RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR — ANNABA

Faculté de Médecine



THÈSE PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

DOCTORAT EN MÉDECINE

◆ ❖ ◆

Bases anatomiques sur l'occipitalisation de l'atlas

◆ ❖ ◆

PRÉSENTÉ PAR

Soussa Manar

Secca Dina

Semichet Roufia

ENCADRÉ PAR

Dr. Soussa

Maitre assistane en Anatomie générale

Spécialiste en Radiologie et imagerie médicale

Année universitaire : **2025 – 2026**

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à notre encadreuse, Dr.Soussa Chahrazed, pour sa disponibilité, sa patience, ses précieux conseils et le suivi rigoureux et professionnel qu'elle a apporté à ce travail. Sa bienveillance et son expertise ont été déterminantes dans l'aboutissement de cette étude.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au Chef du service d'Anatomie pour nous avoir permis d'accéder au laboratoire et de bénéficier des conditions nécessaires à la réalisation de notre travail.

Nous adressons également nos vifs remerciements au Chef du service de Radiologie pour nous avoir autorisés à accéder aux dossiers médicaux au niveau du Pavillon des Urgences Chirurgicales. Sa disponibilité et sa collaboration nous ont été d'une grande aide dans la réalisation de ce travail.

Nous leur exprimons toute notre gratitude pour leur accueil, leur confiance et leur précieuse collaboration

Nous adressons également toute notre reconnaissance à l'ensemble des médecins du service de radiologie pour leur accueil, la transmission de leur savoir-faire et le temps qu'ils nous ont accordé tout au long de notre étude. Leurs compétences professionnelles et leurs qualités humaines nous ont permis d'approfondir nos connaissances et d'enrichir notre pratique.

Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble du personnel du service de radiologie (manipulateurs, équipe administrative et soignante) pour leur accueil chaleureux, leur coopération et la qualité de l'environnement de travail qu'ils nous ont offert.

Enfin, nous remercions les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail, ainsi que toutes les personnes qui nous ont soutenus tout au long de notre parcours d'études.

Dédicace :

A ma mère ;

Au terme de ce parcours académique ; je tiens à dédier le résultat de tous mes efforts à la personne ayant eu le plus d'influence sur mon cursus, la personne qui n'a pas pu voir accompli le fruit de son projet : Ma mère, paix à ton âme.

A mon frère Rayan,

Mon premier ami et mon confident, je te souhaite un chemin rempli d'accomplissement et de réussite

A ma cousine Ahlem,

Ton soutien et ta présence m'ont aidé à tenir la tête haute pendant un chemin tumultueux. Tu es la sœur qui me tient la main quand le doute me traverse, merci pour ta grâce et ta générosité.

A ma famille,

Et toute personne m'ayant soutenu et cru en moi, je vous dois cette réussite.

Manar

Dédicace :

À ma mère,

À celle qui a toujours été ma force, mon refuge et mon plus grand soutien. Merci pour ton amour, tes sacrifices, ta patience et tes prières. Si aujourd'hui je suis arrivée jusqu'ici, c'est aussi grâce à toi. Je te dédie cette réussite avec tout mon amour et toute ma reconnaissance.

À ma grand-mère,

À celle qui s'est tant dévouée pour moi, qui s'est épuisée pour m'aider à avancer et qui a toujours voulu me voir réussir. Tes sacrifices, ton affection et ta présence ont accompagné chacun de mes pas. Cette réussite porte une part de toi.

À ma tante Nassima,

Pour ton aide précieuse, ton soutien et ta présence durant les moments où j'en avais le plus besoin. Merci d'avoir cru en moi et d'avoir contribué, à ta manière, à ce que je puisse aller jusqu'au bout de ce chemin.

À vous trois,

Je dois une partie de cette réussite à votre amour, vos sacrifices et votre présence.

Que ce travail soit le témoignage de ma profonde gratitude.

Du fond du cœur, merci

Roufia

Dédicace

À ma maman Houda,

À la femme qui a toujours été mon refuge, ma force et ma lumière. Merci pour ton amour immense, tes sacrifices, tes prières et cette présence qui m'a portée même dans les moments où je doutais de moi. Ce jour est aussi le tien, car derrière chacune de mes réussites se trouve une part de ton amour. Maman, si je suis devenue celle que je suis aujourd'hui, c'est aussi grâce à toi.

À mon papa Riad,

À celui dont la présence, les conseils et les sacrifices ont accompagné chacun de mes pas. Merci d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir encouragée à avancer et de m'avoir appris, par ton exemple, la valeur du travail, de la persévérance et de la dignité. Cette réussite est aussi le reflet de tout ce que tu as fait pour moi. Que Dieu te protège et te garde toujours auprès de moi.

À la mémoire de ma très chère mamie Zahie,

Il est difficile de trouver les mots lorsque la personne à qui l'on aurait tant voulu raconter sa réussite n'est plus là pour l'entendre.

J'aurais tellement aimé te voir assister à ce moment, te regarder sourire, entendre tes mots et sentir ta fierté. J'aurais aimé pouvoir te dire : « Ça y est, Mamie... je suis devenue médecin. »

Tu n'es plus physiquement à mes côtés, mais ton souvenir, ton amour et tout ce que tu m'as transmis vivent encore en moi. Dans ce jour si important, ton absence se fait particulièrement ressentir, mais je choisis de croire que, quelque part, tu me regardes avec fierté.

Je te dédie cette réussite, Mamie, avec tout l'amour que je porte encore et que je porterai toujours pour toi.

Puisse Allah t'accorder Sa plus grande miséricorde, illuminer ta tombe et t'accueillir dans Son vaste Paradis. Tu me manques, et tu me manqueras toujours. Cette réussite porte aussi une pensée pour toi.

À mon cher frère Wassim,

Merci pour ta présence, ton soutien et ton affection. Puisse cette réussite être une source de fierté pour toi comme elle l'est pour moi. Je te souhaite, à mon tour, de réaliser tous tes rêves.

À tous ceux que j'aime, et particulièrement à ceux qui ont cru en moi : cette réussite est aussi la vôtre.

Dina

Sommaire

Partie théorique 09

Introduction : 9

Embryologie : 10

Anatomie : 12

a. Eléments osseux : 12

b. Les articulations de la charnière cranio-rachidiennes : 13

c. Le contenu de la CCO : éléments vasculo-nerveux : 13

Clinique : 15

1. Découverte fortuite : 15

2. Découverte lors de symptomatologie clinique diverse: 15

3. Formes compliquées : 16

Radiologie : 17

Variétés radiologiques en TDM : 17

Variétés radiologiquesdu nevraxe en IRM : 17

Paramètres craniométriques utilisés (TDM + IRM) : 18

Suivi et prise en charge : 22

Traitement conservateur : 22

Traitement chirurgical : 22

Partie pratique : 24

Introduction : 25

Objectif : 25

Imagerie : 25

Méthodologie : 27

Analyse descriptive des paramètres cliniques et radiologiques de la jonction crânio-vertébrale 30

1. Répartition selon l'âge 30

2. Répartition selon le sexe 30

4. Antécédents et comorbidités 32

4. Circonstance de découverte 33

5. Indice de masse corporelle (IMC) 34

6. Ligne de Chamberlain (mm) 35

7. Ligne de McGregor (mm) 35

8. Ligne de McRae (mm) 36
9. Ligne bimastoïdienne (mm).....37
10. Ligne digastrique (mm) 38
11. Angle de Welcker (°).....39
9. Ligne de Wackenheim.....40
13. Symptômes 40
14. Type de fusion 42
Discussion :.....44
Conclusion : 45

Partie théorique

Introduction :

La charnière cranio-vertébrale est une entité anatomo-fonctionnelle complexe, joignant le crâne au rachis. La connaissance de cette région anatomique complexe est importante et permet de mieux maitriser sa pathologie qui est riche et variée.

L'étude de l'anatomie de la charnière cranio-vertébrale date de la moitié du 19ème siècle. Les anomalies de la région ont été détaillées grâce à des études de dissection cadavérique montrant à la fois les variations anatomiques, les pathologies osseuses et par suite neurologiques de la région.

La classification des anomalies de la charnière cranio-vertébrale (CCV) a mis en évidence une répartition comme suit ; elles sont divisées en deux grands chapitres :

- La pathologie malformative congénitale.
- La pathologie acquise qui regroupe la pathologie tumorale, traumatique, inflammatoire et infectieuse [1].

Epidémiologie des malformations :

- Sur le plan épidémiologique une prédominance masculine est notée.
- La race touchée est surtout africaine.

La moyenne d'âge est généralement à la 2ème ou à la 3ème décennie.

Définition :

L'occipitalisation de l'atlas, également appelée assimilation atlanto-occipitale, est une malformation congénitale rare de la jonction cranio-vertébrale caractérisée par une fusion partielle ou complète de la première vertèbre cervicale (atlas) avec l'os occipital. Cette anomalie résulte d'un trouble du développement embryologique au cours des premières semaines de la vie intra-utérine. Elle peut être asymptomatique ou responsable de manifestations neurologiques et vasculaires liées à la compression des structures nerveuses de la jonction cranio-vertébrale.[2]

Cette fusion réduit la taille du foramen magnum (trou occipital) et modifie la statique de la colonne cervicale. [1, 2]

Associations :

Elle est parfois liée à un syndrome de Klippel-Feil (fusion d'autres vertèbres cervicales, cou court) ou à une instabilité atlanto-axoïdienne.

Embryologie :

1. Formation des vertèbres cervicales :

La charnière cranio-rachidienne se forme à partir de dérivés du mésoderme para-axial et de la crête neurale au cours de la gastrulation lors de la troisième semaine de développement (stade 9 de Carnegie : 1,5-3,0 mm, 21j).
La partie rostrale du mésoderme para-axial donne le mésoderme céphalique tandis que sa partie caudale donne le mésoderme somitique divisé secondairement en segments appelés somites [3] .

Les somites apparaissent selon un gradient rostro-caudal le long de l'axe corporel et se divisent en 3 dérivés disposés de manière dorso-ventrale :

- Le dermatome, dorsal, source de derme et d'hypoderme.
- Le myotome, intermédiaire, qui donne naissance à des fibres musculaires striées squelettiques.
- Le sclérotome, ventral, qui sera à l'origine des vertèbres, de leurs ligaments, des méninges spinales et d'une partie des côtes.

2. Contribution des somites à la formation du squelette axial et des structures qui lui sont associées :

Un dernier processus entre en jeu, c'est la resegmentation.
Les sclérotomes vont venir se séparer en deux masses inégales, l'une crânienne et l'autre caudale.
La part caudale de chaque sclérotome va fusionner avec la part crânienne du sclérotome qui lui est postérieur. C'est le résultat de cette fusion qui forme l'ébauche vertébrale [4].

L'os occipital se développe à partir de plusieurs centres d'ossification distincts (exoccipital, basioccipital, supraoccipital) qui fusionnent plus tard. Son embryologie est complexe [5].
Comme d'autres os du crâne, il se développe à partir de cellules provenant de la crête neurale et du mésoderme paraxial [6].

Ossification intramembraneuse et endochondrale :

le développement de l'os occipital s'effectue par deux processus d'ossification : l'ossification intramembraneuse, où le tissu conjonctif se transforme directement en os, et l'ossification endochondrale, où un modèle cartilagineux est d'abord formé avant d'être remplacé par de l'os[7].

Fusion des éléments :

Au cours du développement, ces différentes parties, notamment l'écaille occipitale, les pars condylaires (latérales) et le processus basilaire (partie basilaire), fusionnent pour former l'os occipital unique. Cette fusion est un processus progressif qui se déroule pendant l'enfance [8].

3. Processus de fusion ou fusion avec le sphénoïde :

À la naissance, la partie basilaire de l'os occipital est encore séparée du corps du sphénoïde par une plaque de cartilage. Cette plaque s'ossifie plus tard, vers 25 ans, pour former une structure osseuse continue [9].

4. Le cervelet et le tronc cérébral :

Sont issus de la vésicule rhombencéphalique, qui se développe à partir du rhombencéphale (une des trois vésicules primaires formées à partir du tube neural) [10].

Le rhombencéphale se divise ensuite en deux parties : le métencéphale et le myélencéphale. Le cervelet se forme à partir du métencéphale, et le tronc cérébral est constitué du mésencéphale (la partie supérieure) et des deux autres régions : le métencéphale (pour le pont) et le myélencéphale (pour la moelle allongée).

Formation initiale :

Le tube neural se différencie en trois vésicules primitives : prosencéphale, mésencéphale et rhombencéphale [11].

Division du rhombencéphale :

Au cours de la 5èmesemaine (stade 15 de Carnegie : 7,0-9,0, 35j), le rhombencéphale se divise en deux sections :

- Métencéphale : Cette partie supérieure donnera le pont et le cervelet.
- Myélencéphale : Cette partie inférieure donnera la moelle allongée.

Origine du cervelet : Le cervelet se développe à partir du métencéphale, spécifiquement de la partie dorsale (le toit).

Origine du tronc cérébral :

Le tronc cérébral est formé de trois parties qui proviennent de différentes vésicules primitives :

- Mésencéphale : Il forme la partie supérieure du tronc cérébral.
- Métencéphale : La partie ventrale (le plancher) du métencéphale forme le pont (protubérance annulaire).
- Myélencéphale : Cette région donne la moelle allongée.

Anatomie :

Anatomie de la charnière cranio-rachidienne :

a. Eléments osseux :

- L'os occipital est un os impair qui appartient à la fois à la base du crâne et à la calvaria. On lui distingue quatre parties ; le corps, les deux parties latérales et l'écaille occipitale. Dans son ensemble, l'os est concave du côté endocrânien, convexe du côté exocrânien, sa forme générale est de forme losangique. La face exocrânienne est occupée en grande partie de chaque cote du foramen magnum par une surface articulaire très saillante, ovalaire à grand axe, dirigé en avant et médialement. Cette surface regarde en bas et un peu latéralement et s'articule avec la surface inversement conformée de la face supérieure des masses latérales de l'atlas ; fovéa articulaire crâniale [12].
- L'atlas est la première vertèbre cervicale, très profonde, plus étendue transversalement que les autres vertèbres cervicales. Formé par deux masses latérales, réunies par deux arcs antérieur et postérieur, ces différents segments circonscrivent le foramen vertébral. Ses processus épineux sont très impotents, s'appellent les masses latérales. On décrit :

- Les masses latérales, présentant : La face supérieure, porte une surface articulaire, ou cavité glénoïde, ovalaire, étranglée en son centre, en forme de semelle, destinée à s'articuler avec le condyle occipital. Le grand axe de cette surface est oblique en avant et en dedans. La face inferieure porte une facette articulaire plane, orientée en bas et en dedans, et destinée au processus articulaire supérieur. La face externe donne attache aux deux racines du processus transverse. La face interne, moins haute, présente à sa partie antérieure un tubercule qui donne insertion au ligament transverse.

- L'arc postérieur : mince, présente un tubercule postérieur (reliquat du processus épineux), excavée de part et d'autre donnant la gouttière de l'artère vertébrale.

- L'arc antérieur : mince, présente aussi un tubercule antérieur. Sa face antérieure présente une surface articulaire avec l'odontoïde.

- Le trou vertébral : très large, divise en deux parties par le ligament transverse ; en avant se trouve le processus odontoïde ; et en arrière la moelle allongée (le bulbe rachidien) [13].

- L'axis constitue la deuxième vertèbre cervicale, c'est une transition entre l'atlas et la vertèbre type. Il est caractérisé par l'existence d'une grosse apophyse odontoïde, reliquat du corps de l'atlas qui s'est fusionné avec l'axis. Elle présente :
- Un corps, sa face supérieure présente le processus odontoïde, sa face antérieure présente une crête médiane ou s'insère le ligament atloïdo-axoidien. Le corps présente aussi la base, le col, le corps et le sommet.
- Les processus transverses : ne présentent qu'un tubercule à leur sommet.
- Les processus articulaires : ne sont pas situées les unes au-dessus des autres.
- Le processus épineux : est volumineux, saillant ; bifurqué vers le haut.
- Le trou vertébral : est en forme de cœur de carte à jouer [14].

b. Les articulations de la charnière cranio-rachidiennes :

La tête s'articule avec la colonne vertébrale par un ensemble d'articulations ; les articulations de l'atlas avec l'axis, l'occipital avec l'atlas, et l'axis avec l'os occipital et les moyens d'unions entre l'atlas et l'axis, qui s'organisent de la manière suivante :

- Articulations atlonto-axoïdiennes :

  - Articulations atloïdo-axoïdiennes latérales.
  - Articulations atloïdo-axoïdiennes médianes.
  - Ligament atloïdo-axoïdien, au nombre de deux, antérieur et postérieur.

- Union entre os occipital et atlas :

  - Articulation atlonto-occipitale entre les condyles occipitaux et les cavités glénoïdes de l'atlas.
  - Membranes atlonto-occipitales au nombre de deux un antérieur et un postérieur.

- Union de l'os occipital et l'axis :

L'os occipital est uni à l'axis (C2) par des ligaments très puissants qui sont :

- Membrane occipito-axoidienne
- Ligaments occipito-odontoidiens alaires et de l'apex.
- Autres ligaments pour renforcer l'os occipital et l'axis ; les ligaments longitudinaux antérieur et postérieurs[1516].

Mécanisme des articulations de la tête avec la colonne vertébrale :

L'équilibre de la tête sur la colonne vertébrale est assuré par les articulations, assurant ainsi les mouvements de flexion, extension, inclinaison latérale, et mouvements de rotations [17].

Ainsi, les malformations osseuses peuvent retentir directement ou indirectement sur les structures nerveuses sous-jacentes.

c. Le contenu de la CCO : éléments vasculo-nerveux :

La charnière cervico-occipitale assure le passage de plusieurs éléments vasculo-nerveux précieux, ce qui rend l'abord chirurgical de cette région difficile et pourvoyeur de complications.

- Artère vertébrale :

Constitue l'élément vasculaire le plus important de la charnière cranio-vertébrale, une branche majeure de l'artère subclavière, montant le long du rachis cervical par les foramens transversaires des vertèbres. Elle monte dans le trou transverse de C7 à C1 puis elle contourne les masses latérales de C1 et chemine dans la gouttière de l'arc postérieure de C1,

perfore la membrane occipito-atloïdienne et traverse l'espace épidural puis la dure-mère pour pénétrer dans le foramen magnum (trou occipitale) et la cavité crânienne. Elle contourne la moelle allongée et donne l'artère spinale postérieure et en avant l'artère spinale antérieure et l'artère cérébelleuse postéro-inférieure. Les deux artères vertébrales se réunissent pour former le tronc basilaire[18].

- Eléments nerveux :

Tronc cérébral, cervelet, moelle cervicale haute :

- Moelle cervicale haute : fait suite à la moelle allongée, dont le 1/3 inférieur siège au niveau du canal vertébral. C'est un segment court, d'environ 2cm d'aspect cylindrique.

- Tronc cérébral : Comprend la moelle allongée, la protubérance annulaire, et les pédoncules cérébraux supérieurs, moyens et inférieurs. Il se divise en 3 étages : un étage supérieur mésencéphalique, un étage moyen mésencéphalique et un étage inférieur myélencéphalique. A chaque étage on différentie une face antérieure et une postérieure totalement distinct sur le plan anatomique et fonctionnel.

- Cervelet : en arrière du tronc cérébral dont il masque entièrement la face postérieure et auquel il est relié par les pédoncules cérébelleux moyens. Il occupe la plus grande partie de la fosse cérébrale postérieure, de couleur grisâtre et lamelleux, ferme de consistance, constitué d'un lobe moyen ou vermis et de deux hémisphères latéraux. On lui décrit une face supérieure sous-tentorielle et une face postéro-inférieure qui repose sur le basi occiput et facilement accessible par voie postérieure. Cette face postéro-inférieure comprend au niveau hémisphérique des lobes : de haut en bas, on note le lobe gracile, lobe digastrique, l'amygdale qui repose sur le bord postérieur du trou occipital et enfin le flocculus ; au niveau du vermis, on distingue le tuber, la pyramide, la luette et le nodulus. Ces structures délimitent une cavité ventriculaire qui correspond au quatrième ventricule où chemine le liquide céphalo-rachidien qui sort des trous de Magendie et Luscka pour gagner l'espace sous arachnoïdien cérébrale et médullaire[19].

Clinique :

Les circonstances de découverte :

1. Découverte fortuite :

La découverte de l'occipitalisation d l'Atlas peut arriver au cours de l'exploration radiologique du patient surtout lors d'un traumatisme cérébral ou cervical ; ou dans le cadre d'un bilan des malformations régionales ; ne présentant aucune symptomatologie clinique.

2. Découverte lors de symptomatologie clinique diverse:

a) Douleur et signes cervicaux :

- Céphalée occipitale (souvent aggravée par les efforts, la toux, les manœuvres de Valsalva).[20]
- Douleur cervicale postérieure et raideur de la nuque (présente chez ~80% des patients).[21]
- Limitation des mouvements du cou , cou court, ligne d'implantation des cheveux basses, cou « palmé » (cou palmé) dans certaines dysplasies.[22]
- Torticolis ou inclinaison permanente de la tête (notamment en cas de subluxation rotatoire C1–C2).

b) Myélopathie cervicale haute (compression médullaire) :

- Faiblesse des membres (paraparésie, quadriparésie, ou déficit focal des mains/pieds).
- Troubles de la marche , instabilité, ataxie de démarche.[23]
- Spasticité , hyperréflexie, signe de Babinski.
- Troubles sensibles : paresthésies, engourdissements, perte sensible (souvent colonnes postérieures).
- Troubles sphinctériens (vésicaux/intestinaux) dans les formes évoluées.[24]

c) Atteinte du tronc cérébral et du cervelet :

- Ataxie cérébelleuse , dysmétrie, tremblement intentionnel.[25]
- Nystagmus , fréquemment downbeat (battement vers le bas) et/ou en regard latéral.[26]
- Dysarthrie (trouble de la parole).
- Vertiges , sensation d'instabilité.[27]

d) **Atteinte des nerfs crâniens inférieurs (bulbaires) :**

- Dysphagie (troubles de la déglutition).[28]
- Dysphonie , voix nasillarde (rhinolalie).
- Apnées du sommeil centrales (compression du centre respiratoire).[29]
- Épisodes de fausses routes et pneumonies d'inhalation répétées.
- Parfois atteinte des paires IX, X, XI, XII avec faiblesse pharyngée/laryngée et de la langue[30]

e) Signes vasculaires (insuffisance vertébro-basilaire) :

- Syncope intermittente , « chutes brutales sans perte de conscience prolongée ».
- Vertiges , troubles visuels transitoires, diplopie.[31]
- Migraine basilaire décrite dans certaines invaginations basilaires.[32]

Ces atteintes sont groupées en syndromes :

- Le syndrome de Down (trisomie 21).

- Le syndrome de Morquio (mucopolysaccharidose de type IV).[33]

- L'ostéogenèse imparfaite peut provoquer une subluxation ou une luxation axo-atloïdienne (atlantoaxoïdienne)[34].

- Les signes neurologiques d'examen sont très variables : La cervicalgie se propage souvent aux membres supérieurs et peut s'accompagner de céphalées (le plus souvent occipitales irradiant au vertex). La douleur est attribuée à la compression de la racine C2 et du nerf grand occipital, et au dysfonctionnement musculo-squelettique local. La cervicalgie et les céphalées s'aggravent souvent avec les mouvements de la tête et peuvent être exacerbées par la toux ou par la position "penchée en avant". Chez les patients atteints de malformation d'Arnold-Chiari et d'hydrocéphalie, la station debout peut aggraver l'hydrocéphalie et provoquer des céphalées. Troubles de l'équilibre de type vestibulaire (crises vertigineuses) ou syndrome cérébello-bulbaire.

3. Formes compliquées :

L'occipitalisatin de l'atlas peut être associée a des complications diverses :

-Complications Neurologiques :

- Compression médullaire (myélopathie) si diamètre du trou occipital <19 mm, causant parésies spastiques, ataxie et signes sensitifs (signe de Lhermitte).[35]
- Malformation de Chiari type I ou syringomyélie (dans 1/3 des cas), avec hydrocéphalie obstructive et blocage du LCR.[36]
- Atteinte du tronc cérébral ou cervelet : vertiges sévères, troubles de la marche, paralysie des nerfs crâniens inférieurs.[37]

-Complications Vasculaires :

- Insuffisance vertébro-basilaire due à compression des artères vertébrales lors de mobilisations cervicales, menant à AVC ischémiques ou embolies.
- Risque accru lors de manipulations forcées (chirurgie, anesthésie), avec ischémie cérébelleuse ou encéphalique[38]

-Complications Squelettiques et Musculaires :

- Instabilité atlanto-axoïdienne associée, favorisant luxations traumatiques ou subluxations chroniques.[39]
- Cou court, lordose cervicale compensatoire ou cyphose cranio-cervicale "swan neck", avec dégénérescence accélérée des vertèbres inférieures.[40]
- Torticolis congénital ou raideur irréversible si fusions multiples (Klippel-Feil).

Radiologie :

L'occipitalisation de l'atlas se révèle sur une radiographie de profil, sur laquelle on observe la fusion complète de l'arc antérieur du C1 avec l'os occipital, pouvant être associée à une réduction du diamètre antéropostérieur du foramen magnum (< 19 mm).[41]

La TDM axiale multiplanaire en coupe avec reconstruction sagittales et coronales en fenetre osseuse montre la continuité du tissu osseux entre l'atlas et le crâne, l'absence de ligne de séparation C0-C1 et l'éventuelle présence d'autres fusions vertébrales. Elle permet également la mise en place des principaux repères, qui évaluent les déplacements et les asymétries dans les 03 plans.

L'IRM multiparamétrique (T1, T2, T1-C+) confirme la nature osseuse de la fusion et permet d'évaluer les tissus mous ; présence d'un pannus qui s'intensifie après injection de gadolinium, compression médullaire éventuelle et signal du liquide céphalorachidien. Les coupes sagittales et coronales sont essentielles pour mesurer le canal rachidien et détecter une myélopathie. [42]

Variétés radiologiques en TDM :

Classification morphologique :

Plusieurs structures anatomiques de l'atlas (L'arc antérieur, les deux masses latérales et l'arc postérieur) peuvent être le siège de la fusion, on peut avoir des formes mixtes ou il existe plus d'un point de contact atlanto-occipitale. [43]

En TDM, cela se traduit par :

- Pont osseux entre atlas et occiput ; Il s'agit de la forme segmentaire
- Disparition de l'interligne atlanto-occipital, la C1 est donc inidentifiable ; c'est l'assimilation de l'atlas (fusion compléte)
- On peut également avoir des atteintes bilatérales aussi que unilatérales[44]

Variétés radiologiquesdu nevraxe en IRM :

Types d'anomalies visibles en IRM :

1. Compression neurologique :

- Compression bulbo-médullaire pouvant donner une myélopathie compressive
- Réduction du diamètre du canal rachidien par diminution du diamètre foramen magnum (< 25 mm)[45]

2. Anomalies associées du névraxe :

- Invagination basilaire : c'est Ascension de l'odontoïde dans le foramen magnum (hypersignal en T2) dont le diagnostic radiologique repose sur la ligne de Chamberlain, la ligne de McGregor et la ligne de Fischgold.[46]
- Malformation de Chiari visible en coupe sagittale de l'IRM ; on voit une descente des amygdales cérébelleuses ≥ 5 mm[47]
- La Syringomyélie qui résulte de la pénétration du LCR sous-arachnoïdien dans la moelle épinière par les espaces périvasculaires, sous l'effet de vagues de pression pulsatiles du LCR amplifiées par le mouvement de piston des amygdales cérébelleuses herniées dans l'espace sous-arachnoïdien spinal. Un excès de liquide extracellulaire s'accumule et se regroupe pour former une syringomyélie.[48]
- Hydrocéphalie : résultat de la perturbation de la circulation de LCR[49]

Paramètres craniométriques utilisés (TDM + IRM) :

La craniométrie permet d'évaluer :

- la position de l'odontoïde
- la réduction du foramen magnum
- la bascule basilaire associée

Lignes et angles essentiels :[50]

1. Ligne de Chamberlain

Du bord postérieur du palais dur jusqu'au bord postérieur du foramen magnum (l'opisthion). Elle permet de détecter une invagination basilaire, que l'on considère comme présente lorsque l'extrémité du dens se situe à plus de 3 mm au-dessus de cette ligne

2. Ligne de McGregor

La ligne de McGregor est une variante de la ligne de Chamberlain ; elle est utilisée pour évaluer l'invagination basilaire lorsque l'opisthion n'est pas visible sur les radiographies standard.
Elle désigne une ligne reliant le bord postérieur du palais dur au point le plus caudal de la courbe occipitale. Si la pointe du dens se situe à plus de 4,5 mm au-dessus de cette ligne, cela indique une invagination basilaire.

3. Ligne de McRae

La ligne de McRae est une ligne radiographique tracée sur une radiographie latérale du crâne ou sur une coupe sagittale médiane obtenue par tomodensitométrie ou IRM, qui relie les bords antérieur et postérieur du foramen magnum (du basion à l'opisthion).

indique la présence d'une invagination basilaire (impactation atlanto-axiale) : la pointe du processus odontoïde se situe normalement à environ 5 mm en dessous de cette ligne ; on diagnostique une invagination basilaire lorsque la pointe franchit cette ligne.

4. Ligne de Wackenheim

Egalement appelée ligne du canal clivus ou ligne basilaire, peut être utilisée pour évaluer la dissociation atlanto-occipitale. Elle correspond au prolongement caudal d'une ligne tracée le long du cortex postérieur du clivus sur les radiographies latérales de la colonne cervicale .

Sur les radiographies latérales du rachis cervical :

normalement, l'extrémité de la dent est ventrale et tangentielle à cette ligne

En cas d'invagination basilaire, le processus odontoïde se trouve au-dessus de cette ligne

En cas de luxation atlanto-occipitale postérieure, la ligne s'étendra en arrière du processus odontoïde

En cas de luxation atlanto-occipitale antérieure, la ligne s'étendra à travers le centre du processus odontoïde ou plus en avant.

5. Ligne de Fishgold

Autrement appelée « ligne digastrique ».

Elle est tracée entre les sillons digastriques droit et gauche, situés en position médiale par rapport aux sommets des mastoïdes. La position relative de ces derniers est considérée comme constante. La distance entre cette ligne digastrique et la pointe du dens, d'une part, ou une ligne coupant en deux les articulations atlanto-occipitales, d'autre part, a été estimée respectivement entre 11 mm et 10 à 12 mm. Une distance mesurée inférieure à ces seuils peut suggérer une invagination basilaire.

6. Ligne bimastoidienne

La ligne bimastoïdienne relie les extrémités inférieures des apophyses mastoïdes des deux côtés. L'extrémité de l'apophyse odontoïde de C2 dépasse normalement de 10 mm ou moins au-dessus de cette ligne. On parle d'invagination basilaire lorsque l'extrémité de l'apophyse odontoïde dépasse de plus de 10 mm au-dessus de cette ligne.

7. L'angle basal de Welcker

Formé entre la ligne nasion-tubercule et la ligne basion-tubercule, dépasse 140° lorsque la base du crâne présente un aplatissement anormal, phénomène connu sous le nom de platybasie.

Lésions associées :

La charnière occipito-cervicale peut présenter une multitude d'anomalies pouvant intéresser toutes les structures anatomiques locales et s'associant selon des combinaisons et des degrés divers[51].

a. Les malformations osseuses de la charnière cranio-vertébrale :

Elles peuvent être majeurs responsable de sténose canalaire et de compression neurologique ou être mineurs sans gravité notable mais qui peuvent prêter confusion avec d'autres

anomalies notamment traumatiques. Les malformations les plus graves et les plus fréquentes sont :

- **Impression basilaire :** La plus fréquente, correspond à l'enfoncement dans le crâne du pourtour du foramen magnum. C'est une anomalie de la jonction entre la base du crâne et la colonne vertébrale ou le sommet de la colonne cervicale (le processus odontoïde) remonte dans le foramen magnum[52].
- **Blocs cervicaux :** Fusion d'une ou de plusieurs vertèbres cervicales, pouvant réaliser le syndrome de Klippel-Feil. Le syndrome Klippel-Feil (SKF) est un syndrome rare. Il est caractérisé principalement par l'union incorrecte ou la fusion de deux vertèbres cervicales ou plus. Les symptômes associés à ce syn[53]drome varient énormément d'une personne à l'autre, il peut être associe à d'autres malformations (surdité ou agénésie rénale)[54].
- **Anomalies de l'odontoïde** : Il peut être hypoplasique ou totalement détaché du corps de l'axis. Les anomalies de l'odontoïde (processus odontoïde) peuvent inclure l'os odontoïdeum (un fragment d'os séparé), une rétro pulsion (inclinaison vers l'arrière) ou des fractures[55].
  Ces anomalies, qui peuvent être congénitales ou acquises, sont souvent associées à une instabilité de la jonction cervico-occipitale, entraînant des symptômes neurologiques[5657].
- **Dislocation atloïdo-axoïdienne** est un déplacement anormal de la première vertèbre cervicale (atlas) par rapport à la deuxième (axis), entraînant une instabilité de l'articulation atlanto-axoïdienne[58]. Elle peut être causée par des traumatismes, des malformations congénitales ou des maladies inflammatoires comme la polyarthrite rhumatoïde. Le principal risque est la compression de la corde spinale, qui peut entraîner des symptômes neurologiques graves tels que des douleurs, des troubles de la marche ou même une paralysie[59].
- **Spina bifida cervicale :** Il désigne un ensemble complexe de malformations congénitales associées à une formation incomplète des arcs vertébraux de la colonne vertébrale. Au cours du développement du fœtus, l'arc vertébral qui forme le toit du canal rachidien, recouvrant la moelle épinière et les nerfs, ne se forme pas complètement[60]. Les membranes de la colonne vertébrale, la moelle épinière et les nerfs sont ainsi exposés pendant le développement. Ce tissu vertébral exposé peut

faire saillie à travers le défaut de l'arc vertébral, entraînant une formation anormale et des dommages éventuels aux éléments neuronaux. D'une manière générale, il existe deux catégories de spina bifida : Spina bifida occulta et spina bifida aperta[61].

- **Déformation du foramen magnum** : Elargissement ou au contraire sténose, asymétrie des contours, déformation de ses bords. Elle peut entraîner une compression du tronc cérébral et de la moelle épinière, perturbant la circulation du liquide céphalo-rachidien, et est souvent associée à d'autres mal formations comme la malformation de Chiari. Les symptômes varient, incluant des maux de tête, des douleurs cervicales, une ataxie[62].
- **Autres malformations :** Hyperplasie du basi-occipital, des anomalies segmentaires comme le syndrome de Goldenhar, les les dysraphies crâniennes postérieures (fistules dermiques), des anomalies chromosomiques. Même en l'absence de malformations neurologiques associées, le risque de troubles neurologiques peut se voir et ceci soit directement par compression osseuse de la jonction bulbo-médullaire, soit indirectement, par anomalie méningée ou vasculaire[63]

b.Malformations nerveuses :

Elles sont plus pourvoyeuses de signes cliniques en particulier des troubles neurologiques.

- **Malformation d'Arnold Chiari :** C'est l'allongement et la position anormalement basse (au-dessous du trou occipital, dans le canal rachidien cervical) de la partie inférieure du tronc cérébral (bulbe et ½ inférieure du 4eme Ventricule) et d'une partie du cervelet (amygdales cérébelleuses)[64]. Ainsi, deux conséquences principales peuvent en résulter : la compression des structures nerveuses, et le blocage des voies d'écoulement du LCR avec hydrocéphalie. Chez environ 1 % de tous les adultes en bonne santé qui passent une imagerie par résonance magnétique (IRM) de la tête, on constate un déplacement caudal des amygdales cérébelleuses, c'est-à-dire un déplacement de parties du cervelet vers le bas dans le foramen magnum et le canal rachidien. Lorsque ce déplacement est supérieur à 5 mm, on parle de malformation de Chiari de type I. Toutefois, seuls 0,01 à 0,04 % des personnes atteintes présentent des symptômes[65].
- **Malformation de Dandy Walker :** Le syndrome Dandy-Walker est une malformation congénitale rare de la fosse cérébrale postérieure. Il se caractérise par un kyste dans la fosse cérébrale postérieure et le développement insuffisant (hypoplasie ou agénésie) du vermis cérébelleux, la partie centrale du cervelet. Cela peut entraîner une accumulation de liquide cérébro-spinal, provoquant une hydrocéphalie. Organisé par la triade anatomique suivante : Une dilatation kystique de quatrième ventricule, Une dysgénésie du vermis cérébelleux, Une position surélevée de la tente du cervelet[66]

Suivi et prise en charge :

L'occipitalisation de l'atlas est généralement asymptomatique et ne nécessite pas de traitement systématique, sauf en cas de symptômes neurologiques, instabilité ou compression médullaire. Le plan thérapeutique repose sur une évaluation clinique et radiologique pour guider une prise en charge conservatrice ou chirurgicale préventive avant interventions à risque (chirurgie maxillo-faciale, anesthésie).[67]

Traitement conservateur :

- Si des structures nerveuses sont comprimées, le traitement consiste en une réduction (par traction ou changement de position de la tête afin de réaligner les jonctions craniocervicales, permettant ainsi de soulager la compression neurale). Après la décompression, la tête et le cou sont immobilisés. Une compression médullaire aiguë ou rapidement progressive nécessite une décompression en urgence.
- Chez la plupart des patients, la réduction implique une traction squelettique par halo avec un poids pouvant aller jusqu'à 4 kg. La réduction par traction peut demander 5 à 6 jours. Si la réduction est obtenue, le cou est immobilisé dans un corset-halo pendant 8 à 12 semaines; des radiographies standards seront effectuées pour confirmer la stabilité.

Traitement chirurgical :

Il est la seule modalité thérapeutique qui permet d'obtenir une amélioration clinique appréciable dans le cadre des complications neurologiques de ces malformations.

Buts:

- Corriger l'anomalie osseuse et rétablir la stabilité de l'articulation.
- Lever la compression et supprimer la souffrance nerveuses bulbo médullaire et/ou cérébrale
- rétablir la circulation et la pression normale du LCR de la COV.

Modalités thérapeutiques:

- La décompression osseuse du trou occipital par craniectomie et laminectomie C1 (ou C1-C2) et élargissement dural est habituellement réalisée en cas de malformation de Chiari.
- -Dans l'invagination basilaire isolée et symptomatique, un abord trans-oral pourra être réalisé, souvent associé à une fixation occipito-cervicale (si nécessaire).
- Les formes mixtes relèvent, le plus souvent d'une décompression postérieure première, sous couvert d'une fixation postérieure éventuelle. -

Drainage en cas de syringomyélie (syringo-péritonéale ou syringo-sous-arachnoidien).

- Intervention de dérivation du LCR en cas d'hydrocéphalie (dérivation ventriculo-péritonéale**)**

Indications chirurgicales : Les choix thérapeutiques se déterminent selon les formes cliniques et anatomiques en présence :

- Une malformation radiologiquement importante mais asymptomatique ou de découverte fortuite, une simple surveillance sera instaurée.
- Inversement, un déficit neurologique amène à considérer précocement l'indication chirurgicale.[68]

Partie pratique :

Introduction :

La charnière cranio-vertébrale constitue un trait d'union entre la base du crâne et le rachis cervical ainsi qu'entre le tronc cérébral et la moelle épinière.

L'imagerie moderne a totalement modifié l'approche diagnostique, la scanographie et l'IRM étant devenues les deux techniques de référence pour l'étude de la charnière cranio-vertébrale. La radiologie conventionnelle garde une place importante en traumatologie et en rhumatologie. L'imagerie moderne en coupes est une imagerie statique et la radiographie conventionnelle est la seule qui permette une analyse dynamique précise de cette région. Les données radio-anatomiques de la charnière cervico-occipitale reposent d'une part, sur l'analyse des structures osseuses, ligamentaires, musculaires, nerveuses et vasculaires et, d'autre part, sur l'étude de la topographie et de la morphologie des différentes structures (craniométrie).

Objectif :

Recherche de cas d'occipitalisation de l'Atlas et son impact sur la région cranio-rachidienne.

Imagerie :

a. Radiographie de la charnière occipito-cervicale :

- Rechercher des anomalies osseuses (première
- approche).
- Etude dynamique (recherche une instabilité).
- La craniométrie de la charnière occipito-cervicale, fondée sur de multiples lignes, mensurations et repères, apprécie les déformations et les déplacements dans les trois directions : antéro-postérieure, ascendante-descendante et transversale.

Les incidences :

- Profil : centrée sur la charnière

- Face : bouche ouverte

- Dynamique : flexion / extension

b. TDM :

Elle explore mieux les structures osseuses et moins bien les structures ligamentaires et le contenu du trou occipital (par ses modalités multicoupes, ses coupes fines millimétriques et les reconstructions multiplanaires).

c. IRM :

Elle explore mieux les anomalies nerveuses. Elle apprécie l'importance des malformations nerveuses et leurs retentissements sur le névraxe. Et elle permet l'étude des structures ligamentaires et la cinétique du LCR et le rapport contenant- contenu au niveau de la jonction bulbo-médullaire.

- Craniométrie de la charnière occipito-vertébrale de « FACE »

- La ligne bi mastoïdienne de Fishgold : obtenue en réunissant la pointe des mastoïdes. Elle passe normalement par les articulations occipito- atloïdiennes et la pointe de l'odontoïde qui peut la dépasser de quelques millimètres.

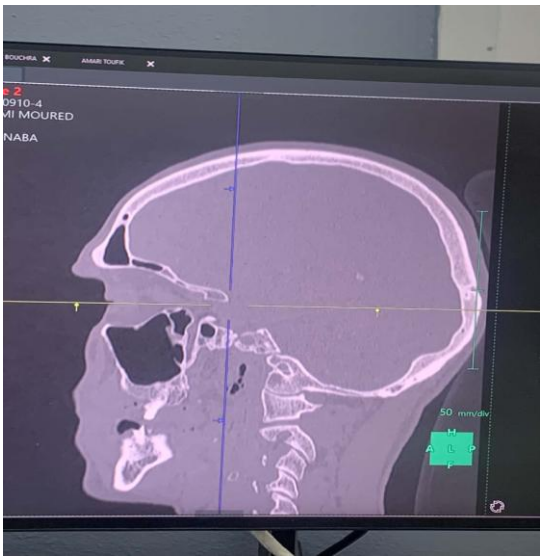
- Ligne bi-digastrique de Fishgold : obtenue en réunissant les deux rainures digastriques (union mastoïde et bas du crâne), passe normalement 1,5 cm au-dessus des articulations occipito-atloïdiennes et du somment de l'odontoïde.

- Craniométrie de la charnière occipito-vertébrale de « PROFIL »

- La ligne de Chamberlain : unit le bord postérieur du palais osseux au bord postérieur du trou occipital. A l'état normal, le sommet de l'odontoïde et l'arc antérieur de l'atlas restent au-dessous de cette ligne.

- Ligne de Mac Gregor : est utilisée en cas de difficulté à situer le bord postérieur du trou occipital. Cette ligne s'étend entre le bord postérieur du palais osseux et le point le plus déclive de l'écaille occipitale. Tout déplacement du sommet de l'odontoïde de plus de 5 mm au-dessus de cette ligne est considérée comme pathologique.

- Ligne basilaire de Wackenheim : elle prolonge vers le bas la tangente au clivus, affleure chez un sujet normal le bord supérieur de l'odontoïde. Elle apprécie le déplacement antéro - postérieur de l'odontoïde[6970].



Coupe sagittale d'une TDM normale

Méthodologie :

1. Matériel :

Nous avons travaillé avec un échantillon de 35 patients

2. Déroulement de l'étude :

Notre travail sera fait sur deux volets

- Des scanners de la charnière :

Ils se dérouleront avec les modalités suivantes :

-Réception du patient

-Informer le patient sur le déroulement de l'examen

-Informer le patient que son scanner va être utilisé pour étude de recherche

-Obtenir son consentement

-Vérifier la fonction rénale

- Bonne voie veineuse

- Positionnement du patient

- Protocoles d'examen :

- Acquisition sans injection de produit de contraste

- Acquisition artérielle a l'angioscanner lorsqu'on suspecte une mal formation vasculaire associée.

- Acquisition au temps veineux à 60 secondes si nécessité

- Acquisition tardive à 10 minutes si anomalies artérielles

-Faire le traitement des scanners[71].

-C'est la mesure de la craniométrie de la charnière cranio-vertebraleoccipito- cervicale :

- Sur le plan frontal (Face) :

- Ligne bi-mastoïdienne
- Ligne bi-digastique de Fishgold

- Sur le plan sagittal (profil)

- Ligne de Mac Rae
- Ligne de Chamberlain
- Ligne de Mac Gregor

3. Critères d'inclusion :

Tous les patients consultants pour scanner cérébro-cervicale pour

symptomatologies diverse, ayant un dossier médical.

Soit pour untraumatisme cranien,suspiscion d attaque vasculaire

cerebral (AVC) ou pour bilan d'extension.

4. Critères de non inclusion :

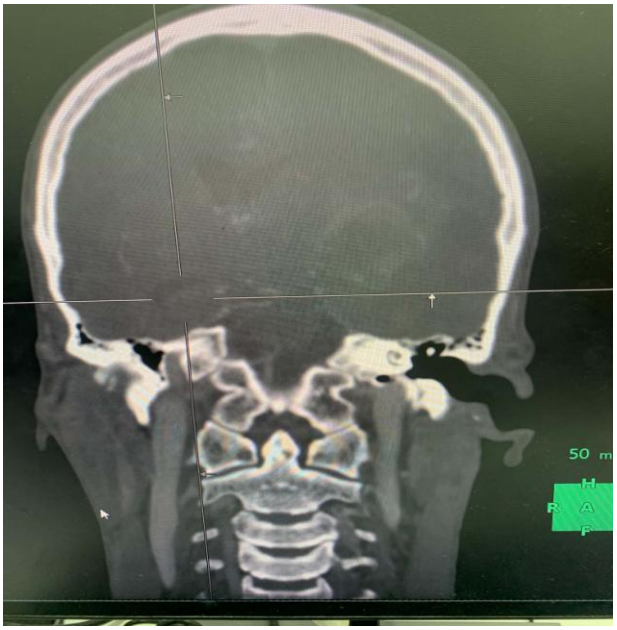
Les patients sans orientation et les enfants

5. Traitement des données :

Nous avons fait une analyse statistique des données sur Excel et SPSS.

6. Méthode :

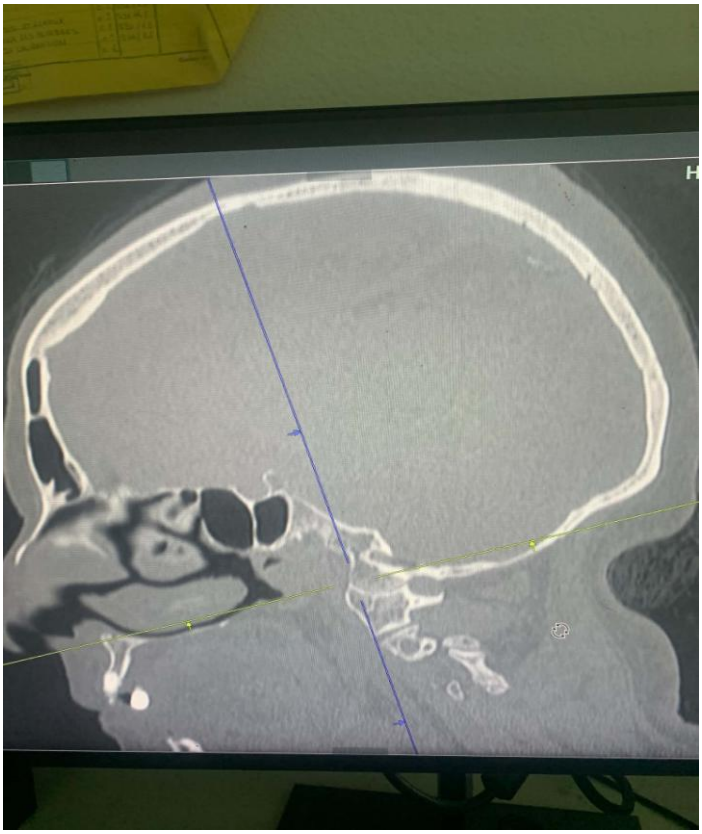
Il s'agit d'une étude progressive, transverse sur 35 patients ; étendue entre le 1er juillet jusqu'au 10 septembre 2026.



Coupe coronale d'une TDM dans les normes



Coupe coronale d'une TDM présentant une hémi fusion gauche



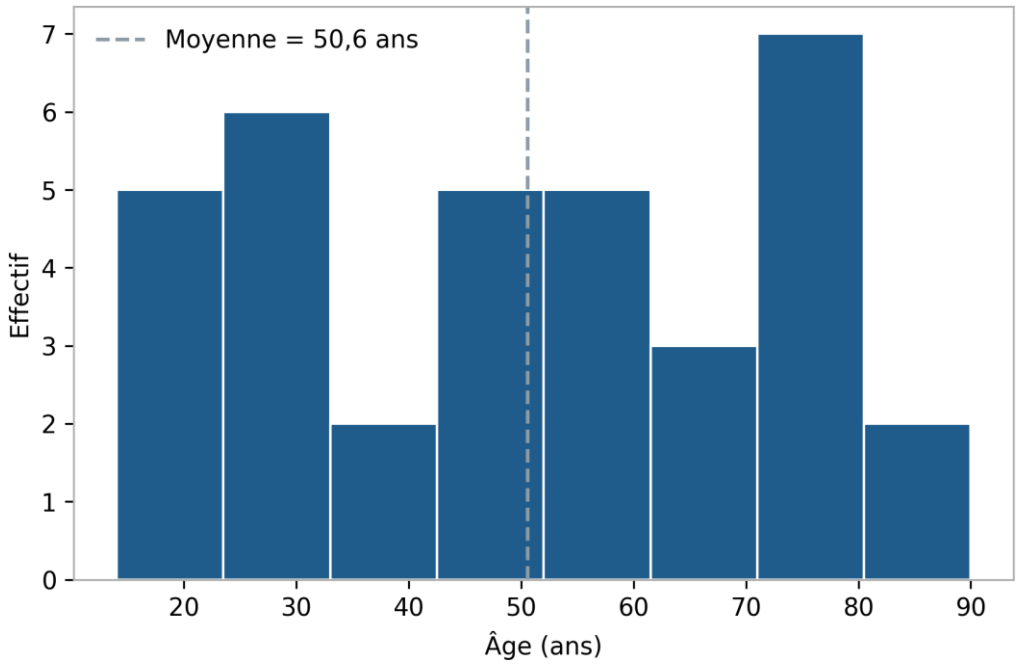
Coupe sagittale d'une TDM présentant une hémi fusion gauche

Analyse descriptive des paramètres cliniques et radiologiques de la jonction crânio-vertébrale (N = 35) :

1. Répartition selon l'âge

Tableau I : Distribution de l'âge des patients (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Âge (ans)	35	50,6 ± 22,1	49,0 [14 - 90]



L'âge moyen des patients était de 50,6 ± 22,1 ans (médiane 49,0 ans, extrêmes 14 - 90 ans). 1 patient(s) sur 35 avai(en)t moins de 18 ans.

2. Répartition selon le sexe

Tableau II : Répartition des patients selon le sexe (N = 35)

Sexe	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Masculin	18	51,4
Féminin	17	48,6
Total	**35**	**100,0**



Figure 2 : Répartition des patients selon le sexe

La série comportait 18 hommes (51.4 %) et 17 femmes (48.6 %), soit un sex-ratio H/F de 1.06, traduisant une légère prédominance masculine.

4. Antécédents et comorbidités

Tableau III : Antécédents pathologiques des patients (N = 35, réponses multiples possibles)

Antécédent	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Sans antécédent (RAS)	14	40,0
HTA	13	37,1
Diabète	7	20,0
Arthrose	6	17,1
Sinusite	3	8,6
Tumeur / néoplasie	2	5,7
Asthme	1	2,9
Vertiges	1	2,9
Brûlures	1	2,9
HIV	1	2,9

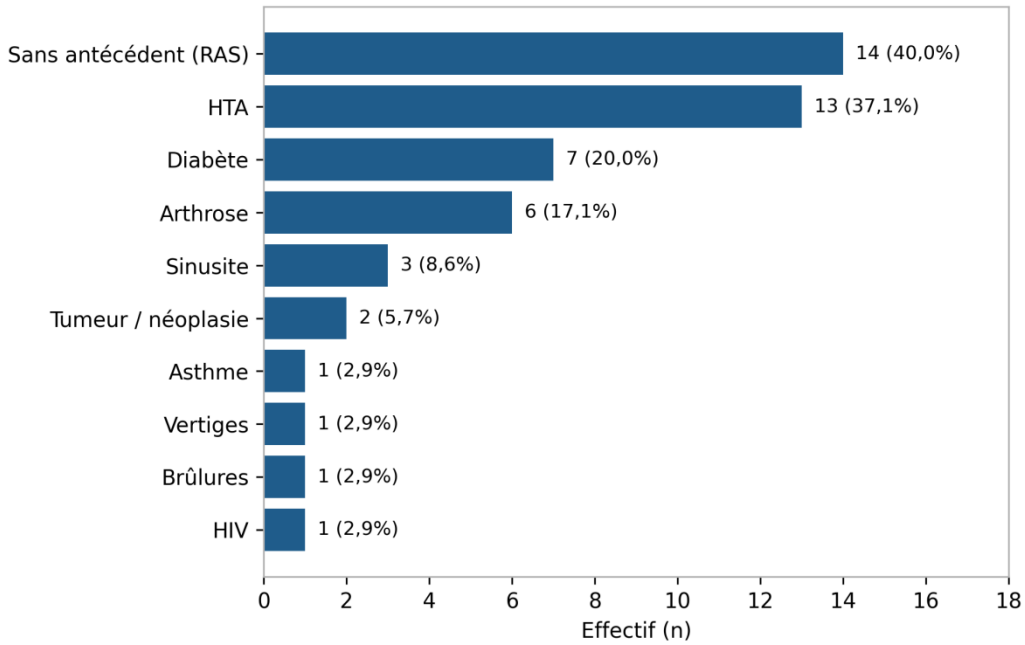


Figure 3 : Antécédents pathologiques des patients

14 patients (40.0 %) ne présentaient aucun antécédent pathologique notable (RAS). Parmi les comorbidités retrouvées, HTA était la plus fréquente, présente chez 13 patients (37.1 %). Plusieurs patients cumulaient plusieurs comorbidités, ce qui explique que la somme des pourcentages dépasse 100 %.

4. Circonstance de découverte

Tableau IV : Circonstance de découverte (N = 35)

Circonstance	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Traumatisme	16	45,7
Bilan d'exploration (AVC)	14	40,0
Bilan d'exploration (autre)	4	11,4
Exploration d'une collection	1	2,9
Total	**35**	**100,0**

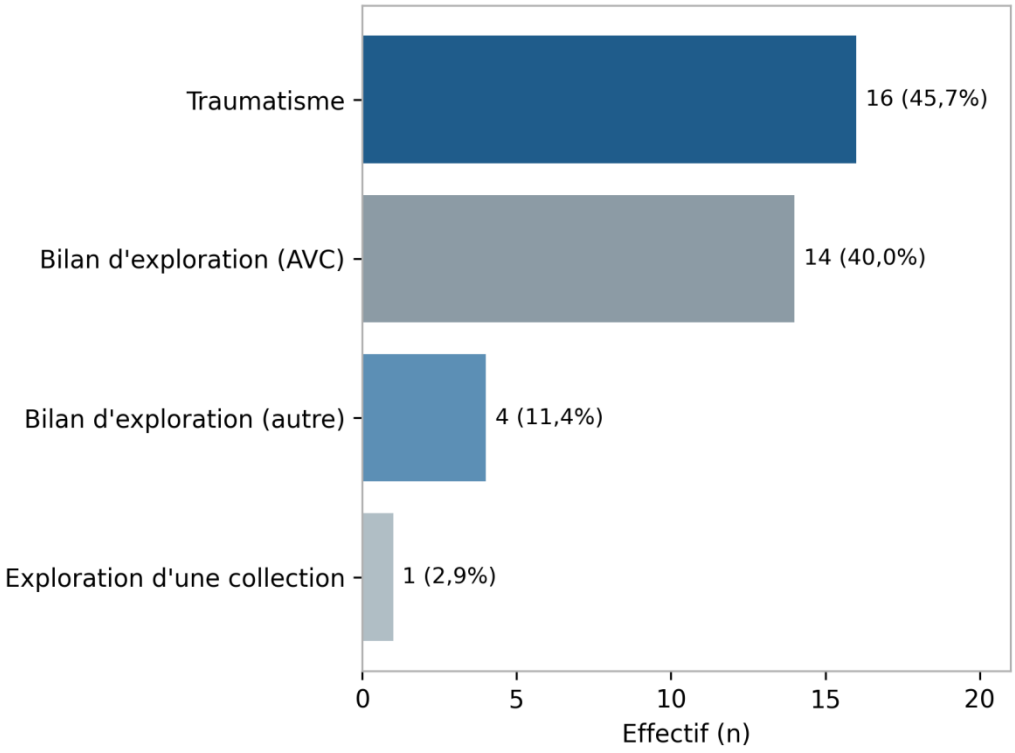


Figure 4 : Circonstance de découverte

La circonstance de découverte la plus fréquente était « Traumatisme », retrouvée chez 16 patients (45.7 %).

5. Indice de masse corporelle (IMC)

Tableau V : Distribution de l'IMC (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
IMC (kg/m²)	35	26,1 ± 3,5	25,7 [19.1 - 33.7]

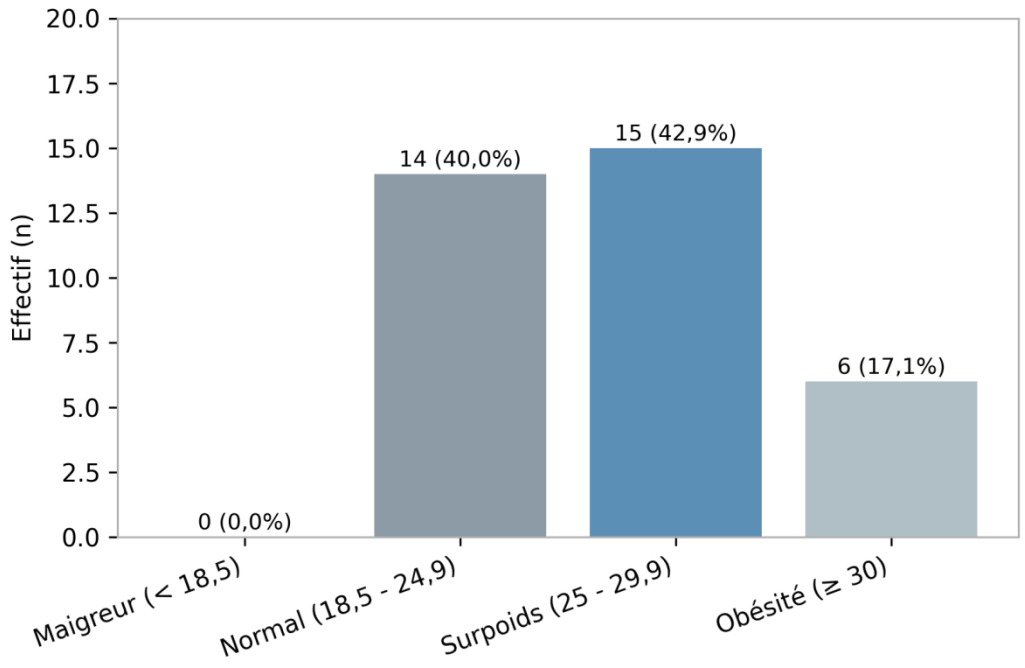


Figure 5 : Répartition des patients selon les catégories OMS de l'IMC

L'IMC moyen était de 26,1 ± 3,5 kg/m² (médiane 25,7, extrêmes 19.1 - 33.7). Selon la classification de l'OMS, la catégorie « Surpoids (25 - 29,9) » était la plus représentée, avec 15 patients (42.9 %).

6. Ligne de Chamberlain (mm)

Tableau VI : Distribution de la Ligne de Chamberlain (mm) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Ligne de Chamberlain (mm)	35	2,5 ± 1,9	2,2 [0.0 - 7.1]

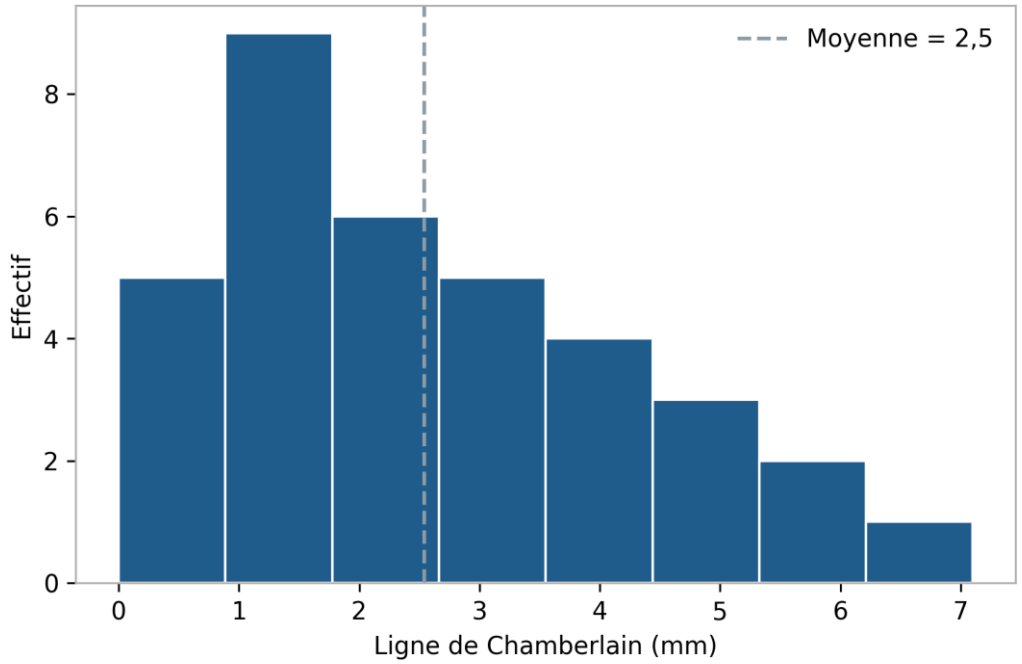


Figure 6 : Distribution de la Ligne de Chamberlain (mm)

La ligne de chamberlain (mm) présentait une valeur moyenne de 2,5 ± 1,9 (médiane 2,2, extrêmes 0.0 - 7.1), calculée sur 35 mesures valides.

7. Ligne de McGregor (mm)

Tableau VII : Distribution de la Ligne de McGregor (mm) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Ligne de McGregor (mm)	35	2,7 ± 1,7	2,3 [0.0 - 6.9]

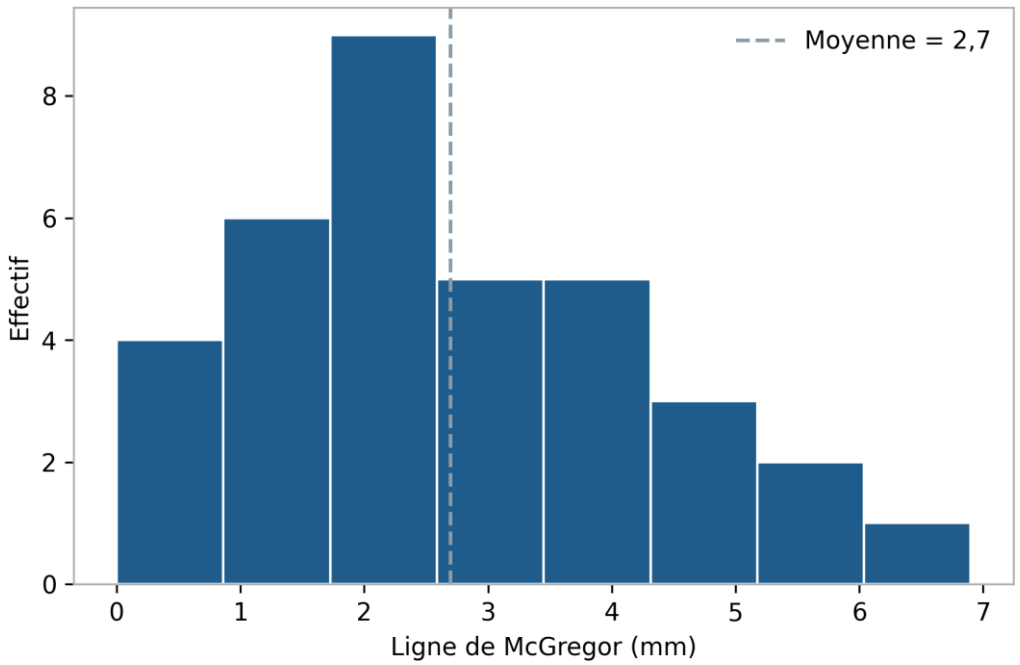


Figure 7 : Distribution de la Ligne de McGregor (mm)

La ligne de mcgregor (mm) présentait une valeur moyenne de 2,7 ± 1,7 (médiane 2,3, extrêmes 0.0 - 6.9), calculée sur 35 mesures valides.

8. Ligne de McRae (mm)

Tableau VIII : Distribution de la Ligne de McRae (mm) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Ligne de McRae (mm)	35	4,0 ± 1,8	4,0 [0.0 - 7.3]

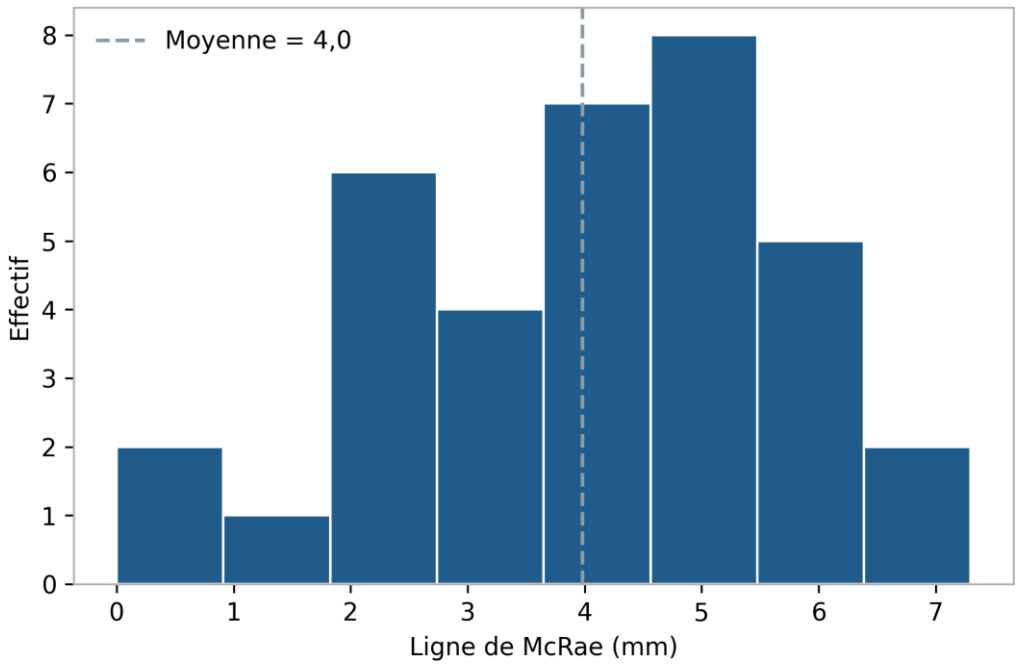


Figure 8 : Distribution de la Ligne de McRae (mm)

La ligne de mcrae (mm) présentait une valeur moyenne de 4,0 ± 1,8 (médiane 4,0, extrêmes 0.0 - 7.3), calculée sur 35 mesures valides.

9. Ligne bimastoïdienne (mm)

Tableau IX : Distribution de la Ligne bimastoïdienne (mm) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Ligne bimastoïdienne (mm)	35	5,7 ± 3,1	5,8 [0.0 - 11.0]

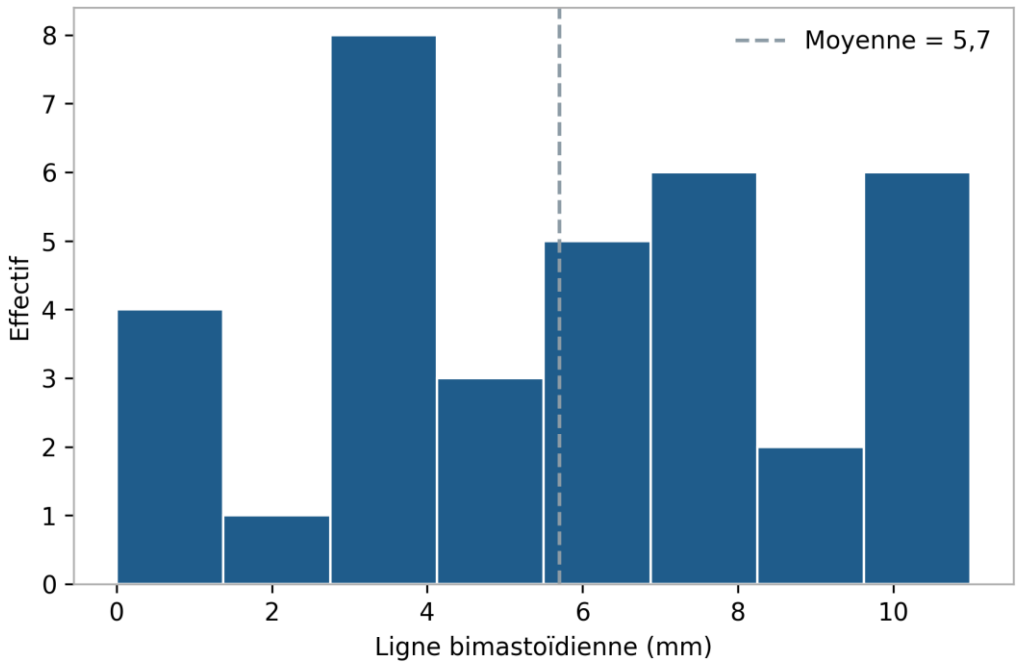


Figure 9 : Distribution de la Ligne bimastoïdienne (mm)

La ligne bimastoïdienne (mm) présentait une valeur moyenne de 5,7 ± 3,1 (médiane 5,8, extrêmes 0.0 - 11.0), calculée sur 35 mesures valides.

10. Ligne digastrique (mm)

Tableau X : Distribution de la Ligne digastrique (mm) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Ligne digastrique (mm)	35	14,2 ± 7,4	15,0 [2.0 - 29.0]

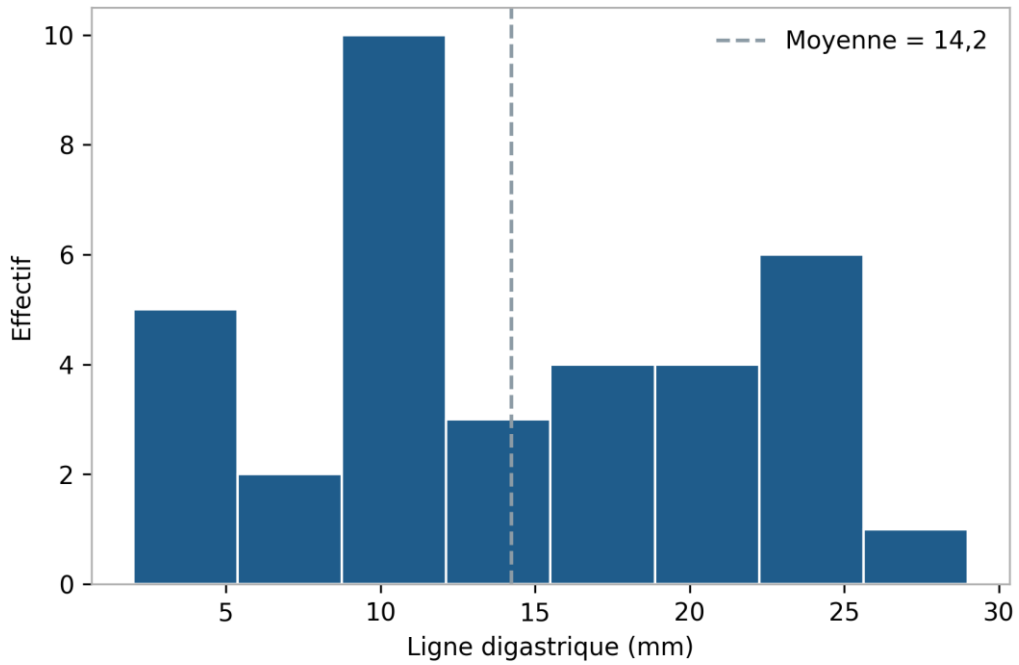


Figure 10 : Distribution de la Ligne digastrique (mm)

La ligne digastrique (mm) présentait une valeur moyenne de 14,2 ± 7,4 (médiane 15,0, extrêmes 2.0 - 29.0), calculée sur 35 mesures valides.

11. Angle de Welcker (°)

Tableau XI : Distribution de la Angle de Welcker (°) (N = 35)

Paramètre	Effectif valide (n)	Moyenne ± Écart-type	Médiane [Min - Max]
Angle de Welcker (°)	35	126,3 ± 7,5	127,0 [112.0 - 139.0]

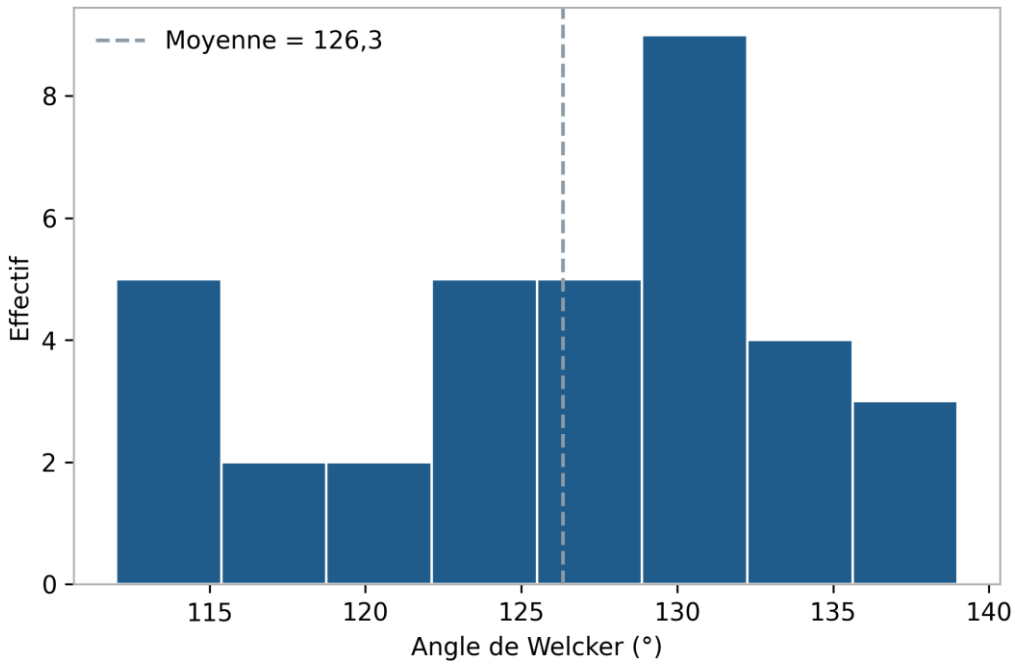


Figure 11 : Distribution de la Angle de Welcker (°)

La angle de welcker (°) présentait une valeur moyenne de 126,3 ± 7,5 (médiane 127,0, extrêmes 112.0 - 139.0), calculée sur 35 mesures valides.

9. Ligne de Wackenheim

Tableau XII : Aspect de la ligne de Wackenheim (N = 35)

Aspect	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Tangentielle	35	100,0
Total	**35**	**100,0**

L'ensemble des 35 patients de la série présentait une ligne de Wackenheim de rapport tangentiel, sans variation observée dans cette cohorte ; aucune figure n'est donc présentée pour ce paramètre.

13. Symptômes

Tableau XIII : Symptômes rapportés par les patients (N = 35, réponses multiples possibles)

Symptôme	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Céphalées	18	51,4
Céphalées occipitales	6	17,1
Déficit du membre supérieur	4	11,4
Raideur de la nuque	2	5,7
Paresthésie du membre supérieur	1	2,9
Otalgie	1	2,9
Douleur cervicale	1	2,9
Fièvre	1	2,9
Toux sèche	1	2,9
Paresthésies du membre inférieur	1	2,9
Douleurs rachidiennes	1	2,9
Syndrome infectieux	1	2,9
Troubles de la conscience	1	2,9
Déficit moteur du membre inférieur	1	2,9

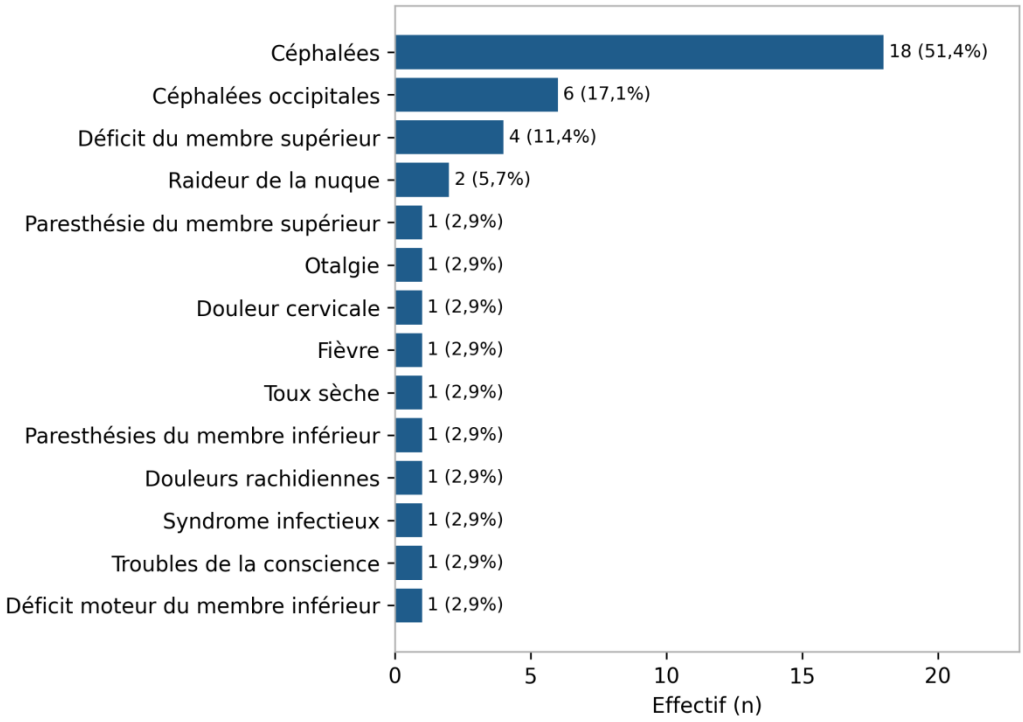


Figure 12 : Symptômes rapportés par les patients

Le symptôme le plus fréquemment rapporté était « Céphalées », retrouvé chez 18 patients (51.4 %). Plusieurs patients présentaient une association de symptômes, la somme des pourcentages dépassant ainsi 100 %.

14. Type de fusion

Tableau XIV : Présence d'une fusion (N = 35)

Modalité	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Absence de fusion	34	97,1
Fusion présente	1	2,9
Total	**35**	**100,0**

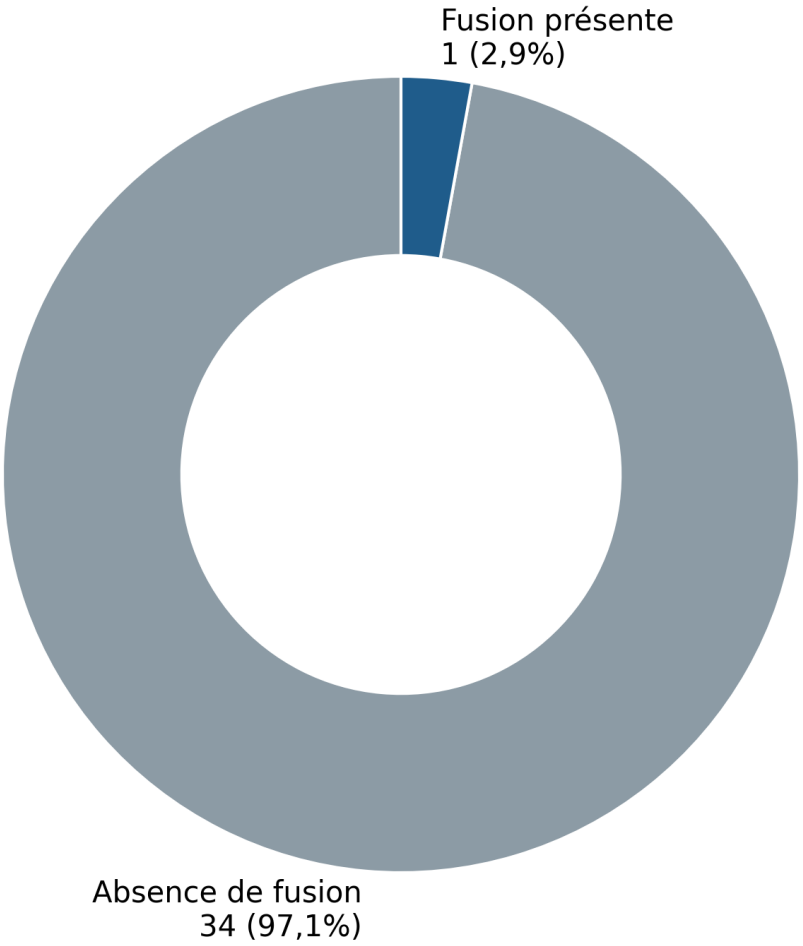


Figure 13 : Présence d'une fusion osseuse

Une fusion osseuse était présente chez 1 patient(s) sur 35 (2.9 %), de type « fusion unilatérale gauche (type4) ». Les 34 autres patients (97.1 %) ne présentaient aucune fusion.

Discussion :

Notre série comporte 35 patients explorés pour suspicion d'anomalie de la jonction crânio-vertébrale (JCV) dans le cadre d'une occipitalisation de l'atlas. Cette discussion confronte nos principaux résultats démographiques, cliniques et radiologiques aux données de la littérature internationale.

1. Profil démographique

L'âge moyen de nos patients était de 50,6 ± 22,1 ans (médiane 49 ans, extrêmes 14–90 ans). Cette dispersion reflète le caractère souvent tardif et fortuit du diagnostic des anomalies de la JCV :

L'occipitalisation de l'atlas est une anomalie congénitale qui reste fréquemment silencieuse pendant de nombreuses années, environ la moitié des cas rapportés dans la littérature n'étant découverts qu'à l'âge adulte [72] [73]. Notre moyenne d'âge est de 50,6 ans. Sur le plan du sexe, notre série retrouvait une quasi-parité (51% hommes, 48% femmes ; sex-ratio 1,06), concordante avec l'absence de prédominance sexuelle nette classiquement décrite pour cette anomalie [74] .

2. Antécédents et corpulence

Quarante pour cent de nos patients ne présentaient aucun antécédent notable, l'hypertension artérielle étant la comorbidité la plus fréquente (37,1 %), et l'IMC moyen se situait dans la catégorie surpoids (26,1 ± 3,5 kg/m²). Ces éléments reflètent avant tout le profil démographique général de notre population plutôt qu'une association physiopathologique spécifique avec l'occipitalisation de l'atlas, la littérature ne rapportant pas de lien établi entre cette anomalie congénitale et ce type de comorbidités [75]

3. Circonstances de découverte et clinique

Le traumatisme était le mode de découverte le plus fréquent (45,7 %), ce qui rejoint les données de la littérature soulignant que les anomalies de la JCV sont volontiers découvertes de façon fortuite sur une imagerie réalisée en contexte traumatique [76]. Sur le plan symptomatique, les céphalées constituaient le symptôme le plus fréquent (51,4%), cohérent avec les données publiées où la douleur cervico-occipitale et les céphalées figurent parmi les manifestations les plus constantes des formes symptomatiques[77] [78].

4 . Les paramétres craniométriques étaient dans les normes

5.L'occipitalisation de l'atlas est retrouvée à 2.9% dans notre série de type unilatéral gauche. Ce chiffre est cohérent avec la prévalence de l'assimilation atlanto-occipitale authentique rapportée dans la population générale, estimée entre 0,08 % et 2,8 % [79],[80] et avec la description classique des formes partielles unilatérales comme l'une des présentations les plus fréquentes de cette anomalie[81] .

Conclusion :

Notre étude est consacrée à une variantes anatomiques (occipitalisation de l'Atlas). Il s'agit de la fusion de l'occiput avec la 1ére vertèbre. Elle peut être isolée et asymptomatique, ou associée à d'autres anomalies de la charnière craniovertebrale ou à des complications. On a retrouvé la fusion dans 2,9% des cas.

Bibliographie :

[1]Bouchet. A,J.Cuieret. Anatomie topographique,descriptine .et fonctionnelle. Le cou,2e Edition simep .1978.p25.

[2] Himiche M,Thèse de chirurgie .Anatomie chirurgicale de la charniere cervico-occipitale.2012.

[3] Khonsari RH, Corre P, Perrin JP. Développement et malformations de la charnière cranio-rachidienne. Rev Orthop Dento-Faciale. déc 2007;41(4):381-92

[4] Larsen W, Schoenwolf G, Brauer PR, Francis-West P. Embryologie humaine de Larsen. 4e éd. De Boeck Supérieur ; 2017. 560 p.

[5] *Gavalas A, Davenne M, Lumsden A et al. Role of Hoxa-2 in axon pathfinding and rostral hindbrain patterning.* Development (Cambridge, England), *Development 124: 3693–3702. (1997).*

[6] Langman .J.Abregé d'Embryologie medicale.Edition Masson.1976.P455

[7] Pansky Ben.Embryologie humaine.Edition Ellipses.1986.P523

[8] Poirier Jacques.Cohen Isabelle.Baudet Jean.Embryologie humaine.Edition Maloine Paris1985.P281

[9] Encha-Razavi.Escudier E.Abregés d'Embryologie humaine de la molecule a la clinique.Edition Masson2003-P328

[10] Picard .JElements d'Embryoloie medicale Université Catholique de Louvain.1983.P 467.

[11] Poirier J., Catala M., Poirier I. et Baudet J., 2005. Leçons d'embryologie humaine. Collection "Sciences Fondamentales".4ème édition. Ed. MALOINE, Paris, 327p.

[12] Chevrel. JP,C Fontaine .Anatomie clinique.Tete et cou.Edition Springer.1995-p31-33.

[13] Rouvière Henri.André Delmas-Anatomiehumaine.Descriptive,topographique et fonctionnelle-Edition Masson Paris–15eEdition- Tome 1–Tete et cou.Edition *MASSON* ; Date de publication, 26 sept. 2002.P 160.

[14] Bouchet.A.Cuilleret.J-Anatomie topographique,descriptive et fonctionnelle.Le cou.2eme Edition .Edition Simep.1978.P240

[15] Kamina P,Tome 3 ;Anatomie clinique :tete et cou. Date de parution.2014 Maloine p90.

[16] Testut.L, A. Latarjet-Traité d'anatomie humain.Collection books by language (1949) Vol. 4- p149.

[17] Bodon G, Choi PJ, Iwanaga J, Tubbs RS. The atlanto-occipital joint: a concise review of its anatomy and injury. Anatomy. 2017;11(3):141-5

[18] Strickland B, Lewis CS, Pham MH. Bilateral Vertebral Artery Occlusion AfterCervical Spine Fracture Dislocation. World Neurosurg. 2019 Apr;124:304- 309. [PubMed]

[19] Harnsberger HR, Osborn AG, Ross JS, Moore KR, Salzman KL, Carrasco CR, Halmiton BE, Davidson HC, Wiggins RH. Diagnostic and Surgical Imaging Anatomy: Brain, Head and Neck, Spine. 3rd ed. Salt Lake City, Utah. Amirsys. 2007.

[20] Dastagirzada, Y. M., Kurland, D. B., Hankinson, T. C., & Anderson, R. CE. (2023). Craniovertebral
junction instability in the setting of Chiari malformation. Neurosurgery Clinics of North America, 34(1),
131142. https://doi.org/10.1016/j.nec.2022.09.006

[21] Brito, J. N. P. de O., Santos, B. A. dos, Nascimento, I. F., Martins, L. A., & Tavares, C. B. (2019).
Basilar invagination associated with Chiari malformation type I: A literature review. Clinics, 74, e653.
https://doi.org/10.6061/clinics/2019/e653

[22] UFO Themes. (2016, juillet 16). Craniovertebral junction. Neupsy Key.
https://neupsykey.com/craniovertebral-junction/

[23] La, Q. D., Revuri, N., Baloch, A., Bachhu, S., Ayub, M., Ahmed, S., Aradhya, S., & Sadiq, N. (2025).

Pediatric craniovertebral junction anomalies: A literature review. Cureus, 17(7), e87164. PubMed
Central. https://doi.org/10.7759/cureus.87164

[24] Dastagirzada, Y. M., Kurland, D. B., Hankinson, T. C., & Anderson, R. CE. (2023). Craniovertebral
junction instability in the setting of Chiari malformation. Neurosurgery Clinics of North America, 34(1),
131142. https://doi.org/10.1016/j.nec.2022.09.006

[25] Dastagirzada, Y. M., Kurland, D. B., Hankinson, T. C., & Anderson, R. CE. (2023). Craniovertebral
junction instability in the setting of Chiari malformation. Neurosurgery Clinics of North America, 34(1),
131142. https://doi.org/10.1016/j.nec.2022.09.006

[26] UFO Themes. (2016, juillet 16). Craniovertebral junction. Neupsy Key. https://neupsykey.com/craniovertebral-junction/

[27] Brito, J. N. P. de O., Santos, B. A. dos, Nascimento, I. F., Martins, L. A., & Tavares, C. B. (2019).
Basilar invagination associated with Chiari malformation type I: A literature review. Clinics, 74, e653.
https://doi.org/10.6061/clinics/2019/e653

[28] Donnally, C. I., Varacallo, M., & Sunil Munakomi. (2023, août 13). Basilar invagination. StatPearls.
https://www.statpearls.com/point-of-care/38131

[29] de Oliveira Filho, Í. T., Romero, P. C., Fontoura, E. A. F., & Botelho, R. V. (2019). Chiari malformation
and types of basilar invagination with/without syringomyelia. Surgical Neurology International, 10, 206.
PubMed Central. https://doi.org/10.25259/SNI_469_2019

[30] Williams, H. (2008). A unifying hypothesis for hydrocephalus, Chiari malformation, Syringomyelia,
anencephaly and Spina Bifida. Cerebrospinal Fluid Research, 5(1).
https://doi.org/10.1186/1743-8454-5-7

[31] https://www.msdmanuals.com/professional/neurologic-disorders/craniocervical-junction-abnormalities/craniocervical-junction-abnormalities

[32] 13 Dastagirzada, Y. M., Kurland, D. B., Hankinson, T. C., & Anderson, R. CE. (2023). Craniovertebral
junction instability in the setting of Chiari malformation. Neurosurgery Clinics of North America, 34(1),
131142. https://doi.org/10.1016/j.nec.2022.09.006

[33] Royo. M.B.salvador,J.Sole-Llenas ,J.M.Domenech and R.Gonzalez-Adrio,(2005) » Results of the filum terminal in 20 patients with syringomyelia scoliosis and chiari malformation« .Acta Neurochir (wien) 147 :515-523.

[34] Peker RB, Sezgin OS, Kayipmaz S, Dönmez ST - Assessment of degenerative changes in the atlanto-odontoid joint using cone-beam computed tomography (CBCT) imaging.PeerJ. 2025 Jun 10;13

[35] Rubin, Michael. "Anomalies de La Jonction Craniocervicale." *Édition Professionnelle Du Manuel MSD*, Manuels MSD, 7 May 2025, www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-neurologiques/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale#%C3%89tiologie_v1043066_fr. Accessed 21 Apr. 2026.

[36] *LES MALFORMATIONS de LA CHARNIERE OCCIPITO-VERTÉBRALE (MCOV)*. 2017.

[37] Rubin, Michael. "Anomalies de La Jonction Craniocervicale." *Édition Professionnelle Du Manuel MSD*, Manuels MSD, 7 May 2025, www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-neurologiques/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale#%C3%89tiologie_v1043066_fr. Accessed 21 Apr. 2026.

[38] Henderson FC, Wilson WA, Mott S, Mark A, Schmidt K, Berry KJ, et al. Deformative stress associated with an abnormal clivo-axial angle: A finite element analysis. Surg Neurol Int 2010;1:30

[39] Kahouadji, E., et al. "Occipitalisation de l'Atlas. Diagnostic Radiologique et Implication Clinique." *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-Faciale et de Chirurgie Orale*, vol. 114, no. 3, 21 Apr. 2013, pp. 187–191, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213653313000657, https://doi.org/10.1016/j.revsto.2013.03.007.

[4040] Vinchon, Matthieu . “La Fusion Cranio-Cervicale.” *Neurochirurgie Pédiatrique*, 18 Dec. 2017, matthieuvinchon.fr/techniques-chirurgicales/la-fusion-cranio-cervicale/. Accessed 21 Apr. 2026.

[41] Kahouadji, E., et al. “Occipitalisation de l’Atlas. Diagnostic Radiologique et Implication Clinique.” *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-Faciale et de Chirurgie Orale*, vol. 114, no. 3, 21 Apr. 2013, pp. 187–191, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213653313000657, https://doi.org/10.1016/j.revsto.2013.03.007.

[42] Ross, Jeffrey, and Kevin Moore. *Imagerie Médicale : Rachis*. 22 May 2024.

[43] Gopal, Krishna , et al. “View of Morphological Status of Assimilated Atlas Vertebra with Occipital Bone and Its Clinical Significance.” *Msjonline.org*, 2026, www.msjonline.org/index.php/ijrms/article/view/1292/1233. Accessed 21 Apr. 2026.

[45] Bogdanov, Enver I., et al. “MRI-Morphometric Characterization of Chiari Malformation Types 0 and 1 with Syringomyelia: Implications for Diagnosis and Pathogenesis.” *Neurological Sciences*, vol. 47, no. 4, 13 Mar. 2026, pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12987787/, https://doi.org/10.1007/s10072-026-08820-z. Accessed 30 June 2026.

[46] Pisal, Tushar, et al. “Atlanto-Occipital Assimilation with Basilar Invagination and Atlanto-Occipital Dislocation Treated by Occipitocervical Fixation: A Rare Case Report.” *Journal of Orthopaedic Case Reports*, vol. 14, no. 4, 2024, pp. 53–57, https://doi.org/10.13107/jocr.2024.v14.i04.4356. Accessed 17 Sept. 2024.

[47] Alhosani, Maryam S, and Sopio Gachechiladze. “Chiari Malformation Type I: A Review of Pathophysiology, Cerebrospinal Fluid Flow Dynamics, Diagnosis, Surgical Management, and Its Relationship to Syringomyelia.” *Cureus*, 10 Jan. 2026, www.cureus.com/articles/449413-chiari-malformation-type-i-a-review-of-pathophysiology-cerebrospinal-fluid-flow-dynamics-diagnosis-surgical-management-

and-its-relationship-to-syringomyelia#, https://doi.org/10.7759/cureus.101226. Accessed 27 Jan. 2026.

[48] Bogdanov, E. I., et al. "Clinical and Neuroimaging Features of "Idiopathic" Syringomyelia." *Neurology*, vol. 62, no. 5, 9 Mar. 2004, pp. 791–794, https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000113746.47997.ce. Accessed 22 Apr. 2026.

[49] Alhosani, Maryam S, and Sopio Gachechiladze. "Chiari Malformation Type I: A Review of Pathophysiology, Cerebrospinal Fluid Flow Dynamics, Diagnosis, Surgical Management, and Its Relationship to Syringomyelia." *Cureus*, 10 Jan. 2026, www.cureus.com/articles/449413-chiari-malformation-type-i-a-review-of-pathophysiology-cerebrospinal-fluid-flow-dynamics-diagnosis-surgical-management-and-its-relationship-to-syringomyelia#, https://doi.org/10.7759/cureus.101226. Accessed 27 Jan. 2026.

[50] Guerra, A. B. Gil. "Cranio-Cervical Junction: Craniometry and Anomalies." *ECR 2018 EPOS*, European Congress of Radiology - ECR 2018, 10 Jan. 2018, epos.myesr.org/poster/esr/ecr2018/C-1697. Accessed 8 June 2026.

[51] Hanane el aggari, fatima zohra ahsayen, siham nasri, narjiss aichouni, imane kamaoui, imane skiker-les malformations de la charniere cervico-occipitale- journal of neuroradiology-volume 50, issue 2, march 2023, page 178.

[52] Thiébaut.m, p lebigot, g besson , m.p dorval, c martin malformation d'arnold chiari de type ii et impression basilaire.à propos d'un cas (revue de la littérature)- - annales de réadaptation et de médecine physique-volume 45, issue 3, march 2002, pages 131-138.

[54] Wilemesen. W. N.p. A case report and literature review combination of the mayer rokitansky-koster and klippel-feil syndrome. Europ. J. Obstet. Gynec. Reprod. Biol.elsevier-(1982) 229.

[55] Cherradi lachhab, r. Dafiri- une malformation à connaître : l'os odontoideum. A propos de deux cas pédiatriques- archives de pédiatrie,volume 21, april 2014, pages 388-391.

[56] Quencer rm. Intracranial csf flow in pediatric hydrocephalus: evaluation with cine-mr imaging. Ajnr am j neuroradiol 1992;13:601–8.

[57] Kontio k, davidson d, letts m. Management of scoliosis and syringomyelia in children.j pediatr orthop 2002;22:771–9.

[58] Erja m. Lehto, sirkka heikkilä, hannu kautiainen a c d , présentation clinique des subluxations atloïdo-axoïdienne antérieure et verticale . Revue du rhumatisme,volume 77, issue 2, march 2010, pages 188-19

[59] 42- Häkkinen.a et al.-decreased muscle strength and mobility of the neck in patients with rheumatoid arthritis and atlantoaxial disorders-arch phys med rehabil (2005)

[60] Peyronnet b, et al. Epidémiologie du spina bifida en france. Prog en urol. 2016;26(13):721

[61] Blumenfeld yj, et al. Updates in fetal spina bifida repair. Curr opin obstet gynecol. 2018;30(2):123-129

[62] Ogolo.d.e, e.c. Ajare , o. Okwuoma , k.o. Ndukuba,s. Nnama, c.andubuis, w.c. M ezue, morphometric evaluation of the foramen magnum in the west african population:implications for neurosurgical interventions,brain disorders,volume 14, june 2024, 100140.

[63] Halderman.a.a, s.l. Barnett,endoscopic endonasal approach to the craniovertebral junction-world j. Otorhinolaryngol.-head neck surg., 8 (01) (2022), pp. 16-24.

[64] El yazami.o, a. El midaoui, r. Elyoubi, z. Souirti, f. Faiz, o. Messouak, mf. Belahsen- hypertrophie hemicorporelle associée à une malformation d'arnold chiari sans syringomyélie- revue neurologique,volume 163, issue 4, supplement 1, april 2007, page 124

[65] Mouhoub imane,maadane asma,ramdani toufik,shekhchoukh rachid-oedeme papillaire revelant une malformation d'arnold chiari type 1, a propos d'un cas - african medical journal (issn :1937-8688,original article, volume 24,article 293,03 aug 2016/10.11604.

[66] Forestier, a. Listrat, m. Priner, a.s. Gaubert, g. Kemoun c ,m. Paccalin a diagnostic tardif d'un syndrome de dandy-walker révélé par des troubles de la marche chez le sujet âgé-la revue de médecine interne-volume 29, issue 5, may 2008, pages 421-423.

[67] Rubin, Michael. "Anomalies de La Jonction Craniocervicale." *Édition Professionnelle Du Manuel MSD*, Manuels MSD, 7 May 2025, www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-

neurologiques/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale/anomalies-de-la-jonction-craniocervicale#%C3%89tiologie_v1043066_fr. Accessed 21 Apr. 2026.

[68] *LES MALFORMATIONS de LA CHARNIERE OCCIPITO-VERTÉBRALE (MCOV)*. 2017.

[69] Dry .j * , m.-d. Pujade lauraine, f. Leynadier, ch.m. Lapiere , a. Cosnes, a. Puissant-syndrome d'ehlers-danlos avec malformations viscérales et osseuses: analyse biochimique .la revue de médecine interne-volume 1, issue 1, june 1980, pages 89-91

[70] Willaume.t .g. Bierry - imagerie de la charnière cervico-occipitale ;aaspects normaux - 2023 elsevier masson.

[71] 77-valérie chicheportiche. Anatomie et imagerie du rachis cervical supérieur et de la charnière cranio-vertébrale.revue du rhumatisme monographiesvolume 80, issue 1

[72] Radiopaedia. Atlanto-occipital assimilation. Radiology Reference Article. Disponible sur : https://radiopaedia.org/articles/atlanto-occipital-assimilation

[73] Atlanto-occipital assimilation: A pictorial review of a commonly missed pathology. Journal of
Clinical Imaging Science.

[74] Davis BJ, Chaudhary DC, Jayan B, Thakur VK, Chopra SS, Sandhu G. Atlanto-occipital Assimilation
an Incidental Cephalometric Finding: Diagnosis and Clinical Implications – A Case Report. J Craniofac Genet Dev Biol / SAGE Publications, 2024.

[75] Craniovertebral Junction Deformity Diagnosed by Computed Tomography: A Case Report. PMC,
2024.

[76] Clinical features of atlas occipital assimilation: A retrospective study. Surgical Neurology International.

[77] Electricwala A, Harsule A, Chavan V, Electricwala J. Complete Atlantooccipital Assimilation with
Basilar Invagination and Atlantoaxial Subluxation Treated Non-Surgically: A Case Report. Cureus.
2017;9(6):e1327.

[78] Lalit M, et al. Occipitalization of Atlas: A Case Report with its Clinical Implications. J Contemp Dent.

[79] Joaquim AF, et al. Occipitalization of the atlas: prevalence, functional and anatomical considerations. A systematic review and meta-analysis. ScienceDirect / A Universal Craniometric
Index for Establishing the Diagnosis of Basilar Invagination. e-Neurospine.

[80] Occipitalisation of the atlas: museological case-studies and review of population-based studies.
PubMed.

[81] Electricwala A, Harsule A, Chavan V, Electricwala J. Complete Atlantooccipital Assimilation with
Basilar Invagination and Atlantoaxial Subluxation Treated Non-Surgically: A Case Report. Cureus.
2017;9(6):e1327.