Professor of Neurosurgery - Neurosurgery Department - Oran University Hospital Center