



# PLAN

LA LISTE DES ABREVIATIONS.....	4
LA LISTE DES FIGURES .....	5
LISTES DES TABLEAUX .....	9
INTRODUCTION.....	10
PATIENTS ET METHODES .....	13
OBSERVATIONS .....	15
DISCUSSION .....	31
I. RAPPEL ANATOMIQUE : .....	32
○ Contenant .....	33
○ Contenu .....	41
○ Les rapports .....	44
○ Articulation sacro iliaque.....	52
○ ROLE DU SACRUM : .....	60
○ Biomécanique de l'articulation sacro-iliaque .....	61
II. Etiopathogénie : .....	65
○ Fracture sacrée : .....	65
– Fracture sacrée traumatique .....	65
– Fracture d'insuffisance sacrée .....	69
○ Tumeur sacrée.....	72
III. Classification .....	75
IV. Diagnostic clinique .....	84
V. Diagnostic para-clinique .....	85
VI. Complications précoces .....	90
VII. La prise en charge : .....	99
○ But.....	99
○ Principe .....	99

---

○ Moyens : .....	99
❖ Médicaux.....	99
❖ Gestion non chirurgicale .....	100
❖ Gestion chirurgicale .....	101
VIII. Indications et choix de la fixation : .....	138
IX. Complications tardives .....	140
<b>RESULTATS .....</b>	<b>142</b>
a. Evaluation des résultats : .....	143
b. Résultat clinique : .....	143
c. Résultat radiologique : .....	145
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>146</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>148</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>152</b>
<b>LES REFERENCES.....</b>	<b>157</b>

## LA LISTE DES ABREVIATIONS:

AIIS : épine iliaque antéro-inférieure

AO-ASIF : association pour l'ostéosynthèse/ association pour l'étude de la fixation interne

AOspine : association pour l'ostéosynthèse de la colonne vertébrale

AP : antéro-postérieur

CT : tomographie assistée par ordinateur

EIAS : épine iliaque antéro-supérieur

EIPS-PSIS : épine iliaque postéro-supérieure

ENMG : électroneuromyographie

GCS : score de Glasgow

IRM : imageries par résonance

LCR : liquide céphalo-rachidien

LSCFU : unité fonctionnelle lombo-sacro-coccygienne

MPR : reconstruction multi-planaire

PAC : pantalon antichoc

PIIS : épine iliaque postéro-inférieure

TDM : tomодensitométrie

VAS : l'échelle visuelle analogique

## LA LISTE DES FIGURE :

**Figure 1 :** une radiographie de bassin face

**Figure 2 :** coupe scanographique axiale fenêtre parenchymateuse objectivant une masse tissulaire envahissant le sacrum avec des limites grossièrement nettes.

**Figure 3 :** coupe sagittale en séquence T1 d'une image IRM montrant un processus osseux expansif et extension au partie molles

**Figure 4 :** coupe sagittale en séquence T2 d'une image IRM lombo-sacré objectivant un processus osseux expansif avec des zones kystisées au centre.

**Figure 5 :** une radiographie de hanche gauche

**Figure 6 :** TDM du bassin en 3D (A B) montrant la présence d'une fracture du sacrum classé zone I selon la classification de Denis avec la présence d'un tassement S1 S2

**Figure 7 :** IRM lombo-sacré en séquence pondéré T1 avec injection de gadolinium montrant une fracture type II selon Roy-Camille et tassement S1 S2

**Figure 8 :** position ventrale les bras positionnés à 90° dans le bloc opératoire de l'Hopital Militaire Moulay Ismail de Meknes

**Figure 9 :** radiographie bassin face (A) et profile (B) montrant l'emplacement de matériels d'ostéosynthèses

**Figure 10:** reconstruction scanographique 3D (A B ) mettant en évidence une fracture classé II selon la classification de Denis et B3 selon AOspine avec un disjonction de la symphyse pubienne

**Figure 11:** coupes scanographiques abdomino-pelviennes transversales (C D ) montrant la fracture

**Figure 12 :** image illustrant la position du patient et l'utilisation de l'amplificateur pour repérage

**Figure 13 :** image montrant le matériel utilisé ainsi que la boîte chirurgicale d'ostéosynthèse

**Figure 14 :** image per-opératoire montrant l'ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque réalisée à l'Hôpital Militaire à Moulay Ismail de Meknès

**Figure 15 :** radiographie standard du bassin face montrant l'emplacement d'ostéosynthèse lombo sacro iliaque

**Figure 16 :** Vue antérieure du bassin

**Figure 17 :** Vue postérieure du bassin.

**Figure 18 :** face antérieure du sacrum montrant les différentes structures osseuses

**Figure 19 :** face postérieure du sacrum montrant les différentes structures osseuses

**Figure 20 :** vue de profil du sacrum

**Figure 21 :** vue supérieure du sacrum montrant sa base

**Figure.22 :** Échantillon anatomique du Sacrum : Vue ventrale

**Figure 23 :** Image montrant le cul de sac dural

**Figure 24 :** Vue supérieure du pelvis montrant l'espace rectal

**Figure 25 :** Vue antérieure du confluent aortico-cave

**Figure 26 :** Vue antérieure du plexus sacré et du système sympathique pré-sacré

**Figure 27 :** image montrant les deux surfaces articulaires sacro-iliaque

**Figure 28 :** image en vue postérieure du sacrum montrant les structures ligamentaires

**Figure 29 :** vue postérieure du bassin montrant l'insertion du ligament sacro-tubéral

**Figure 30 :** vue antérieure du bassin montrant l'insertion du ligament sacro-épineux

**Figure 31 :** représentation schématique de la biomécanique de l'articulation sacro-iliaque

**Figure 32 :** variation du sexe dans les fractures sacrées traumatiques

**Figure 33 :** les différentes causes de fractures traumatiques du sacrum

**Figure 34** : les traumatismes associés aux fractures du sacrum

**Figure 35** : variation du sexe dans les fractures d'insuffisance sacrées

**Figure 36** : variation du sexe dans la pathologie tumorale du sacrum

**Figure 37**: classification de Denis montrant les différentes zones de fractures

**Figure 38**: Classification de Roy-Camille modifiée par Strange-Vognsen et Lebech (Types I à IV)

**Figure 39**: Représentation schématique des types de dissociation spino-pelvienne (adapté de Lehmann et al., 2012)

**Figure 40**: Classification d'Isler des fractures sacrées de Denis zone II (types I à III)

**Figure 41**: Système de classification sacrée AOspine

**Figure 42** : radiographie du bassin de face illustrant les lignes arquées : Les lignes arquées intactes (a), flambage de la ligne arquée (b), une interruption de la ligne arquée (c)

**Figure 43** : radiographie du bassin face :Vue d'entrée paradoxale.

**Figure 44** : TDM montrant la Vue d'entrée du bassin

**Figure 45** : Lésion de Morel-Lavellée: les images (A) et (B) montrent une grande collection de fluide associée au déglacement fascial sur la TDM axiale.

**Figure 46** : le taux de déficit neurologique selon l'étude de Denis et al.

**Figure 47** : position ventral les bras à 90°

**Figure 48** Incision médiane postérieure

**Figure 49** : image montrant les vis pédiculaires lombaires, Les tiges longitudinales, Une bielle transversale entre les tiges longitudinales est utilisée pour sécuriser la fixation

**Figure 50** La désimpaction de fracture et la traction longitudinale peuvent être effectuées à l'aide d'un distracteur

**Figure 51** Trajectoires de vis possibles avec un ou deux vis

**FIGURE 52.** Une vue latérale du sacrum montre les 3 trajectoires de vissage pédiculaire S1, y compris la fixation unicorticale, bicorticale et tricorticale

**Figure 53** Aspect final du montage de profil

**Figure 54:** image montrant la fixation lombo-pelvien a l'aide de la Technique de Galveston

**Figure.55** Vues antéropostérieures des vis S2AI (à gauche) par rapport aux vis iliaques (à droite)

**Figure 56 :** Montage en triangulation

**Figure 57 :** Planification de trajectoire assistée par robot pour le placement des vis pédiculaires bilatérales en L5

**Figure 58 :** Procédure peropératoire et incisions cutanées du fixation lombo-pelvienne mini-invasive assistée par robot

**Figure 59 :** image illustrant la position peropératoire et l'orientation des implants

**Figure 60 :** TDM sacrée montrant l'infiltration du ciment dans l'aile sacrée bilatérale

**Figure 61 :** radiographie face de bassin après Montage sacro-iliaque de Beaujon

**Figure62 :** Aspect technique de l'ostéotomie de raccourcissement

**Figure63 :** Positionnement des plaques sur les crêtes sacrées intermédiaires.

**Figure 64 :** Planification, installation, repères et vissage.

## LISTES DES TABLEAUX :

**Tableau 1** : la moyenne d'âge des fractures sacrées traumatiques dans différentes séries

**Tableau 2** : la moyenne d'âge des fractures d'insuffisance sacrées dans des différentes séries

**Tableau 3** : la moyenne d'âge des tumeurs sacrées des différentes séries

**Tableau 4** : le pourcentage de chaque type de fracture selon Denis des différentes études

**Tableau 5** : les complications postopératoires décrites par les différentes études

**Tableau 6** : la durée d'évaluation porté par les autres auteurs

**Tableau 7** : résultats cliniques selon le score Gibbon et de VAS décrit par différentes séries

**Tableau 7** : comparaison des résultats radiologiques des différents études

# INTRODUCTION

Le sacrum est le siège de plusieurs lésions, que ça soit traumatique –qui est la plus fréquente dont le mécanisme sont les AVP, les accidents de travail et plus rarement les accidents de sport. Ces fractures représentent 5 % des fractures du rachis et surviennent dans un cadre de polytraumatisme engageant parfois le pronostic vital des patients– ou Plus rarement la pathologie tumorale, qui peut être primitive ou secondaire avec des facteurs de risques congénitaux.

La prise en charge est multidisciplinaire compte tenu des implications cliniques radiologiques et chirurgicale (réanimation, chirurgiens et rééducation...).

Le traitement orthopédique de ces lésions est souvent pénible pour le patient et pour le personnel médical nécessitant une décharge au lit ou parfois des tractions qui peuvent aller jusqu'à 45 jours et peut compromettre la statique et la marche.

Le traitement chirurgical par ostéosynthèse sacro-iliaque à ciel ouvert est un geste difficile.

La problématique de cette technique est de fixer l'os iliaque au sacrum en évitant le délabrement musculaire et les pertes sanguines .il est grevé d'une morbidité non négligeable avec un risque vasculaire (plexus veineux), nerveux (racines sacrées) ou septique notamment à prendre en compte, mais ayant comme avantage : répond au mécanisme physiopathologique de ces lésions, par la correction des déplacements élémentaires, sa solidité évite la mise en place d'un fixateur externe en complément, et permet une mobilisation précoce et facile, intéressante chez les patients souvent polytraumatisés.

Dans ce travail nous rapportons trois observations cliniques d'ostéosynthèse sacro-iliaque faites pour des lésions diverses du sacrum, et prise en charge au sein du service de neurochirurgie de l'Hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknès.

Le diagnostic des lésions du sacrum a été fait sur la base de la radiologie.

A travers ces observations et une revue de la littérature, nous allons tracer le profil épidémiologique, présenter les aspects cliniques et radiologiques, d'évaluer les résultats fonctionnels et anatomiques, ainsi que le suivi post opératoire.

# PATIENTS – METHODE

Notre travail est une étude rétrospective descriptive portant sur trois cas d'ostéosynthèse sacro-iliaque dans les lésions du sacrum colligés sur une période d'environ deux ans, allant du mois Janvier 2018 au mois de Décembre 2020.

Nous avons alors exploité trois dossiers de malades d'âge adulte (entre 19 ans et 39 ans), diagnostiqués comme ayant une lésion du sacrum en se basant sur des résultats scanographiques. Deux de nos malades se sont présentés dans un cadre de traumatisme, alors que le troisième a été présenté dans le cadre d'une compression nerveuse.

Ces malades ont été pris en charge aux services de Neurochirurgie, Radiologie et de Réanimation polyvalente de l'Hôpital Moulay Ismail de Meknès HMMI.

Les données cliniques et paracliniques ont été recueillies à partir des dossiers des patients. En se basant sur ces données et une revue de la littérature, nous avons fixé comme objectifs de :

- ✓ Décrire les caractéristiques épidémiologiques et cliniques des différentes lésions du sacrum
- ✓ Illustrer ses différents aspects en imagerie radiologique.
- ✓ Expliquer les différents moyens thérapeutiques et leurs indications.
- ✓ Évaluer le résultat fonctionnels et anatomiques d'ostéosynthèse sacro-iliaque ainsi que ses complications à court et à long terme.

## **Observation n°1 :**

Mme B. âgée de 39 ans, sans antécédents particuliers notables, a été admise au service de neurochirurgie de l'hôpital Moulay Ismail à Meknès en 2019, pour des sciatalgies intenses.

L'histoire de la maladie remonte à 4 ans par l'installation des sciatalgies à l'effort, puis la symptomatologie s'est aggravée par des douleurs intenses et continue avec irradiation sur la face externe de sa jambe gauche, la présence de notion de constipation chronique, sans troubles neurologiques ni urinaires, le tous évoluant dans un contexte d'apyrexie et de conservation de l'état général.

L'examen clinique trouve une patiente consciente en bonne état général.

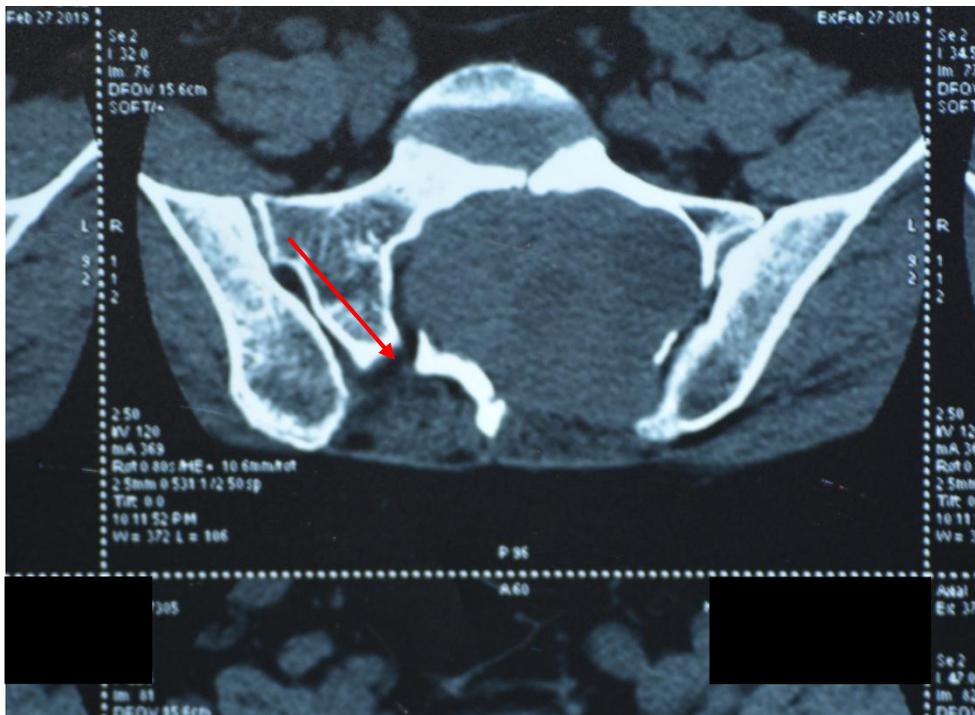
L'examen physique a révélé un gonflement ferme et non douloureux sur la région para-spinale lombaire gauche avec une peau normale sus-jacente.

la patiente a bénéficié d'une radiographie face de bassin (Figure 1)



**Figure 1 :** radiographie de bassin face n'objectivant aucune lésion

Puis une tomodensitométrie (TDM ) du bassin a été réalisée qui a montré une lésion tissulaire envahissant le sacrum (figure2)



**Figure 2 :** coupe scanographique axiale fenêtre parenchymateuse objectivant une masse tissulaire envahissant le sacrum avec des limites grossièrement nettes.

L'examen radiologique a été complété avec une imagerie par résonance magnétique (IRM) lombo-sacrée montrant un gros processus tissulaire kystisé incluant S1 S2 du sacrum lobulé mesurant 82\*64 , en hypo signal T1 , et hyper signal T2 se rehaussant modérément après injection de gadolinium avec la présence d'une masse poly-kystisée centrale. Ce processus étendu aux parties molles pré-sacrées et paravertébrales gauches en arrière, avec extension en intra-canalair et une fracture latéralisée S1 S2 classée zone 1 selon Denis.(figure 3-4)



**Figure 3 :** coupe sagittale en séquence T1 d'une image IRM montrant un processus osseux expansif et extension aux parties molles



**Figure 4 :** coupe sagittale en séquence T2 d'une image IRM lombo-sacré objectivant un processus osseux expansif avec des zones polykystisées au centre.

L'indication d'exérèse de la tumeur sacré avec ostéosynthèse lombo-iliaque L4-L5 a été retenu chez la patiente : exérèse partielle à cause de lésion pré-sacré et la proximité du rectum.

L'examen anatomopathologique de la pièce opératoire a été revenu en faveur d'une tumeur conjonctive bénigne remaniée dont l'aspect morphologique évoque un Schwannome remanié, avec absence de signe de malignité.

L'évolution clinique a été favorable avec une récupération quasi-totale sans séquelles motrices avec un score de Gibbon (annexe1) de 1 et score de VAS (annexe2) :8 avec un recul de 19 mois

## **Observation n°2 :**

Il s'agit d'une patiente âgée de 19 ans, originaire et habitante à Fès, étudiante, de bas niveau socio-économique. Sans antécédents pathologiques médicaux, chirurgicaux ou toxiques notables. La patiente fut admise aux urgences en Juin 2020 pour la prise en charge des douleurs intenses au niveau sacré suite à un traumatisme de haute énergie avec choc directe sur le sacrum.

L'histoire de la maladie remonte à vingt (20) jours avant son admission, où la patiente a été victime d'un traumatisme suite à une chute d'une échelle d'une hauteur de trois mètres. Au début, la patiente a consulté aux urgences El Ghassani à Fès où elle a bénéficié d'un traitement antalgique, puis la symptomatologie s'est aggravée par l'installation des douleurs intenses au niveau sacré associé à des paresthésies au niveau du membre inférieur gauche type de fourmillements et de brûlures, ce qui a poussé la patiente à consulter aux urgences de l'Hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknès pour complément de prise en charge.

À l'admission, l'examen général trouve une patiente consciente ayant un score de Glasgow (GCS) à 15, avec un état hémodynamique et respiratoire stable. L'examen clinique trouve des points douloureux au niveau du sacrum, des paresthésies au niveau du membre inférieur gauche types de fourmillements, engourdissements et brûlures, avec un déficit en L5 gauche (présenté cliniquement par une absence d'extension des orteils).

Dès son hospitalisation, la patiente a bénéficié d'une radiographie du bassin avec une radiographie de hanche gauche n'ont pas montré de lésion évidente en particulier au niveau du sacrum. (Figure5)

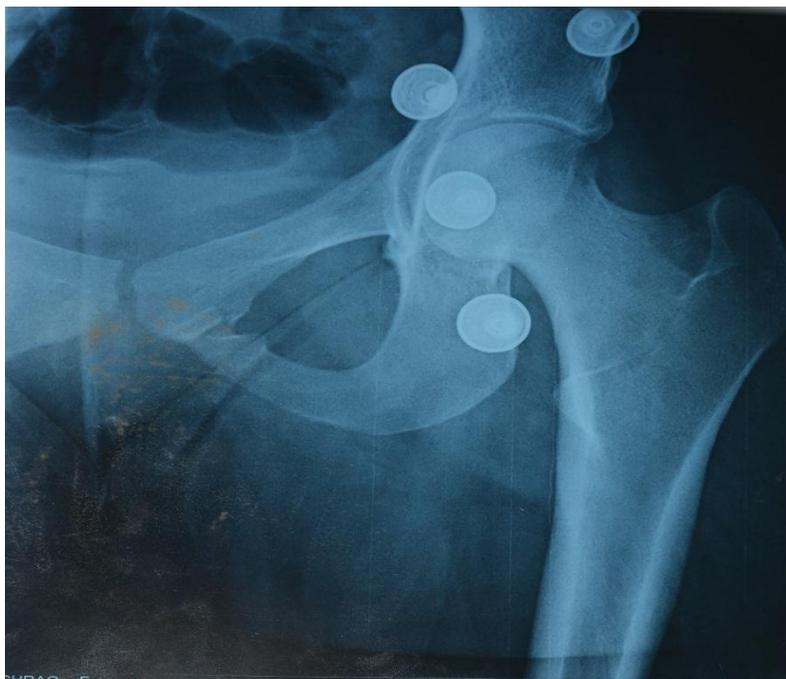
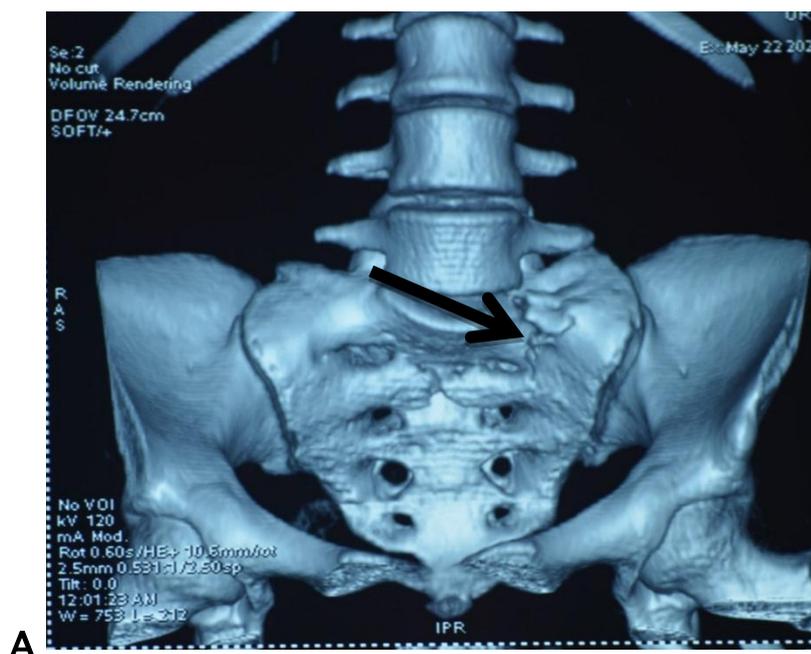


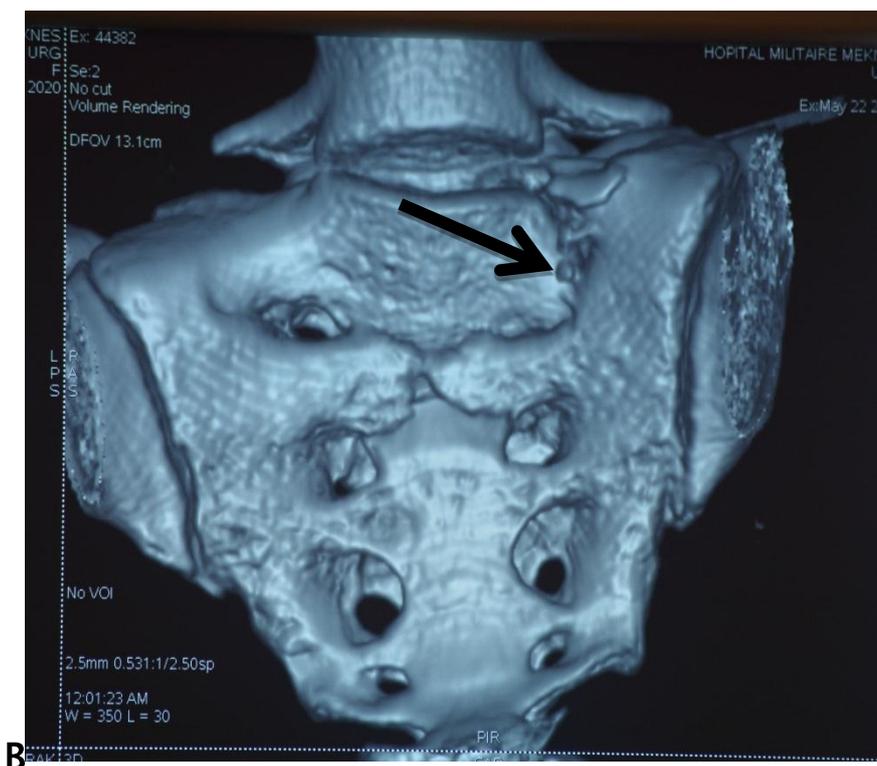
Figure 5 : une radiographie de hanche gauche ne montrant aucune lésion traumatique

La patiente a bénéficié aussi d'une tomodensitométrie (TDM) abdomino-pelvienne (figure 6-7) :

Cet examen a permis de mettre en évidence une fracture qui siège au niveau de l'aileron sacré gauche avec une fracture tassement S1 S2.



A



**Figure 6 :** TDM du bassin en 3D (A B) montrant la présence d'une fracture du sacrum classé zone I selon la classification de Denis avec la présence d'un tassement S1 S2



**Figure 7 :** IRM lombo-sacrée en séquence pondéré T1 avec injection de gadolinium montrant une fracture type II selon Roy-Camille et tassement S1 S2

Par la suite, une électroneuromyographie (ENMG) a été réalisé objectivant une atteinte motrice axonale modérée du nerf SPE gauche, avec une atteinte sensitivomotrice axonale du nerf SPI gauche.

L'indication d'une ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque par vissage lombo sacro-iliaque et décompression par hémi-laminectomie S1 gauche a été retenu chez la patiente.

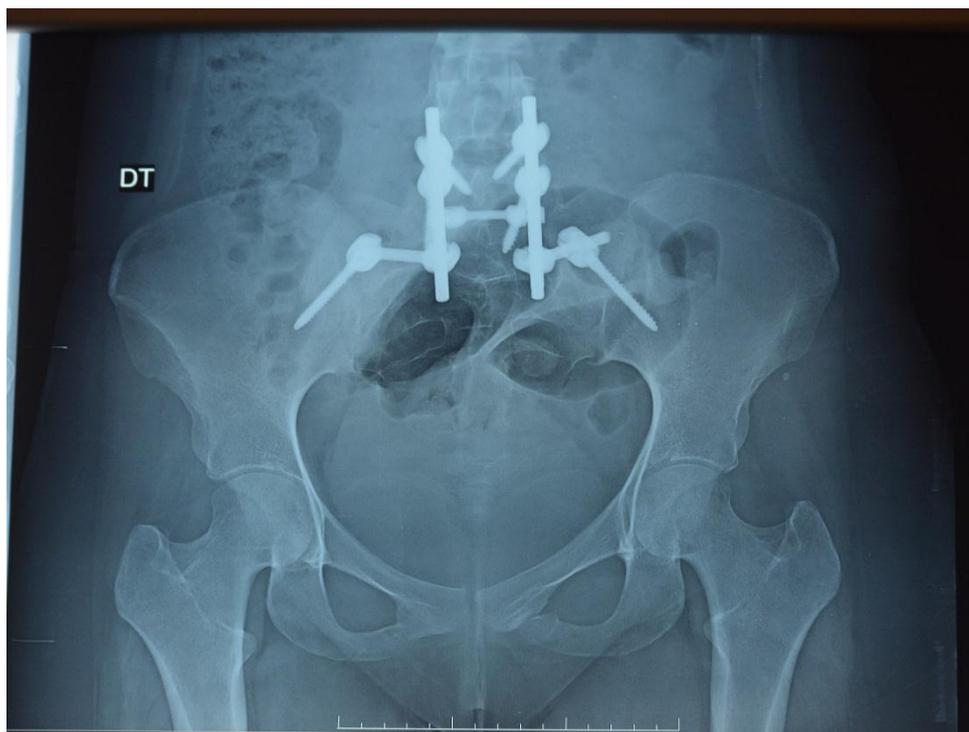
Le geste était sous anesthésie générale ; en décubitus ventrale (figure8) ; une incision médio L5 centrée sur L4-L5 et S1, avec libération des deux groupes paravertébraux droits et gauches, la mise en place des écarteurs auto-statique, et l'insertion des vis pédiculaire en L5 S1 et iliaque droit et gauche, connectés à l'aide des connecteur lombosacré et hémi-laminectomie S1 gauche , ensuite fermeture plan par plan sur un drain de KEHR.



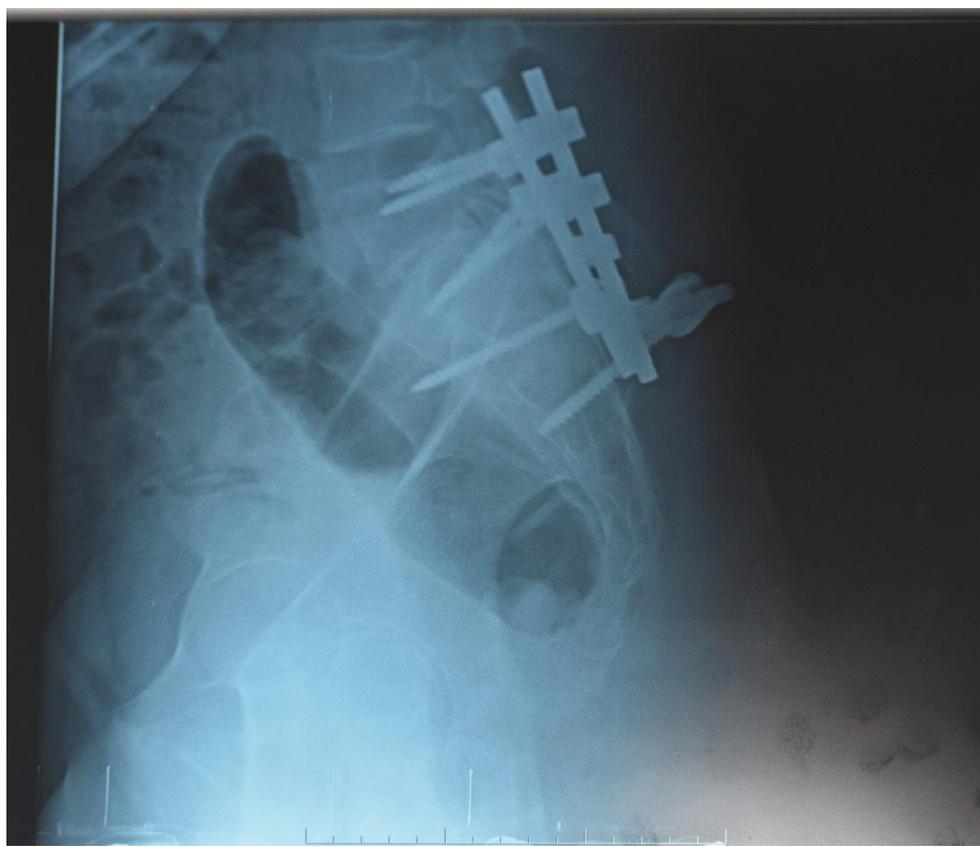
**Figure 8** : position ventrale les bras positionnés à 90° dans le bloc opératoire de l'Hopital Militaire Moulay Ismail de Meknes

Une radiographie de contrôle de bassin a été réalisée en post opératoire (figure 9)

A



B



**Figure 9** : radiographie bassin face (A) et profile (B) montrant l'emplacement de matériels d'ostéosynthèses

Les suites opératoires étaient simples, la patiente a quitté à J 24 de son hospitalisation.

L'évolution clinique a été favorable avec une récupération quasi-totale sans séquelles moteurs ni sensibles après douze séances de rééducation post-opératoire avec un score Gibbon (annexe 1)1 et score VAS (annexe 2) :0 après 6mois de recul.

### **Observations 3 :**

Il s'agit de Mr T. âgé de 23 ans, originaire et habitant à NADOR, sans antécédents pathologiques médicaux, chirurgicaux notables. Admis aux urgences neurochirurgicales pour traumatisme du bassin associé à des douleurs et une impotence fonctionnelle totale des membres inférieurs

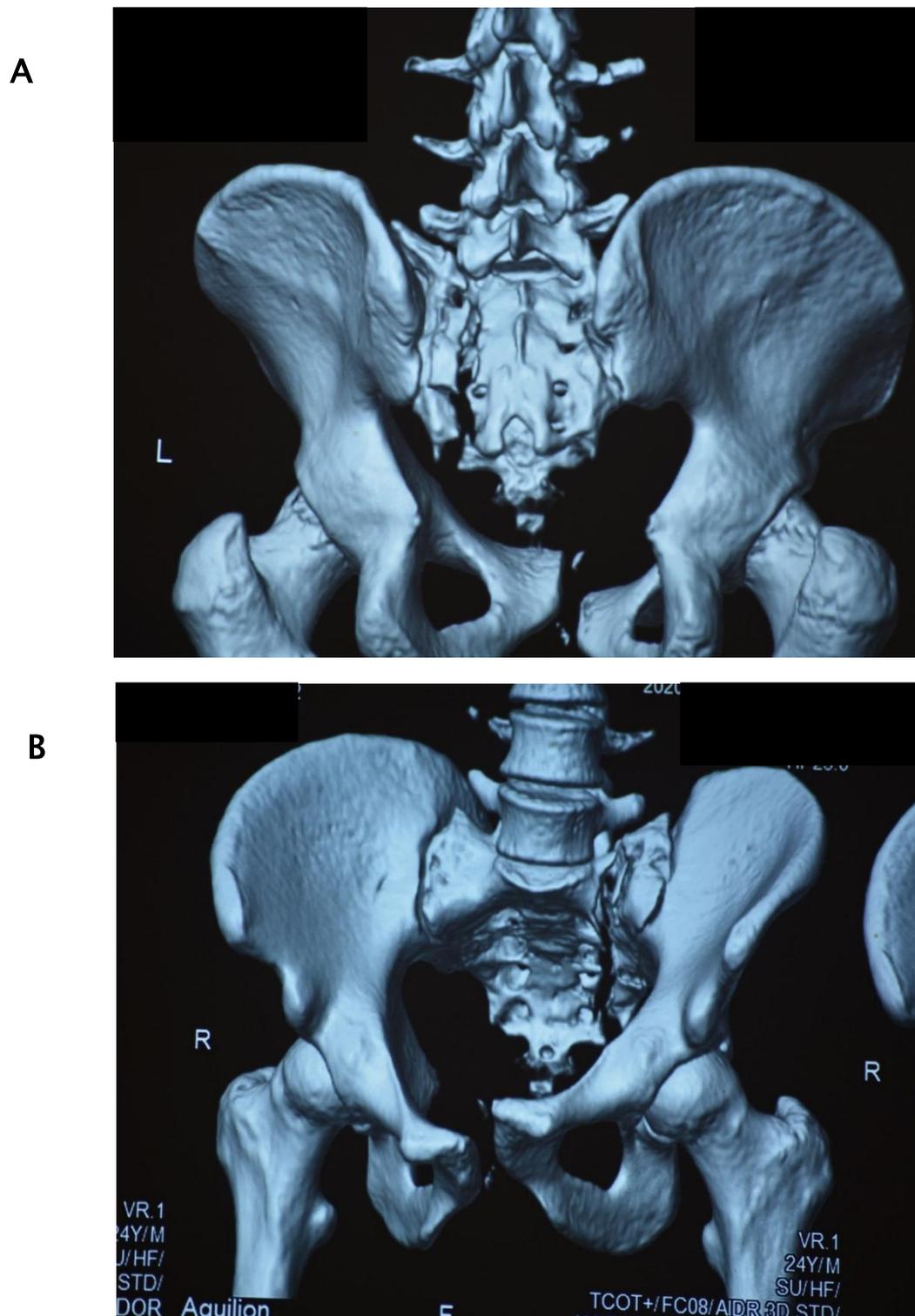
L'histoire de la maladie remonte au mois d'octobre 2020 où le patient a été victime d'un AVP et excès de vitesse (entraînant la voiture en tonneau) avec réception de choc au niveau du bassin sans notion de porte d'entrée infectieuse. Le patient fut conduit aux urgences de l'Hôpital HASSANI de Nador, où ils ont procédé à un scanner du bassin (figure N5-6), puis le patient est référé à l'HMMI pour une bonne prise en charge.

L'examen à l'admission ; trouve un patient conscient coopérant, conjonctives et téguments normo-colorés, stable sur plan hémodynamique et respiratoire, apyrétique.

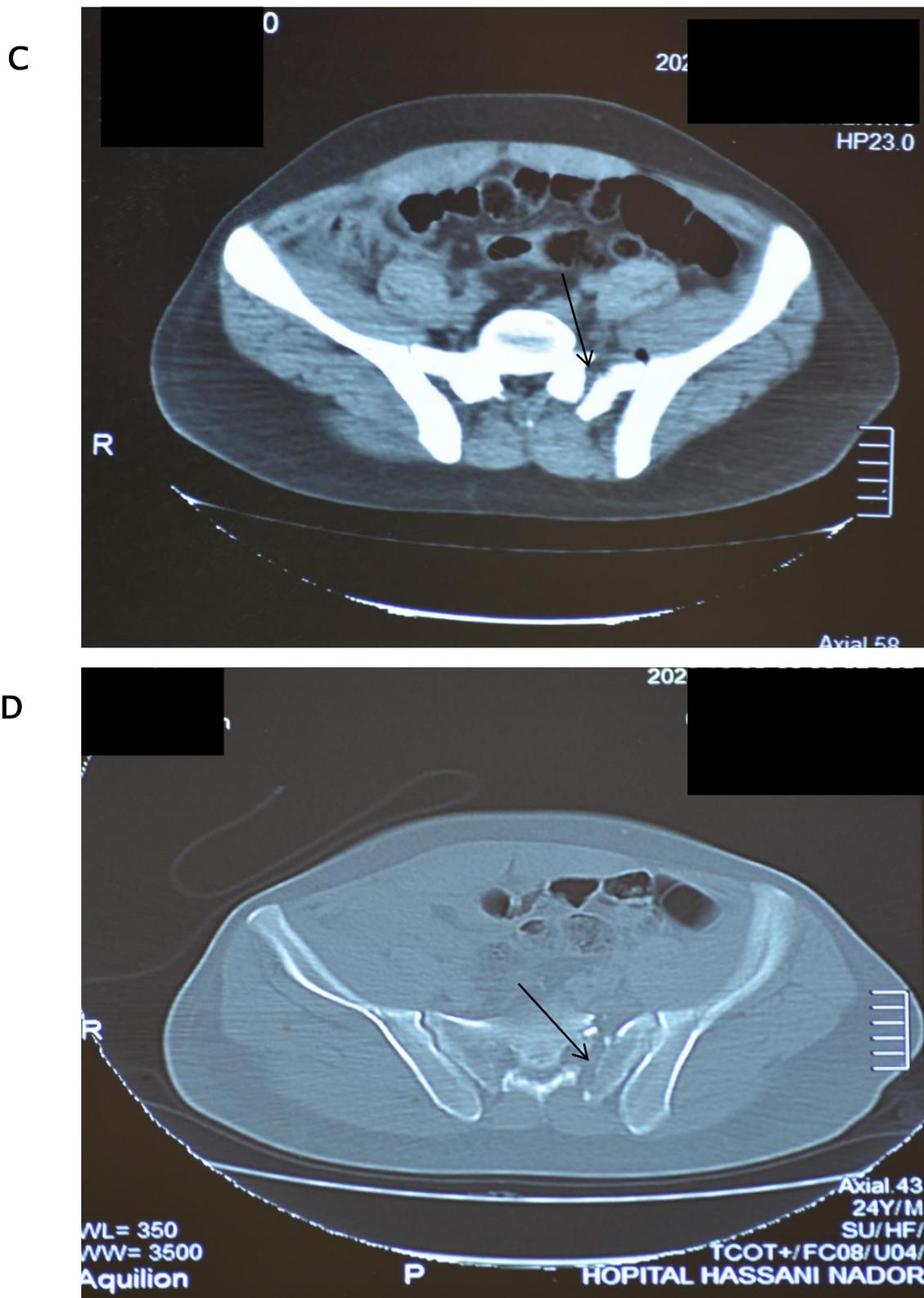
L'examen physique a objectivé des douleurs antérieures et postérieures du bassin, pas d'ouverture cutanée avec présence des égratignures au niveau de la posture et de l'abdomen, une douleur vive à la palpation du pubis, une impotence fonctionnelle totale des deux membres inférieurs, l'examen neurologique et urologique étaient sans particularités.

#### **Le bilan radiologique :**

TDM du bassin : a objectivé une disjonction de la symphyse pubienne avec une fracture classée type II selon la classification de DENIS et B3 selon AO spine. (figure 10-11)



**Figure 10** : reconstruction scanographique 3D (A B ) mettant en évidence une fracture classé II selon la classification de Denis et B3 selon AOspine avec un disjonction de la symphyse pubienne



**Figure 11:** coupes scanographiques abdomino-pelviennes transversales (C D )  
montrant la fracture

- Radiographie du rachis lombaire : normale
- TDM lombosacré : normale

- Radiographie du poumon normale
- Echographie abdominale : normale

L'indication d'une ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque a été retenue

Le geste est déroulé sous anesthésie générale en décubitus ventral par abord médiane lombosacrée après repérage à l'aide d'un amplificateur (figure 12).

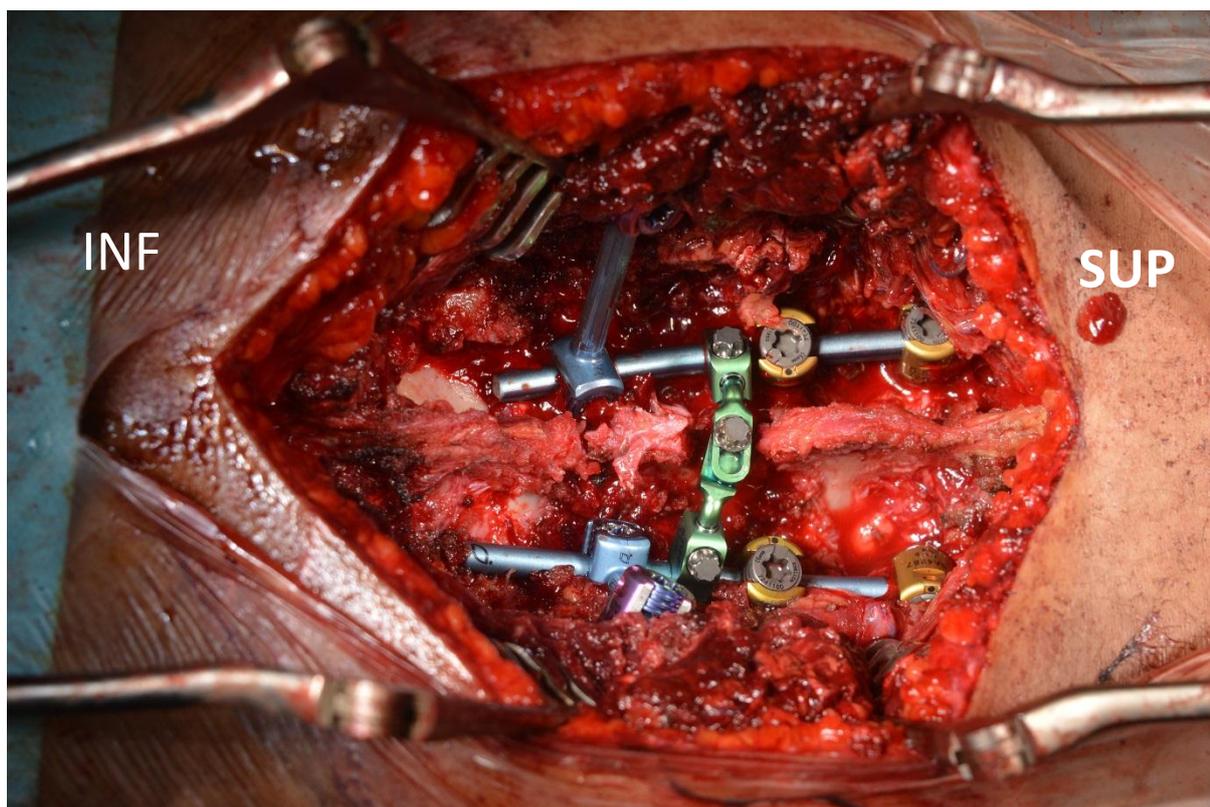


**Figure 12** : image illustrant la position du patient et l'utilisation de l'amplificateur pour repérage

Fixation à l'aide de 6 vis pédiculaire lombosacrés L4 L5 et 2 vis sacro-iliaque avec des tiges et renforcé par des connecteurs (figure 13-14).

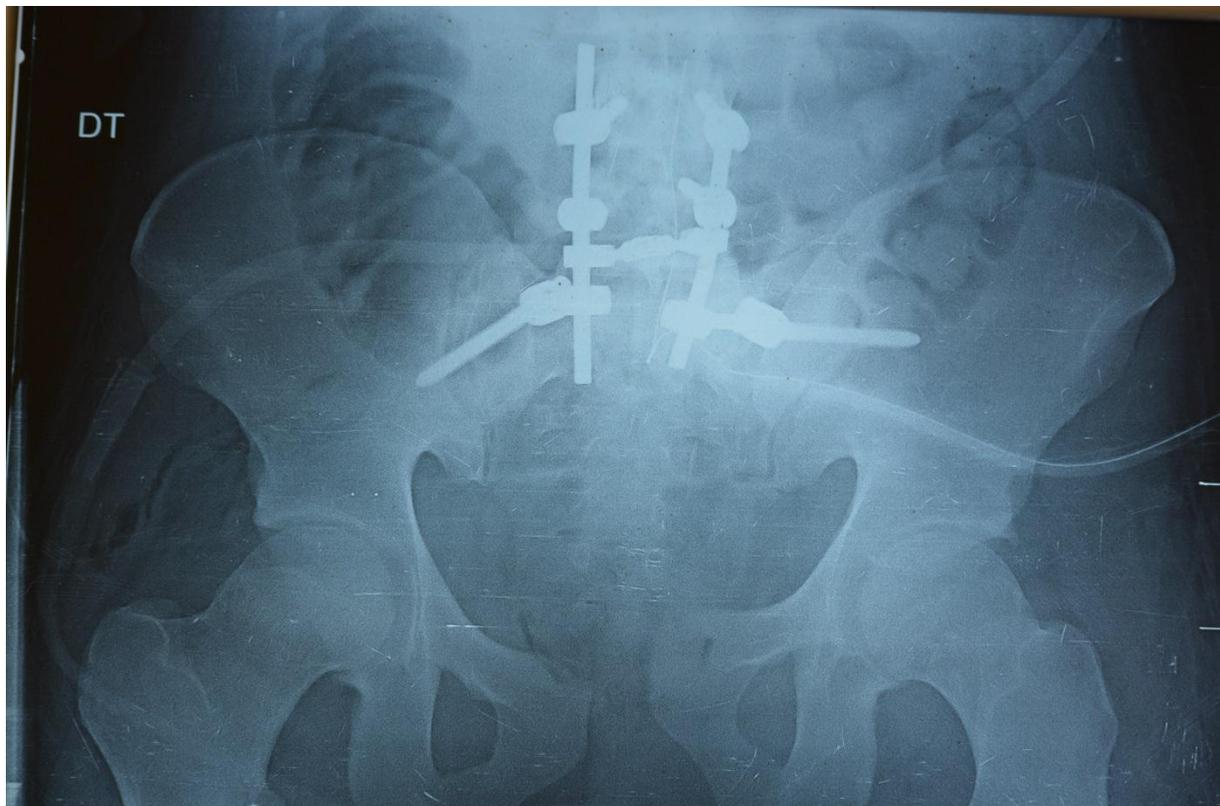


**Figure 13** : image montrant le matériel utilisé ainsi que la boîte chirurgicale d'ostéosynthèse



**Figure 14** : image per-opératoire montrant l'ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque réalisée à l'Hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknès

Une radiographie de bassin de contrôle a été réalisée (figure 15)



**Figure 15 :** radiographie standard du bassin face montante l'emplacement d'ostéosynthèse lombo sacro iliaque

Les suites post opératoires ont été simples sans complications avec un traitement antalgique, une antibioprophylaxie et un traitement anticoagulant.

Le patient a bénéficié de 10 séances de rééducation avec score Gibbon (annexe1) 1 et score VAS (annexe 2) : 2 après un recul 1 mois

# DISCUSSION

# RAPPEL ANATOMIQUE

## **I. RAPPEL ANATOMIQUE DU SACRUM :**

### **❖ Contenant**

#### **i. Configuration externe du sacrum :**

Le sacrum est un os impair médian et symétrique qui a la forme d'un prisme à base supérieure aplatie d'avant en arrière.

On lui décrit classiquement deux faces :

L'une, antérieure, dite pelvienne, lisse et large, l'autre, postérieure et irrégulière, constituée de deux bords épaissis en haut pour former les auricules articulaires, d'une base, fortement inclinée en avant, et d'un sommet inférieur.

En serré entre les deux os iliaques (Fig. 16-17), il forme avec la colonne lombaire un angle obtus à sommet antérieur, le promontoire, qui mesure en moyenne 118° chez l'homme et 126° chez la femme. Son grand axe est oblique en bas et en arrière et concave en avant, son axe transversal présente également une concavité antérieure [1].

### **1. La face antérieure ou pelvienne (Fig.18) :**

La partie moyenne de cette face à double concavité antéro-inférieure et transversale est constituée par les corps de cinq vertèbres soudées qui ne sont plus délimitées que par les lignes transverses. La première est parfois très marquée et constitue alors le faux promontoire de Michaelis.

La hauteur des corps vertébraux diminue de haut en bas, de sorte que c'est la deuxième ligne transverse qui se trouve à mi-hauteur du sacrum.

Entre ces lignes, de chaque côté, il existe quatre orifices, les foramens sacrés antérieurs ou pelviens. Ces orifices se prolongent en dehors par des gouttières qui convergent vers le grand foramen ischiatique.

Le muscle pyramidal s'insère sur les massifs transversaires des deuxième, troisième et quatrième vertèbre sacrée, s'évase en haut vers les ailerons sur lesquels se fixent en bas le ligament sacrococcygien antérieur, les muscles sacrococcygiens antérieur et fléchisseur du coccyx.



**Figure 16** : Vue antérieure du bassin.



**Figure 17** : Vue postérieure du bassin.

## **2. La face postérieure (Fig. 19) :**

Convexe horizontalement et verticalement, très irrégulière, cette face triangulaire se rapproche de la face antérieure de haut en bas.

La ligne médiane présente de haut en bas :

- l'orifice supérieur du canal sacré : triangulaire à base supérieure, il détermine l'hiatus sacrolombaire avec l'arc postérieur de L5 ;
- la crête sacrale médiale, qui naît de l'hiatus sacrolombaire ; elle est formée de la succession de trois ou quatre tubercules résultant de la fusion des apophyses épineuses et qui alternent avec des échancrures dont la taille diminue de haut en bas. Elle bifurque en bas à la hauteur des troisièmes ou plus souvent des quatrièmes foramens sacrés

postérieurs pour former les sacrales, qui bordent latéralement l'hiatus sacral ;

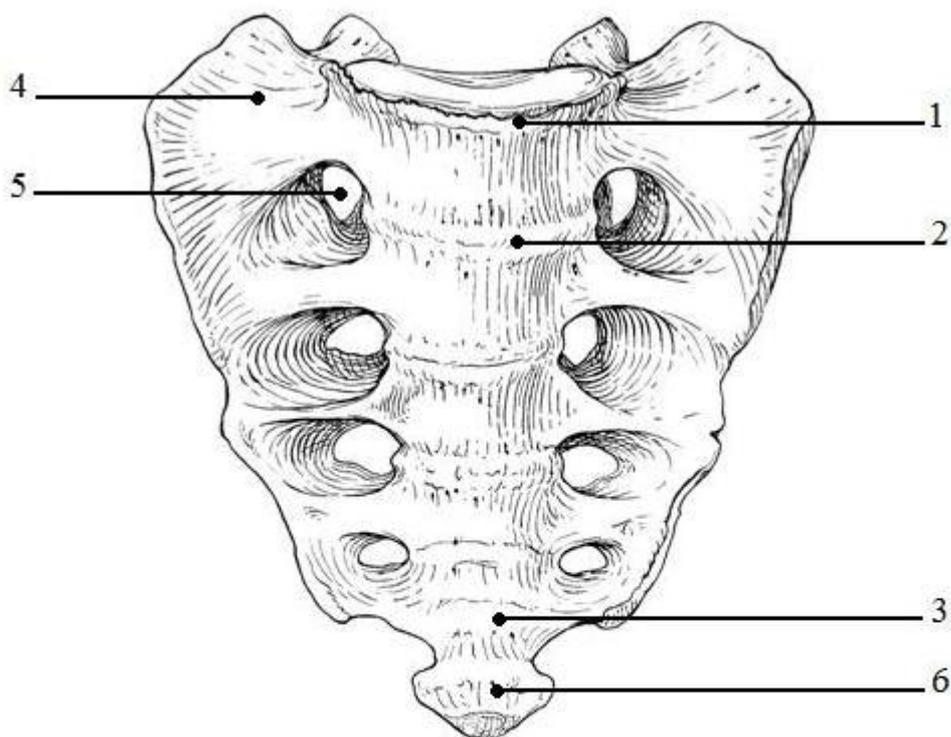
- l'hiatus sacrococcygien : de taille et de forme variables, il est habituellement en U ou en V renversé, à sommet supérieur marqué par le tubercule terminal de la crête sacrée.

C'est sur la partie interne des cornes sacrales qui bordent l'hiatus latéralement que s'insèrent les faisceaux latéraux du ligament sacrococcygien postérieur. En bas, les cornes sacrales s'articulent aux cornes coccygiennes.

De part et d'autre de la ligne médiane, on trouve de dedans en dehors :

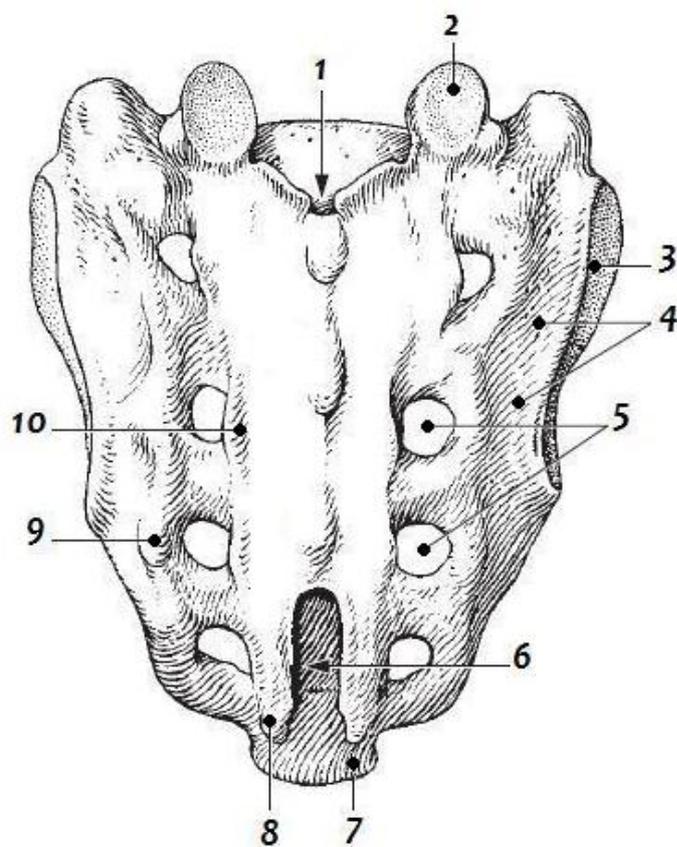
- la gouttière sacrée, qui résulte de la fusion des lames vertébrales : dans 8 % des cas, la non-soudure des lames des première et deuxième vertèbre est en rapport avec l'existence de l'hiatus trans-sacré comblé par le ligament jaune ;
- les tubérosités sacrales postéro-médiales résultent de la fusion des apophyses articulaires : au nombre de trois ou quatre, elles sont réunies par une crête sacrale intermédiaire ;
- les foramens sacrés postérieurs, plus petits que les foramens antérieurs, sont au nombre de quatre et leur taille diminue de haut en bas en même temps qu'ils se rapprochent de la ligne médiane dont ils restent cependant plus éloignés que les foramens antérieurs. Ils sont traversés par les branches postérieures des nerfs sacrés ; c'est la fusion des apophyses transverses qui constitue les ponts osseux qui les séparent ;
- les tubérosités sacrales postéro-latérales résultent de la fusion des apophyses transverses ; elles sont plus volumineuses et séparées des postéro-médiales par les trous sacrés ; c'est sur elles que s'insèrent le

transversaire épineux, le plan moyen du grand glutéal et le plan ligamentaire postérieur des articulations sacro-iliaques. [1]



1. Promontoire
2. Ligne transverse
3. Apex du sacrum
4. Aileron sacré
5. 1er foramen sacré antérieur
6. Coccyx

**Figure 18** : face antérieure du sacrum



- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. Canal sacré                            | 6. Hiatus sacral                |
| 2. Processus artulaire supérieur          | 7. Apex du sacrum               |
| 3. Surface artulaire de l'Articulation SI | 8. Corne sacrale                |
| 4. Tubérosité sacrale                     | 9. Crête sacrale latérale       |
| 5. Foramen sacré dorsal                   | 10. Crête sacrale intermédiaire |

**Figure 19** ; face postérieure du sacrum

### **3. Les faces latérales (Fig.20) :**

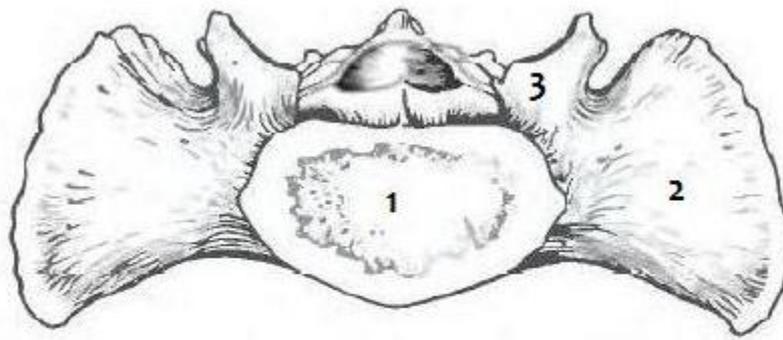
Triangulaires à base supérieure, elles présentent à décrire deux segments, l'un supérieur et l'autre inférieur :

- le segment supérieur est occupé par la surface articulaire qui s'articule avec son homologue iliaque (cf. infra) ; [2]
- le segment inférieur : il répond aux trois dernières vertèbres sacrées, il est oblique en bas et en dedans et son épaisseur diminue de haut en bas. Il a la forme d'un L dont l'angle est un point de repère important en tomodensitométrie. Sur lui s'insèrent les muscles ischio-coccygiens, les petits et grands ligaments sacro-sciatiques, le plan profond du grand glutéal et le ligament inter-transversaire de la sacrococcygienne.

### **4. La base (Fig.21) :**

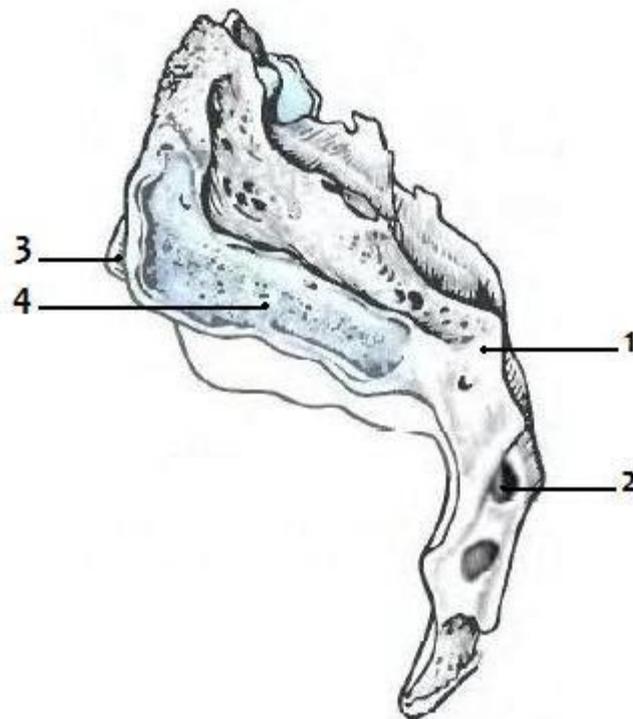
Elle regarde en haut et en avant, c'est la face supérieure de la première apophyse transverse qui forme la face abdominale de l'aileron. La surface articulaire antérieure reçoit le disque intervertébral ; son bord antérieur, qui fait saillie dans la cavité pelvienne, constitue le promontoire. Le bord latéral de l'aileron comprend une partie antérieure qui donne naissance à l'auricule sacrée et une partie postérieure sur laquelle s'insère le ligament sacro-iliaque postérieur.

En arrière des ailerons, on trouve les processus articulaires supérieurs de la première vertèbre sacrée qui s'articulent avec leurs homologues inférieurs de L5.



1. Corps de S1
2. Aileron sacré
3. Processus articulaire

**Figure 21** : vue supérieur du sacrum montrant sa base



1. Crête sacrale latérale
2. Foramen sacral dorsal
3. Promontoire
4. Surface articulaire du sacrum

**Figure 20** : vue de profil du sacrum

## **5. Le sommet :**

De forme elliptique, convexe à grand axe transversal, il s'articule avec la base du coccyx.

### **ii. Le canal sacré :**

Triangulaire en haut puis rétréci d'avant en arrière, le canal sacré forme la partie inférieure du canal rachidien. Concave en avant et en bas, il est limité en avant par la face postérieure des vertèbres sacrées et en arrière par les lames et les crêtes sacrées ; latéralement, il donne naissance à quatre canaux de conjugaison qui s'abouchent dans les foramens sacrés antérieurs et postérieurs.

Il s'ouvre en haut sur l'hiatus sacrolombaire et en bas sur l'hiatus sacrococcygien bordé latéralement par les cornes du sacrum. Il contient le cul-de-sac dural qui se termine en S2 et la partie inférieure de la queue de cheval avec le filum terminal [3].

### **❖ Contenu :**

#### **i. Les racines nerveuses : 4 fig 22**

Le sacrum est en forme de coin et se compose de cinq vertèbres fusionnées. Dorsalement, il a une surface convexe, avec la crête sacrée médiane en saillie au milieu. Entre les crêtes sacrées médiane et latérale, il y a quatre foramens sacrés (les foramens sacrés postérieurs), à travers lesquels émergent les branches dorsales des nerfs spinaux sacrés. La vue antérieure montre une surface concave. En plus des lignes transversales, on voit les grands foramens antérieurs (les foramens sacrés pelviens antérieurs), à travers lesquels émergent les nerfs sacrés antérieurs primaires.

Le tronc lombo-sacré (partie de L4 et L5) et les branches ventrales S1 - S3 se combinent sur la face antérieure du muscle piriforme pour former le plexus sacré .

Du plexus, des branches directes sont données aux muscles de la région pelvienne : aux piriformes, aux jumeaux, à l'obturateur interne et au carré fémoral.

Le canal sacré contient les cinq paires de nerfs sacrés. Ils courent caudalement et sortent par les foramens sacrés.

- Le nerf sciatique provient des branches ventrales des nerfs spinaux L4 – S3.
- Le nerf fessier supérieur (L4 – S1) alimente les muscles moyen glutéal et petit glutéal.
- Le nerf fessier inférieur (L5 – S2) alimente le grand fessier.
- Le nerf cutané postérieur de la cuisse (S1 – S3) est un nerf purement sensoriel et dégage des branches vers le bord inférieur des fesses (nerfs cluniaux inférieurs) et vers la région périnéale (branches périnéales).
- Le nerf pudendal (S2 – S5) quitte le bassin à travers le foramen infra-piriforme, passe dorsalement autour de l'épine ischiatique et passe à travers le petit foramen sciatique dans la fosse ischiorectale. Dans la fosse, il court le long de la paroi latérale dans le canal pudendal jusqu'en dessous de la symphyse et avec sa branche terminale vers la face dorsale du pénis ou du clitoris. De nombreuses branches se dégagent dans le canal pudendal :
  - ✓ Les nerfs rectaux inférieurs, qui peuvent également provenir directement des nerfs sacrés S2 – S4, assurent l'alimentation motrice du sphincter anal externe et l'apport sensoriel à la peau périanale et aux deux tiers inférieurs du canal anal.
  - ✓ Les nerfs périnéaux sont impliqués dans l'innervation des muscles du sphincter anal externe et des muscles bulbo-spongieux, ischiocaverneux et périnéaux transverses superficiels.
  - ✓ Les branches musculaires (S3, S4) alimentent les muscles releveurs de l'anus et du coccygien.

- ✓ La vessie, l'urètre et les organes génitaux externes sont principalement innervés par les nerfs de S2 à S4.

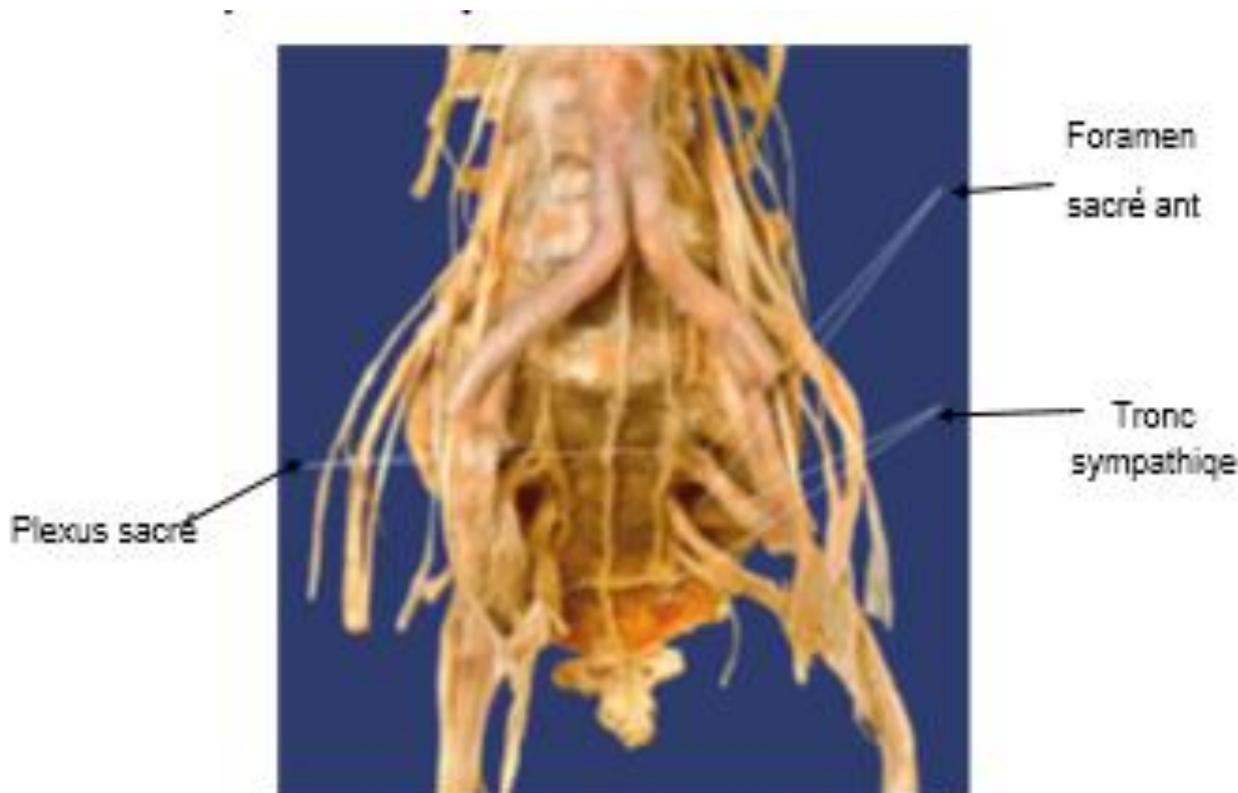


Fig.22 Échantillon anatomique du Sacrum, vue ventrale. 4

Les organes génitaux externes, la vessie et l'orifice rectal sont des zones frontalières entre les muscles lisses autonomes et les muscles striés volontaires. Les fibres autonomes et somato-motrices y sont donc imbriquées.

### **ii.Sac dural : Fig 23**

Le sac dural est la gaine membranaire (thèque) ou le tube de dure-mère qui entoure la moelle épinière et la queue de cheval. Le sac dural contient le liquide céphalorachidien qui fournit des nutriments et une flottabilité à la moelle épinière.

Depuis le crâne, le tube adhère à l'os au niveau du foramen magnum et s'étend jusqu'à la deuxième vertèbre sacrée où il se rétrécit pour couvrir le filum terminal. Le long de la majeure partie du canal rachidien, il est séparé de la surface interne par

l'espace épidural. Le sac a des projections qui suivent les nerfs rachidiens le long de leur chemin hors du canal vertébral qui devient la gaine de la racine dure.

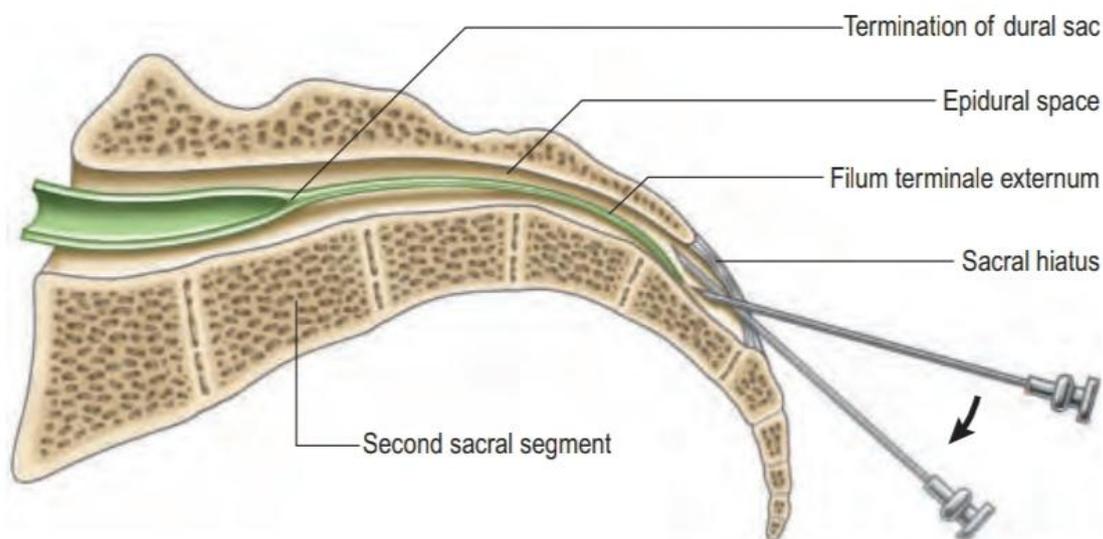


Figure 23 : Image montrant le cul de sac dural 5

### iii. Ligament intra canalaire

Le ligament sacrococcygien postérieur consiste en une bande plate, qui provient de la marge de l'orifice inférieur du canal sacré, et descend pour être insérée dans la surface postérieure du coccyx. Ce ligament complète la partie inférieure et arrière du canal sacré et est divisible en une courte partie profonde (ligament sacrococcygien postérieur profond) et une partie superficielle plus longue (ligament sacrococcygien postérieur superficiel).

#### ❖ Les rapports :

##### i. Antérieur : L'ESPACE PRE-SACRE :

###### A. Situation et définition :

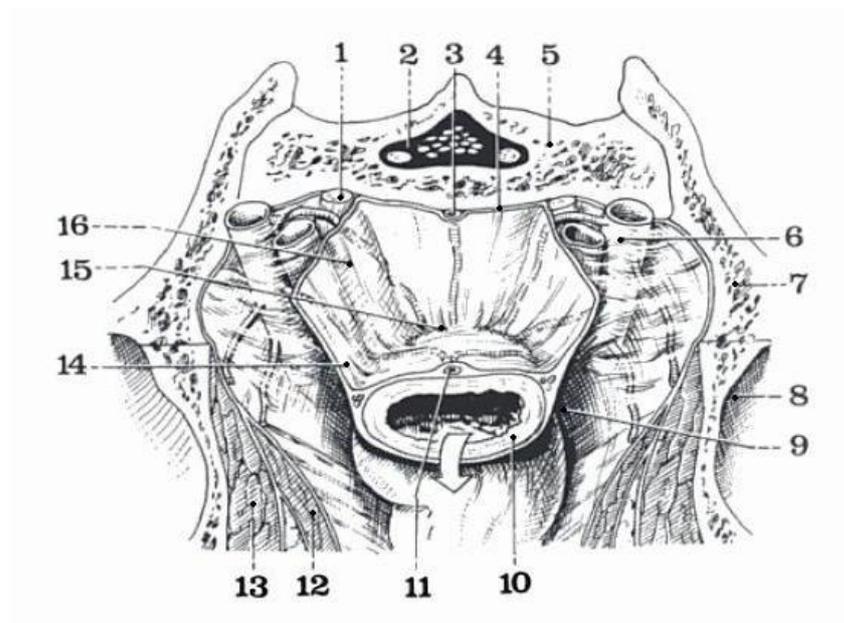
L'espace pelvi-viscéral sous péritonéal est compris entre la paroi pelvienne et les viscères du petit bassin. Cet espace est subdivisé en loges :

- **Loge antérieure** : située entre la vessie et la symphyse pubienne.
- **Loges latérales** : logeant de chaque côté les viscères.
- **Loge postérieure** : c'est l'espace rétro rectal ou pré-sacré; compris entre l'ampoule rectale et la concavité sacrée. Elle communique largement avec la région rétropéritonéale médiane de l'abdomen [6].

#### **B. Limites :**

L'espace rétro-rectal est limité (Fig.24) :

- **En avant** : par le rectum et la lame rétro-rectale.
- **En arrière** : le corps du 3ème, 4ème et 5ème vertèbre sacrée et le coccyx, recouverts d'un feuillet fibreux.
- **Latéralement** : par la partie postérieure des lames sacro-recto-génito-pubiennes contenant le plexus nerveux hypogastrique.
- **En bas** : par les releveurs de l'anus et le muscle recto coccygien.
- **En haut** : par la réflexion du péritoine pariétal sur le rectum [6 ,7].



- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1. Racine sacrée          | 9. Gouttière latéro-rectale                       |
| 2. Canal sacré            | 10. Ampoule rectale                               |
| 3. Artère sacrée moyenne  | 11. Terminaison de l'Art. Mésentérique inférieure |
| 4. Feuillet pré-sacré     | 12. Muscle releveur de l'anus                     |
| 5. Sacrum                 | 13. Muscle obturateur interne                     |
| 6. Artère iliaque interne | 14. Feuillet latéro-rectal                        |
| 7. Os iliaque sectionné   | 15. Espace rétro-rectal                           |
| 8. Cavité cotyloïdale     | 16. Tente de l'artère hémorroïdale moyenne        |

**Figure 24 :** Vue supérieur du pelvis montrant l'espace rectal  
( le rectum est récliné en avant d'après Testut et Latarjet )

### **C. Eléments anatomiques de l'espace pré-sacre :**

La loge rétro-rectale communique largement avec la région péritonéale médiane de l'abdomen, par laquelle arrivent les pédicules vasculaires et le système nerveux sympathique [6,7].

## 1. Les pédicules vasculaires (Fig.25):

### a. Au milieu, les vaisseaux sacrés moyens :

**L'artère sacrée moyenne** : Branche de bifurcation médiane de l'aorte abdominale, elle représente un véritable reliquat embryonnaire prolongeant l'aorte vers l'extrémité caudale de l'organisme.

- Elle prend origine de la face postérieure de l'aorte.
- Son trajet passe derrière la veine iliaque primitive gauche, puis devant le promontoire et sur la ligne médiane, dans l'extrémité sacrée.
- Sa terminaison se situe au-dessous de la pointe du coccyx, dans la glande coccygienne (de Luschka) ou glomus coccygienne qu'elle vascularise.
- Les collatérales, de chaque côté : la 5<sup>ème</sup> artère lombaire, qui passe derrière les vaisseaux iliaques primitifs. Et quatre rameaux transversaux anastomosés avec les artères sacrées latérales [6,8].

**La veine sacrée moyenne** : Satellite de l'artère sacrée moyenne, elle est double devant le sacrum, de chaque côté de l'artère, puis unique au niveau du promontoire, se jetant le plus souvent dans la veine iliaque primitive gauche.

### b. Latéralement, Les vaisseaux sacrés latéraux :

- ✓ Les artères sacrées latérales : Au nombre de deux, ils naissent de l'artère iliaque interne :

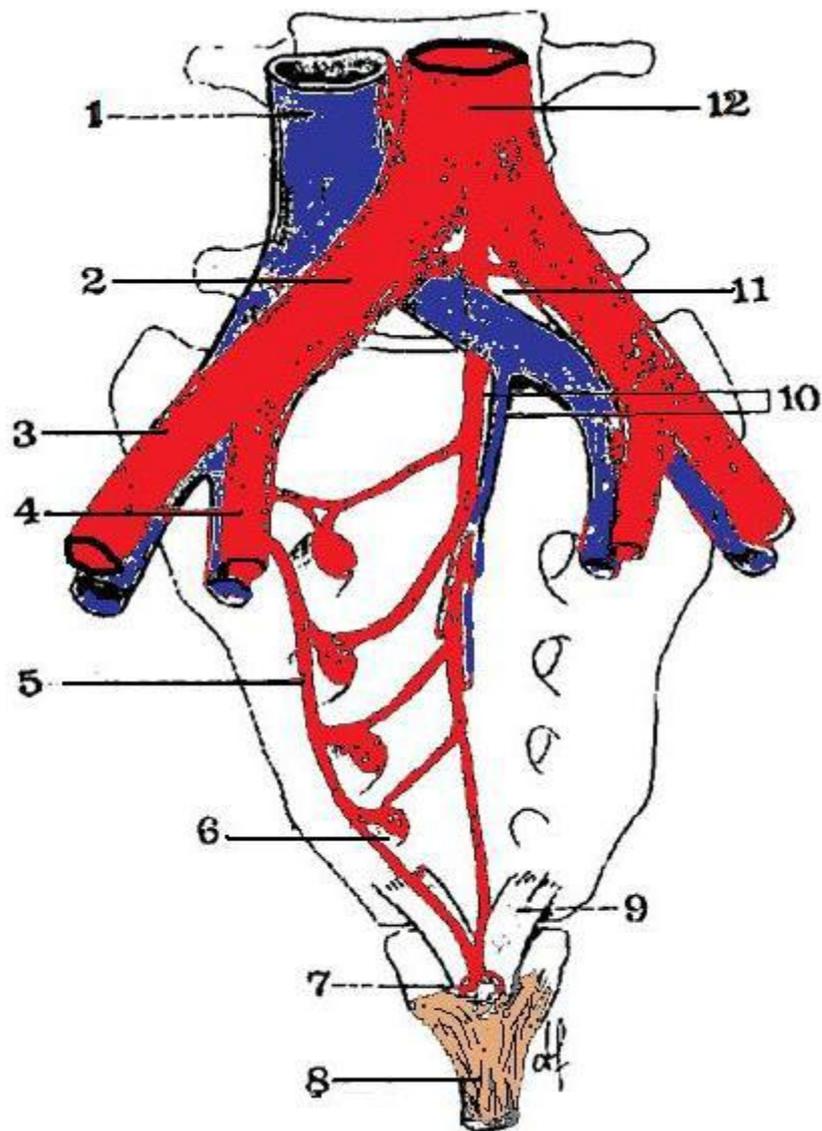
Artère sacrée latérale supérieure : pénètre dans le 1<sup>er</sup> trou sacré antérieur, et se divise en deux rameaux : spinal et dorsal

Artère sacrée latérale inférieure : plus volumineuse, croise le plexus sacré, et pénètre dans la 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> trous sacrés antérieurs, où elle se divise, à chaque niveau, de la même façon que la sacrée supérieure et où elle s'anastomose transversalement avec la sacrée moyenne.

- ✓ Les veines sacrées latérales : Homologues des artères, mais souvent plexiformes, elles montent en dehors des trous sacrés antérieurs et se jettent

dans la veine iliaque interne. Avec les veines sacrées moyennes, elles constituent le plexus veineux sacré antérieur, en liaison en haut avec les veines iliolumbaires et lombaire ascendante.

Les vaisseaux sacrés, ainsi que leurs anastomoses, sont compris dans l'épaisseur de la lame pré-sacrée qui les solidarise et les plaque contre le squelette sacré [6,9]



- |                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Veine cave inférieure           | 7. Glande coccygienne                 |
| 2. Artère iliaque primitive droite | 8. Muscle recto-coccygien             |
| 3. Artère iliaque externe droite   | 9. Ligament sacro-coccygien antérieur |
| 4. Artère iliaque interne droite   | 10. Vaisseaux sacrés moyens           |
| 5. Artère sacrée latérale          | 11. Interligne ilio-aortique          |
| 6. Quatrième trou sacré antérieur  | 12. Aorte abdominale                  |

**Figure 25** : Vue antérieure du confluent aortico-cave

## **2. Le système nerveux sympathique (Fig.26) :**

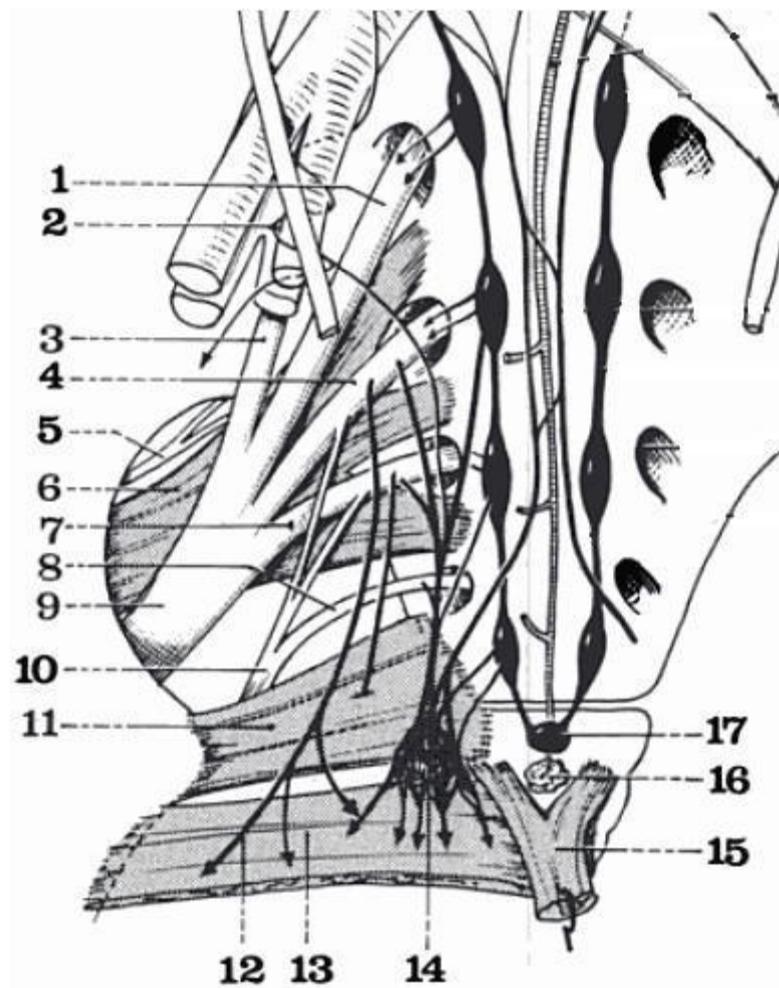
Sur la face antérieure du sacrum descendent deux formations sympathiques destinées à l'innervation des viscères pelviens :

- Latéralement : les deux chaînes sympathiques sacrées qui continuent les chaînes sympathiques lombaires.
- Au milieu : le réseau plus complexe du plexus pré-sacré [6,8].

a. **La chaîne sympathique sacrée ou pelvienne** : Plaquée sur la face antérieure du sacrum, un peu en dedans des trous sacrés antérieurs, elle comprend de chaque côté :

- Un cordon connecteur, souvent divisé en petits filets.
- Trois à quatre ganglions allongés, d'autant plus petits que l'on se rapproche du coccyx.
- En haut : le premier ganglion sacré est fréquemment fusionné avec le 5ème ganglion lombaire.
- En bas : les deux chaînes se réunissent souvent au niveau d'un ganglion commun, qui équivaut à la fusion des 5ème ganglions sacrés, formant le ganglion de WALTER, d'où partent des filets pour la glomus coccygienne qui lui est sous-jacent [6].

b. **Le plexus pré-sacré ou nerf pré-sacré** : correspond au « Plexus hypogastrique supérieure » d'HOVELACQUE, il concentre les fibres afférentes du splanchnique pelvien. En sa terminaison, il se divise en deux branches, droite et gauche, formant un Y renversé [6,8].



- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. Branche antérieure de S1     | 10. Nerf honteux interne       |
| 2. Plexus nerveux péri-artériel | 11. Muscle ischio-coccygien    |
| 3. Tronc lombo-sacré (L4+L5)    | 12. Nerf du releveur de l'anus |
| 4. Branche antérieure de S2     | 13. Muscle releveur de l'anus  |
| 5. Nerf fessier supérieur       | 14. Ganglion hypogastrique     |
| 6. Muscle pyramidal du bassin   | 15. Muscle recto-coccygien     |
| 7. Branche antérieure de S3     | 16. Glande coccygienne         |
| 8. Branche antérieure de S4     | 17. Ganglion de Walter         |
| 9. Nerf grand sciatique         |                                |

**Figure 26** : Vue antérieure du plexus sacré et du système sympathique pré-sacré

**ii. Postérieur : Plan musculo-ligamentaire :**

le sacrum est le lieu d'insertion de plusieurs muscle et ligaments de dedans en dehors :

- L'aponévrose du grand fessier superficiel et du grand dorsal sur la crête médiane.
- Masse sacro-lombaire composé de 2 muscles : ilio-costal et long dorsal qui s'insèrent sur la lèvre interne de la gouttière sacrale.
- Insertion du grand fessier sur la lèvre externe de la gouttière sacrale.
- Ligament ilio-articulaire qui s'insère sur la crête médiale.
- Sur la partie interne de la crête latérale s'insère le grand fessier par son faisceau profond.
- Ligaments sacro-iliaques à la partie externe de la crête latérale.

**❖ ANATOMIE DES ARTICULATIONS SACRO-ILIAQUES****1 - Les articulations sacro-iliaques**

L'une des fonctions principales du sacrum est de répartir de chaque côté vers les hanches le poids du corps qu'il reçoit sur la ligne médiane par L5. Cette répartition se fait par l'intermédiaire des articulations sacro-iliaques.

L'articulation sacro-iliaque est une articulation à mobilité restreinte qui unit le sacrum à l'os coxal. Il s'agit d'une articulation d'un type très particulier pratiquement unique en soi. Elle est considérée soit comme une amphiarthrose (Krause), soit comme une diarthrose du groupe des Condyliennes (Dieulafé, Rouvière) [10]. Des amphiarthroses, elle possède un ligament interosseux et des mouvements peu étendus ; des diarthroses, elle présente la capsule, l'appareil ligamentaire et la synoviale.

Peut-être est-il plus logique de la considérer comme une articulation mixte de type diarthrose-amphiarthrose, en accord avec Paturet et Testut [11].

## 2 - Le développement des articulations sacro-iliaques

Il a été particulièrement étudié par Costes et Valée [12]. L'ilion présente un point primitif remontant à la vie utérine et plusieurs points secondaires notamment de la crête iliaque apparaissant vers quinze ans. Chacune des vertèbres sacrées possède des points primitifs présents dès la naissance (un central et trois latéraux), et des points secondaires : épiphysaires supérieur e inférieur et marginaux. Au moment de l'adolescence, les corps vertébraux sacrés se soudent les uns aux autres, ménageant, entre eux et les massifs latéraux, les canaux sacrés. La coaptation entre sacrum et ilion se produit avec des modalités très variables d'un individu à l'autre.

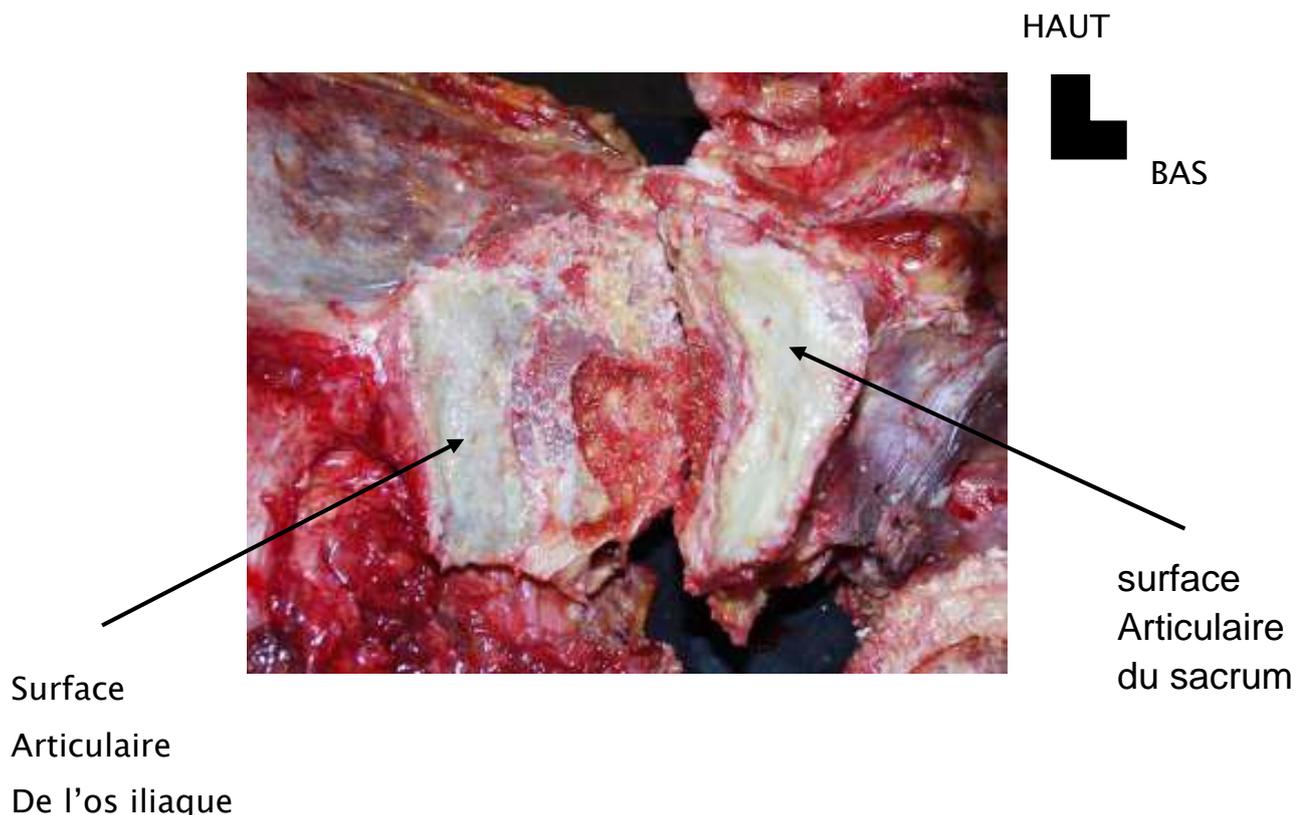
## 3 - Les surfaces articulaires

Les surfaces articulaires, inversement conformées, sont appelées : **surfaces auriculaires**.

Elles ont la forme d'un « **L renversé** » ouvert en haut et en arrière, constitué d'un grand bras inférieur oblique en bas et en arrière, un petit bras supérieur oblique en haut et en arrière.

Elles sont encroutées de **cartilage hyalin**.

- Sacrum : concavité sacrée, **rail creux de Farabeuf**, elle regarde en dehors-en bas et peu arrière
- Os coxal : convexité iliaque, **rail plein de Farabeuf**, regarde en dedans-en haut et peu en avant. [13]. (Figure 27)



**Figure 27 :** image montrant les deux surfaces articulaires sacro-iliaque [14]

#### **4 - Les moyens d'union de l'articulation sacro-iliaque**

##### **.4.1 - La capsule articulaire**

Très dense et courte, elle se confond avec le périoste des deux os et des ligaments de l'articulation.

##### **4.2 - Le ligament sacro-iliaque antérieur**

Situé sur la face antérieure de l'articulation, il est large, mince et se déchire facilement. Il est constitué des deux faisceaux transversaux ou obliques, supérieur et inférieur qui s'étendent de la face antérieure du sacrum sur toute la hauteur des trois premiers trous sacrés à la partie la plus postérieure de la fosse iliaque interne. Au niveau du détroit supérieur, le ligament est pratiquement inexistant.

Le faisceau supérieur est oblique en haut et en arrière et s'étend de l'aileron sacré à l'aile iliaque.

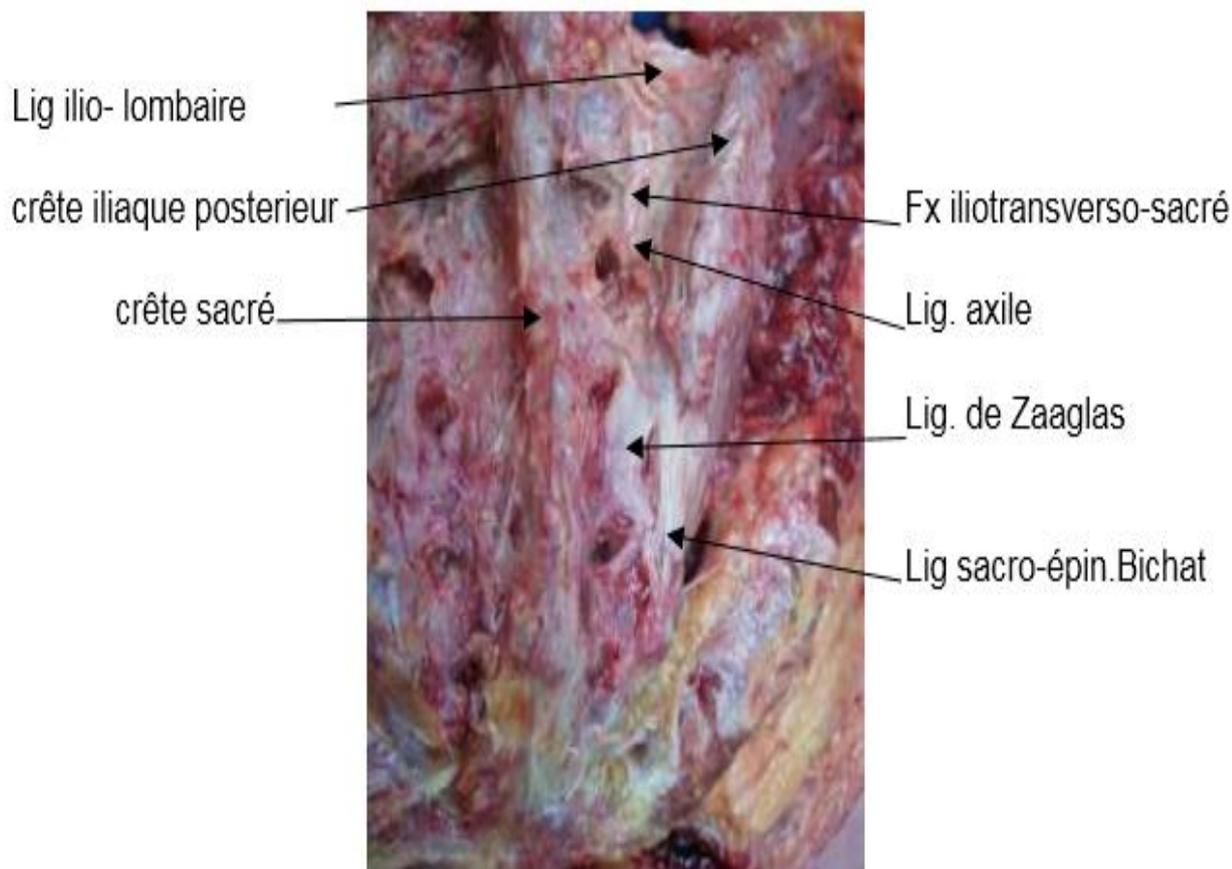
Le faisceau inférieur est oblique en haut et en dehors, il unit la face antérieure du sacrum aux rugosités bordant la grande échancrure sciatique en haut et en avant.

Lors des mouvements de bascule en avant du sacrum, le faisceau supérieur s'oppose à l'abaissement du promontoire, et l'inférieur au relèvement du coccyx.

#### **4.3 - Le ligament sacro-iliaque postérieur**

Il s'agit d'un puissant ligament situé à la face postérieure de l'articulation. Les fibres de ce ligament se dirigent obliquement en haut et en dehors. Cette direction explique que lorsque le ligament est mis en tension, il tire en dedans la partie dorsale de l'ilion ce qui a pour effet de bloquer l'articulation en serrant fortement les surfaces articulaires l'une contre l'autre. (Figure 28)

On distingue un plan superficiel et un plan profond.



**Figure 28** : image en vue postérieure du sacrum montrant les structures ligamentaires

[14]

#### 4.4 – Le ligament ilio-lombaire

Il occupe l'échancrure comprise entre la crête iliaque et la colonne lombaire. Il s'insère sur les apophyses transverses des deux dernières vertèbres lombaires.

On distingue deux faisceaux :

- le faisceau supérieur qui unit le sommet et le bord inférieur de l'apophyse transverse de la quatrième vertèbre lombaire à la crête iliaque ;
- le faisceau inférieur, beaucoup plus épais, s'étend du sommet et du bord inférieur de l'apophyse transverse de la cinquième lombaire à la partie postérieure de la crête iliaque.

Ces deux faisceaux, fusionnés en bas, se fixent d'une part sur la partie la plus postérieure de la lèvre interne de la crête iliaque, d'autre part sur le sacrum et sur le ligament sacro-iliaque postérieur.

Les ligaments ilio-lombaires ont également une direction idéale pour tirer en dedans l'ilion et verrouille l'articulation sacro-iliaque.

Ces ligaments sont de très puissants ligaments facilement identifiables que nous avons respecté sur chaque sujet étudié, tout comme les autres ligaments décrits au-dessus.

#### **4.5 – Ligaments à distance**

##### **4.5.1 – Le ligament sacro-tubéral**

C'est le plus postérieur des deux.

Il s'insère en haut et en dedans sur :

- les deux épines iliaques postéro-supérieures,
- la partie adjacente de la fosse iliaque externe,
- le bord latéral du sacrum,
- les deux premières pièces coccygiennes.

Ses fibres convergent en bas et en dehors, mais de façon non parallèle les unes par rapport aux autres, de telle sorte qu'il présente une portion rétrécie en regard de l'épine sciatique.

Il se termine en bas et en dehors sur :

- le bord médial de la tubérosité ischiatique,
- mais certaines de ses fibres se prolongent sur la branche de l'ischion constituant le processus falciforme (figure 29)



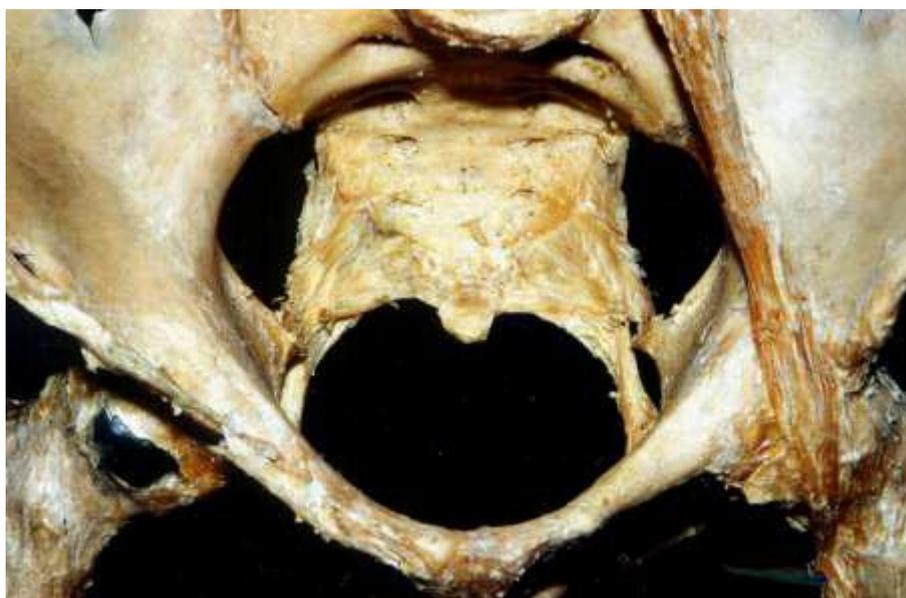
**Figure 29** : vue postérieure du bassin montrant l'insertion du ligament sacro-tubéral

[14]

#### 4.5.2 - Le ligament sacro-épineux :(figure30)

Moins étendu que le précédent, en avant duquel il est situé, il revêt la forme d'une lame triangulaire à base supéro-interne.

Il s'insère en dedans sur le bord médial du sacrum et du coccyx. Ses fibres se dirigent obliquement en bas, en avant et en dehors pour se fixer distalement sur le sommet de l'épine sciatique et sur ses deux bords.



**Figure 30 :** vue antérieure du bassin montrant l'insertion du ligament sacro-épineux

[14]

Pour Roth la symphyse pubienne doit être considérée comme « le véritable ligament antérieur des sacro-iliaques ».

Les deux ligaments sacro-tubérositaire et sacro-épineux transforment l'échancrure sciatique en deux orifices ostéo-fibreux :

- Un orifice supérieur : très grand, de forme irrégulièrement quadrilatère. Il est limité en haut et latéralement par la grande échancrure sciatique, médialement par le bord latéral du ligament sacro-tubérositaire, en bas par le bord supérieur du ligament sacro-épineux.

Il livre passage au muscle piriforme qui le subdivise en un canal sus-piriforme contenant les vaisseaux glutéaux supérieurs et en un canal sous-piriforme contenant le nerf sciatique, les vaisseaux glutéaux inférieurs, le nerf petit sciatique, les vaisseaux pudendaux internes, le nerf pudendal et le nerf rectal inférieur.

- Un orifice inférieur : plus petit, de forme triangulaire ou ovalaire. Il est limité

Latéralement par la petite échancrure sciatique, en haut par le bord inférieur du ligament sacro-épineux et vers la ligne médiane par le ligament sacro-tubérositaire. Il livre passage au muscle obturateur interne, aux vaisseaux pudendaux internes, au nerf pudendal et au nerf hémorroïdal.

Les vaisseaux pudendaux internes ainsi que le nerf pudendal, après être sortis par l'orifice supérieur, pénètrent de nouveau dans la cavité pelvienne.

#### ❖ ROLE DU SACRUM :

La fusion des cinq vertèbres du sacrum commence entre l'âge de 16 ans et 18 ans et prend habituellement fin vers l'âge de 30 ans. Le sacrum remplit plusieurs fonctions importantes dans les systèmes de reproduction, musculaire et nerveux. Sa fonction principale est de relier la colonne vertébrale à l'os de la hanche.

Le sacrum de la femme est plus court, plus large et plus recourbé entre les vertèbres que celui de l'homme. Cette différence anatomique est essentielle au rôle qu'il joue pendant l'accouchement. En pivotant, le sacrum permet d'ouvrir le bassin ; offrant un espace suffisant pour le passage du fœtus.

Agissant en tant que clé de voûte du bassin, il maintient fermement l'ensemble des os de la hanche et supporte la base de la colonne vertébrale. Plusieurs muscles clés de l'articulation de la hanche, tels que le grand fessier, l'iliaque et le piriforme, ont leurs origines à la surface du sacrum. Ces muscles permettent d'assurer la stabilité du corps en position debout.

Le sacrum entoure et protège les nerfs rachidiens du bas du dos, qui serpentent vers la fin du tronc et dans les jambes. Enfin, le sacrum contribue à former la cavité pelvienne, qui soutient et protège les organes délicats de la cavité abdomino-pelvienne.

## ❖ BIOMECANIQUE DE L'ARTICULATION SACRO-ILIAQUE

Il est unanimement reconnu que les articulations sacro-iliaques ne sont, sauf lors de l'accouchement, douées que d'une faible mobilité [15 ;16 ;17 ;18 ;19 ;20 ;21].

Les articulations sacro-iliaques sont indissociables de l'ensemble de la ceinture pelvienne à qui elles appartiennent

### 1 – Rôle statique

Les articulations sacro-iliaques transmettent dans la station debout le poids du tronc aux membres inférieurs par l'intermédiaire des deux os iliaques (les atteintes se caractérisent par des douleurs au sautellement ou en appui unipodal). Puis par l'intermédiaire de trabécules osseuses de l'os coxal, les contraintes s'orientent dans la tête fémorale essentiellement mais aussi dans la branche supérieure du pubis et le corps de l'ischion [21].

La ceinture pelvienne peut être comparée à une voûte à deux piliers qui transmet les lignes de forces au niveau d'un anneau complet : le détroit supérieur [21]. La clé de voûte est formée par le sacrum, véritable coin encastré entre les deux os coxaux.

Dans le plan frontal, les facettes articulaires sont obliques en bas et en dedans, et l'os s'enfonce d'autant plus entre les os iliaques que le poids qui s'applique sur lui est important.

Dans le plan horizontal, le sacrum a tendance à s'échapper vers l'avant, mais par l'encastrement de ses facettes auriculaires aux os coxaux au niveau du détroit supérieur, il réalise un coin à base postérieure. Le sacrum est maintenu par les os coxaux comme les branches d'un casse noix sur une noix [21].

La contention des os iliaques est assurée en avant par le ligament pubien antérieur, et en arrière, par les ligaments sacro-iliaques postérieurs et interosseux.

Lorsqu'il se produit une dislocation de la symphyse pubienne, le diastasis des deux pubis permet l'écartement des surfaces iliaques des articulations sacro-iliaques et le sacrum n'étant plus maintenu peut se déplacer vers l'avant. (figure 31)

Les piliers de la voûte sont les deux os iliaques ; leur architecture est analogue à celle d'un os long avec un système ogival supérieur ou iliaque, deux systèmes ogivaux inférieurs : le système cotyloïdien latéral transmettant le poids du corps à la tête fémorale, et intervenant dans la station debout, et le système ischiatique médial, issu de l'éperon ischiatique, transmettant le poids du corps à la tubérosité ischiatique et intervenant dans la station assise.

On comprend ainsi la complète interdépendance des différents des différents éléments de l'anneau pelvien, toute rupture de continuité en un point retentissant sur la totalité de l'anneau pelvien et compromettant sa résistance mécanique [21].

Ce rôle statique découle donc de conditions favorables :

- solidité des ligaments, notamment du ligament interosseux,
- disposition des surfaces articulaires avec engrènement du rail plein et du rail creux
- mobilité restreinte,
- forme en coin du sacrum.

## 2 - Rôle dynamique. Les mouvements de nutation et de contre-nutation :

### (figure 29)

L'articulation sacro-iliaque est réputée peu dynamique par l'ensemble des auteurs [15 ;16;17 ;18 ;19 ;20 ;22 ;23. Néanmoins il existe des contradictions entre les différents auteurs quant aux théories de fonctionnement de cette dernière et à l'importance que ces mouvements peuvent avoir dans la physiologie de l'accouchement.

Au cours de l'accouchement, les mouvements, réduits habituellement, deviennent importants. Les articulations sacro-iliaques et leurs ligaments, se relâchent et se distendent sous l'effet des hormones gravidiques pour faciliter la progression du fœtus.

### 2.1 - Le mouvement de nutation

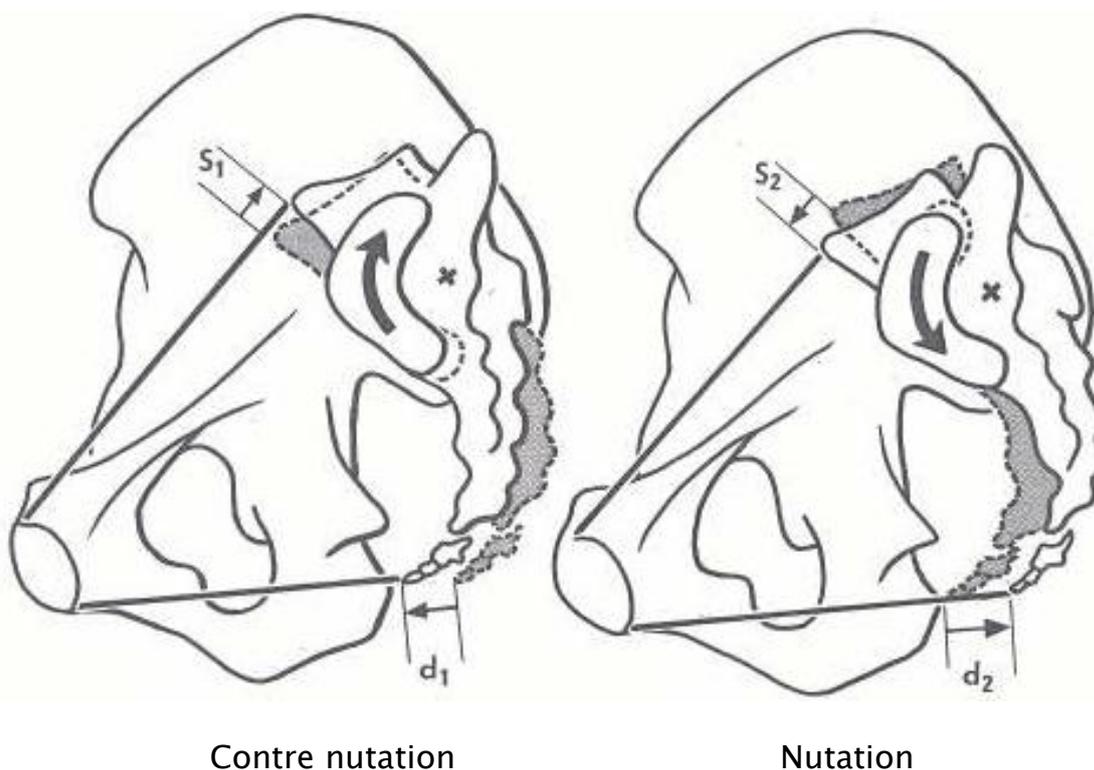
Lors de ce mouvement le sacrum tourne autour de l'axe constitué par le ligament axile, de telle sorte que le promontoire se déplace en bas et en avant et que la pointe du sacrum et l'extrémité du coccyx se déplace en arrière. De la sorte, le diamètre antéro-postérieur du détroit supérieur se trouve diminué, tandis que le diamètre du détroit inférieur se trouve augmenté. Simultanément, les ailes iliaques se rapprochent tandis que les tubérosités ischiatiques s'écartent. Le mouvement de nutation serait limité par la tension des ligaments sacro-tubérotaire et sacroscliatique qui nous intéressent, ainsi que par les freins de la nutation que seraient les faisceaux antéro-supérieur et antéro-inférieur du ligament sacro-iliaque antérieur. Ce mouvement favorise le dégagement [20 ;21].

Selon les théories de la nutation, le mouvement de bascule s'effectuerait autour de l'axe constitué par le ligament axile pour Faraboeuf, autour de l'axe passant par le tubercule de Bonnaire pour ce dernier, il s'agirait d'une translation pure ou d'une rotation autour d'un axe pré auriculaire selon les études de Weisel [19].

La variété de ces théories laisse supposer la difficulté d'analyse d'une articulation aux mouvements de faible amplitude

## 2.2 – Le mouvement de contre nutation

Il réalise les déplacements inverses : le sacrum pivote autour du ligament axile, se redresse, le promontoire se déplace en haut et en arrière et l'extrémité inférieure du sacrum ainsi que la pointe du coccyx se déplacent en bas et en avant. Le diamètre antéro-postérieur du détroit supérieur se trouve ainsi augmenté tandis que celui du détroit inférieur est diminué. Par ailleurs les ailes iliaques s'écartent et les tubérosités ischiatiques se rapprochent. Le mouvement de contre-nutation serait limité par la tension des ligaments ilio-sacrés, répartis en plan superficiel et plan profond. Ce mouvement favorise l'engagement [20 ;21].



**Figure 31:** représentation schématique de la biomécanique de l'articulation sacro-iliaque [14]

## II-ETHIOPATHOGENIE :

### 1 - fractures sacrées :

Les fractures sacrées sont un groupe hétérogène de fractures. Ils peuvent survenir à la suite d'un traumatisme à haute énergie chez les sujets jeunes, ou à la suite d'un traumatisme à basse énergie chez des patients présentant des processus métaboliques ou néoplasiques et des patients âgés souffrant d'ostéoporose.

#### a. Les fractures traumatiques du sacrum

##### ❖ L'incidence :

L'incidence des fractures sacrées d'origine traumatique a été rapportée à 2,1 cas pour 100 000 personnes [24-25]

Cette incidence aura la perspective de continuer à augmenter dans les années à venir, vu la fréquence élevée des accidents de la voie publique [26-24-25]. Cependant, la croissance rapportée doit également être attribué à l'utilisation de plus en plus répandue la tomodensitométrie (TDM), qui permet un taux de diagnostic plus élevé. [28]

##### ❖ Age :

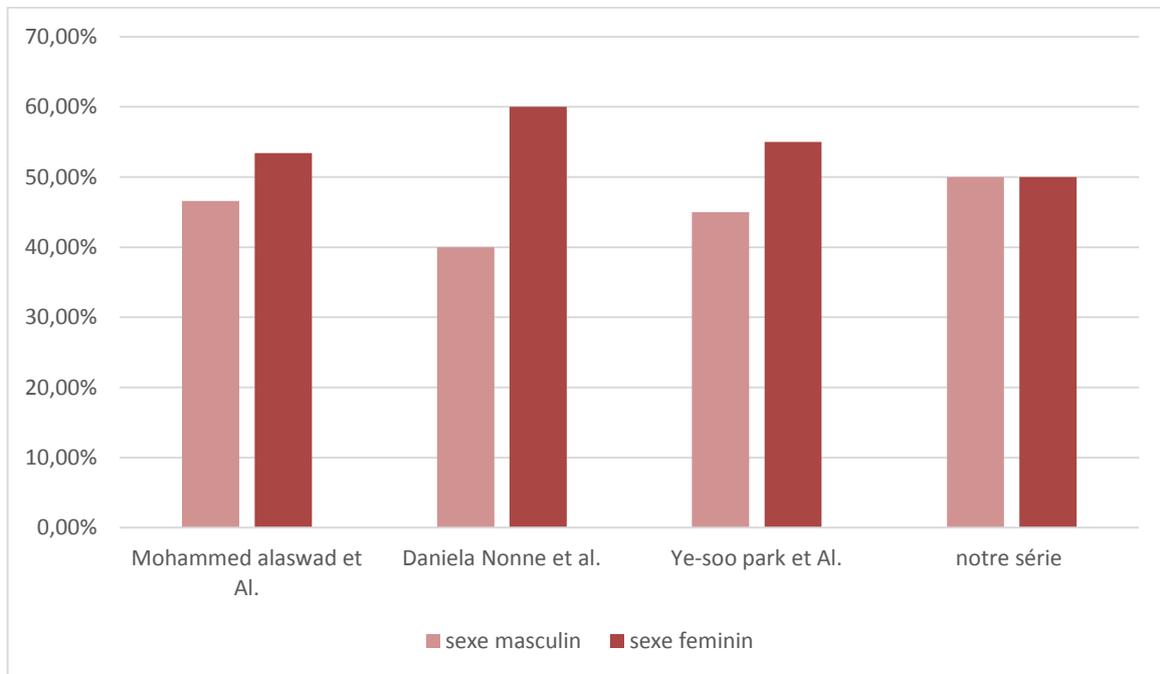
Dans nos observations, en rapporte deux cas de fracture sacré d'origine traumatique d'âge jeune avec une moyenne d'âge de 20 ans. Ce qui correspond aux données de la littérature récente.

**Tableau 1 : la moyenne d'âge des différentes séries :**

Série	Age
Mohammed alaswad et al(2020) [29]	28 ans +8,11
Daniela Nonne et al (2018) [30]	34 ans
Ye-soo park et al(2012) [31]	43,1 ans
vassili et al (2010) [32]	30ans
Nos malades	21 ans

❖ **Sexe :**

Dans nos observations, on rapporte deux cas de fractures traumatiques du sacrum, dont un correspond au sexe féminin et l'autre au sexe masculin

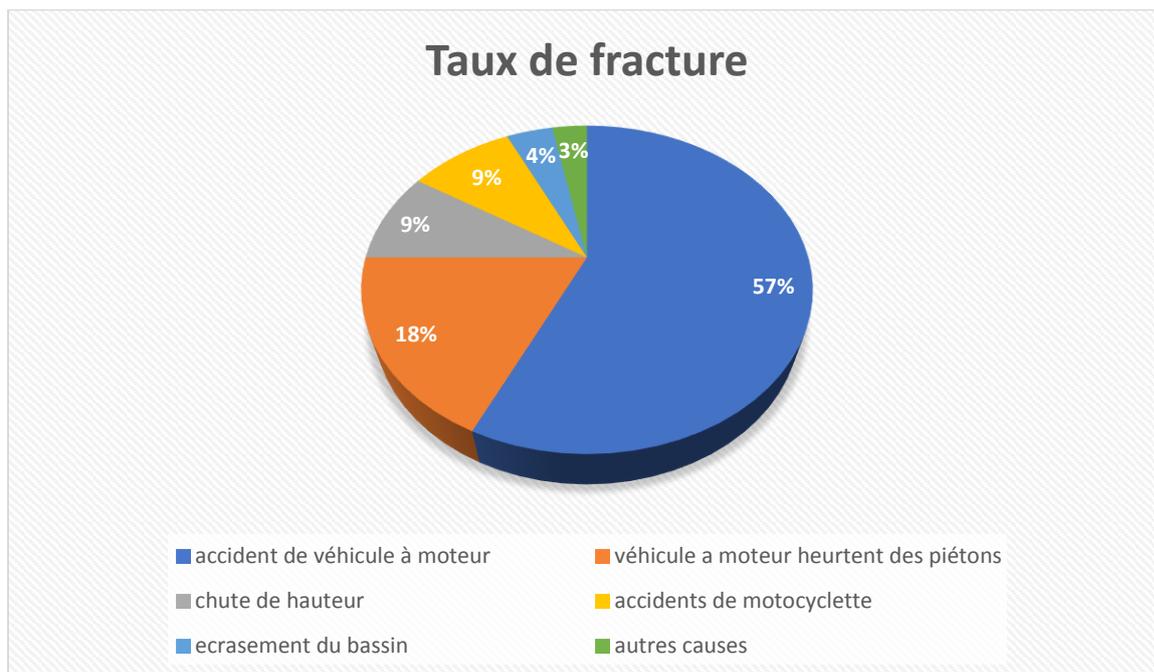


**Figure 32 :** variation du sexe dans la littérature

### ❖ Etiologie

Cinquante-sept pour cent de ces fractures sont le résultat d'accidents de véhicules à moteur, 18% de véhicules à moteur heurtant des piétons, 9% de chutes de hauteur, 9% d'accidents de motocyclette et 4% de blessures par écrasement au bassin.

[33-34]



**Figure 33 :** les différentes causes de fractures traumatiques du sacrum

Dans notre série il existe deux causes de fracture : le premier cas fracture suite à une chute d'une hauteur, ainsi que le deuxième cas, la fracture est suite à un accident de véhicule à moteur.

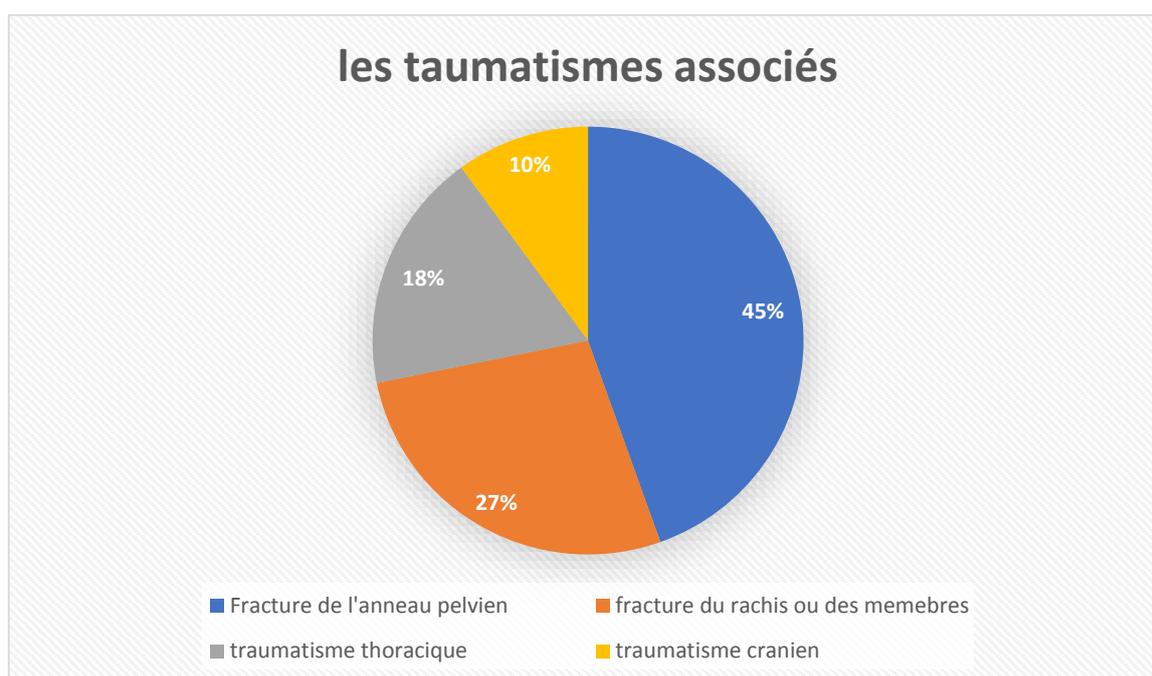
### ❖ Mécanisme lésionnel :

Il existe deux mécanismes principaux qui conduisent à des fractures sacrées. Le plus souvent, les fractures résultent des forces transmises par l'anneau pelvien au sacrum. Ces blessures s'expliquent par les vecteurs de force utilisés dans le système Young-Burgess.

- **Les fractures par compression latérale** sont fréquemment observées dans les accidents de la route [33]. Les fractures sacrées les plus courantes, résultant de forces de compression latérales, impliquent une petite fracture de la lèvre sacrée ou une fracture verticale incluse ipsilatérale au vecteur de force et sont cliniquement stables [33]. Les forces de compression latérales peuvent également conduire à des fractures sacrées plus graves et instables [36].
- **Les lésions de cisaillement vertical** résultent généralement d'une chute de hauteur sur les membres inférieurs [36,33]. Ils impliquent une perturbation des bords pelviens antérieurs et postérieurs et un éventuel déplacement céphalique du fragment de fracture. La fracture sacrée correspondante sera verticale [35,33,36].
- **Les blessures par compression antéropostérieure** sont moins susceptibles d'entraîner des fractures sacrées.
- Dans les cas graves, **des avulsions sacrées latérales** peuvent être notées en raison de la sollicitation des ligaments sacro-iliaques [38].
- **Les blessures complexes ou mixtes** sont principalement une combinaison de forces de compression latérales et antéro-postérieures et sont souvent observées dans les traumatismes multiples.
- Le mécanisme moins courant de fracture traumatique du sacrum est **une contrainte directe sur le sacrum**, qui peut résulter d'une chute élevée sur les fesses. Les vecteurs de force utilisés pour définir le système de Young - Burgess ne peuvent décrire cette fracture sacrée isolée. Ces fractures isolées du sacrum représentent 5 à 10% de toutes les fractures sacrées et sont caractérisées par des fractures transversales plutôt que verticales [38]. Ces fractures sont souvent associées à des fractures thoraco-lombaires en rafale [33]

### ❖ Les Traumatismes associées :

Des fractures associées sont retrouvées dans la quasi-totalité des cas [24]. La moitié des patients présente une fracture de l'anneau pelvien (du bassin ou du cotyle), 30% ont au moins une fracture du rachis ou des membres inférieurs (calcanéum), près de 20 % un traumatisme thoracique ou, plus rarement, abdominal (16 %) [39] et près de 11 % un traumatisme crânien.



**Figure 34:** les taumatismes associés aux fractures du sacrum

#### b. Les fractures d'insuffisance du sacrum :

La maladie la plus courante qui affaiblit les os chez les personnes âgées est l'ostéoporose ; on distingue ainsi les types primaires et secondaires d'ostéoporose.

L'ostéoporose primaire est retrouvée chez 70 à 80% des individus atteints, y compris l'ostéoporose post-ménopausique et sénile. Les 20 à 30% restants présentent une fragilité osseuse accrue due à une autre pathologie. Les causes sous-jacentes sont soit les médicaments / produits pharmaceutiques, tels que la cortisone ou l'alcool, les troubles endocrinologiques tels que la parathyroïdien secondaire, les problèmes gastro-intestinaux ou les maladies hématologiques [40].

L'ostéoporose est une maladie conduisant à une masse osseuse plus faible générale et à une altération de la microarchitecture osseuse, augmentant ainsi le risque de fractures pathologiques [41].

❖ **L'incidence :**

Les changements épidémiologiques dans le premier et deuxième pays du monde conduiront inévitablement à une augmentation constante de la population âgée. Dans l'Union européenne, le nombre de personnes de plus de 50 ans augmentera de 20% jusqu'en 2025, alors que, dans le même temps, la population de personnes de plus de 80 ans augmentera d'environ 32% [42].

Dans la population âgée de 50 ans ou plus, la prévalence de l'ostéoporose était de 21% chez les femmes et de 6% chez les hommes [43].

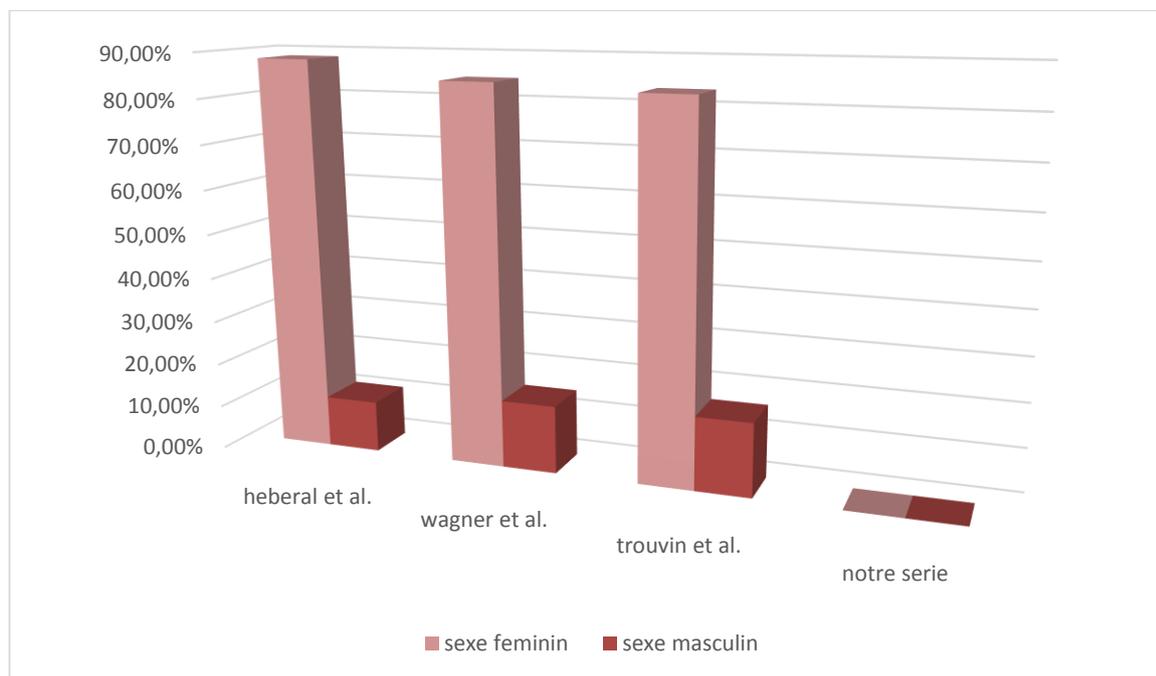
En 2010, environ 22 millions de femmes et 5,6 millions d'hommes étaient touchés par l'ostéoporose dans l'Union européenne. En 2025, on estime que 34 millions de personnes au total seront touchées. Dans le même temps, on estime que les fractures associées à l'ostéoporose passent de 3,5 à 4,5 millions par an [42].

❖ **Age :**

Dans nos observations, l'âge moyen était relativement jeune .

**Tableau 2 : la moyenne d'âge des différentes séries :**

Série	Age moyen
Heberal et al 2020[44]	80ans +9,09
Wagner et al 2018 [45]	79,6ans
Trouvin et al 2012 [46]	83,2ans
Nos malades	0 cas

❖ **Sexe :**

**Figure 35 :** variation du sexe dans la littérature

La prédominance féminine est nettement marquée dans les données de la littérature.

❖ **Mécanisme lésionnel :**

En raison de l'architecture interne modifiée du sacrum, des fractures d'insuffisance peuvent survenir soit insidieusement, soit à la suite d'un traumatisme mineur. La biomécanique des fractures par insuffisance n'est pas complètement élucidée. Une histoire de traumatisme peut être minime ou inexistante.

Il a été suggéré par certains chercheurs que, sur la base du schéma commun des fractures d'insuffisance sacrée, il est possible qu'elles surviennent secondaire à la mise en charge transmise par la colonne vertébrale [47].

## **2. Les tumeurs du sacrum :**

Les tumeurs du sacrum et des structures neurologiques et pelviennes associées sont des entités rares, représentant 1 à 7% de toutes les tumeurs cliniquement apparentes de la colonne vertébrale. [48]

La majorité des tumeurs sacrées sont des métastases secondaires de lésions distantes, le plus souvent un myélome multiple ou du sein, de la prostate carcinomes du poumon ou du côlon. [49]

La tumeur sacrée maligne primitive la plus courante est le chordome, qui représente plus de la moitié des tumeurs sacrées primitives [50,51], alors que les tumeurs à cellules géantes représentent la lésion bénigne la plus courante du sacrum. [52]

### **❖ Incidence :**

🚦 **Les tumeurs bénigne et pseudo-bénignes du sacrum :** représentent environ 10% de toutes les tumeurs bénignes du squelette.

Les tumeurs sacrées bénignes courantes chez les enfants sont les tératomes sacrococcygiens (les plus courants), les lipomes, les dermoïdes, les kystes épidermoïdes et les îlots osseux ou les énostoses [53, 54]. Les anomalies congénitales telles que le spina bifida occulta, le cordon attaché, les naevus poilus, les voies sinusales dermiques et les fossettes sont associées à des tumeurs du sacrum chez les enfants [55, 56].

Les tumeurs sacrées bénignes les plus courantes chez l'adulte sont les tumeurs à cellules géantes (13% de toutes les tumeurs sacrées et 60% des tumeurs du sacrum), les kystes osseux anévrysmaux (4%), le reste sont des ostéoblastomes, les schwannomes, les ostéomes ostéoïdes, les ostéochondromes squelettiques, les fibromes chondromyxoïdes, la gaine nerveuse et les tumeurs méningées du sacrum [57,58, 59,60].

✚ Parmi **les tumeurs osseuses malignes** :6 à 8% touchent le sacrum et comprennent le chordome (50%), le lymphome (9%) et le myélome multiple (9%), le sarcome d'Ewing chez l'enfant (8%), le chondrosarcome chez l'adulte et l'ostéosarcome [61 ]. Les métastases ne sont pas courantes, et si une maladie métastatique est rencontrée, il s'agit généralement d'un événement tardif [62].

❖ **Age :**

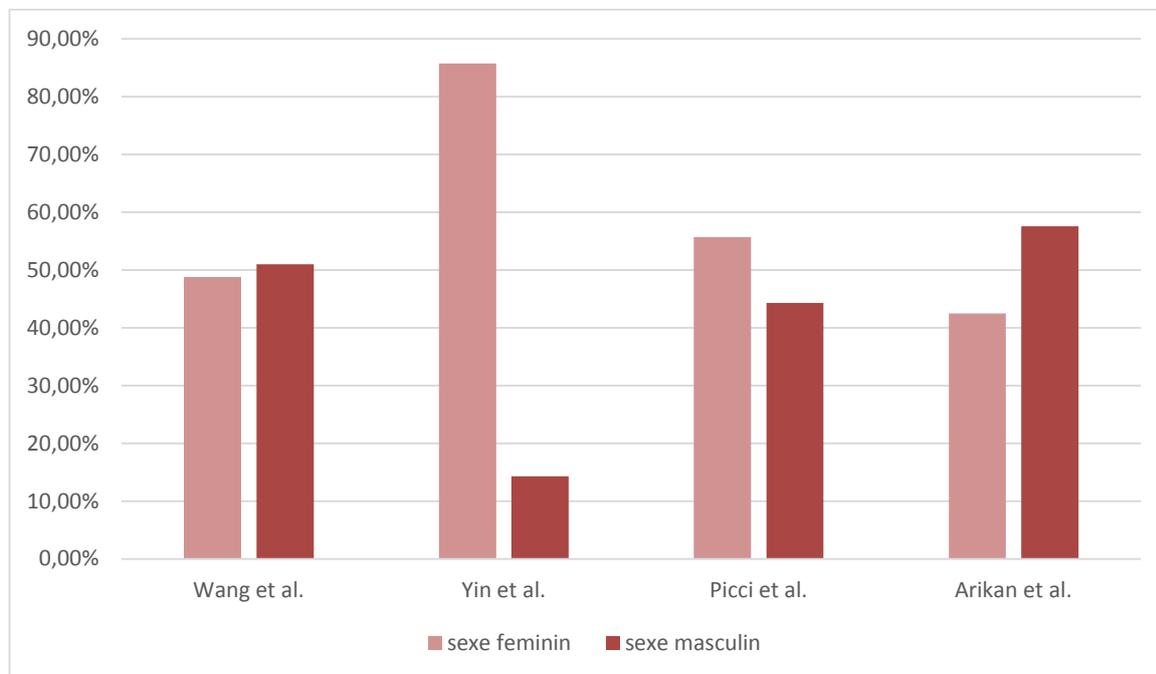
Dans nos observations, on rapporte un seul cas de tumeur sacrée de 39 ans, ce qui correspond aux données de la littératures récentes.

**Tableau 3 : la moyenne d'âge des tumeurs sacrées des différentes séries :**

séries	L'âge moyen
Wang et al. [63] (2020)	43 ans + 17
Yin et al. [64] (2018)	43 ans
Picci et al. [65] (2017)	44 ans
Arikan et al. [66] (2014)	48,9 ans
Nos malades	39 ans

❖ Sexe :

Dans nos observations, un seul cas de tumeur sacrée a été noté de sexe féminin, qu'alors dans la littérature on rapporte une légère prédominance Féminine



**Figure 36 :** variation du sexe dans la littérature

### **III- CLASSIFICATION :**

Plusieurs systèmes de classification ont été proposés pour décrire les fractures selon la morphologie, le mécanisme, le risque de déficit neurologique ou la stabilité. Parmi celles-ci, la classification de Denis et la classification de Roy-Camille modifiée sont les plus utilisées [67].

Cependant, chaque système a ses avantages et ses inconvénients. Les inconvénients les plus évidents sont le manque d'informations concernant l'état clinique général et neurologique, l'intégrité fonctionnelle de la vessie et des systèmes mictionnels, les performances sexuelles et l'implication des tissus mous dans la blessure. Tous ces éléments sont cruciaux pour la prise de décision.

Il y a donc un besoin pour un outil descriptif plus large qui permettrait au clinicien de communiquer de manière appropriée tout en fournissant des conseils de gestion [68,69,70]. Cela conduit à la classification de la colonne vertébrale AO, que nous discuterons en détail ci-dessous. D'autres systèmes de classification tels que l'échelle d'Isler et le système structurel de dissociation spino-pelvienne seront également mentionnés.

Les fractures du sacrum peuvent être divisées en deux grandes catégories : les fractures du sacrum avec lésion de l'anneau pelvien et les fractures isolées du sacrum.

#### **1. Classification de Denis:**

Le système de classification de Denis a été proposé en 1988 à la suite d'une analyse rétrospective de 236 cas [33]. Il est basé sur la présentation anatomique des composantes verticales des fractures sur l'anatomie du sacrum divisée en trois zones principales. La classification de Denis est particulièrement utile pour prédire le risque de déficit neurologique mais manque d'informations sur les tissus mous et l'instabilité. Par conséquent, il n'est pas toujours adapté à la prise de décision lorsqu'il est utilisé seul (Figure 37 et annexe 3).

 **Les fractures de la zone de Denis I (zone alaire) sont celles qui**

apparaissent dans l'aile du sacrum sans aucun dommage au foramina ou au canal rachidien. Ils présentent un faible risque de déficit neurologique (<7%), et un tel déficit est lié à la racine L5. Cela signifie une présentation clinique avec des perturbations motrices de la flexion dorsale et un déficit sensoriel lié au mollet latéral et au pied. [71,33]

Les fractures de la zone de Denis I peuvent être subdivisées en celles avec et sans déplacement horizontal significatif [33]. Habituellement, ces fractures n'entraînent pas d'instabilité et présentent un faible risque de déficit neurologique à moins qu'elles ne se présentent bilatéralement, auquel cas l'instabilité est suffisante pour justifier une stabilisation chirurgicale [72].

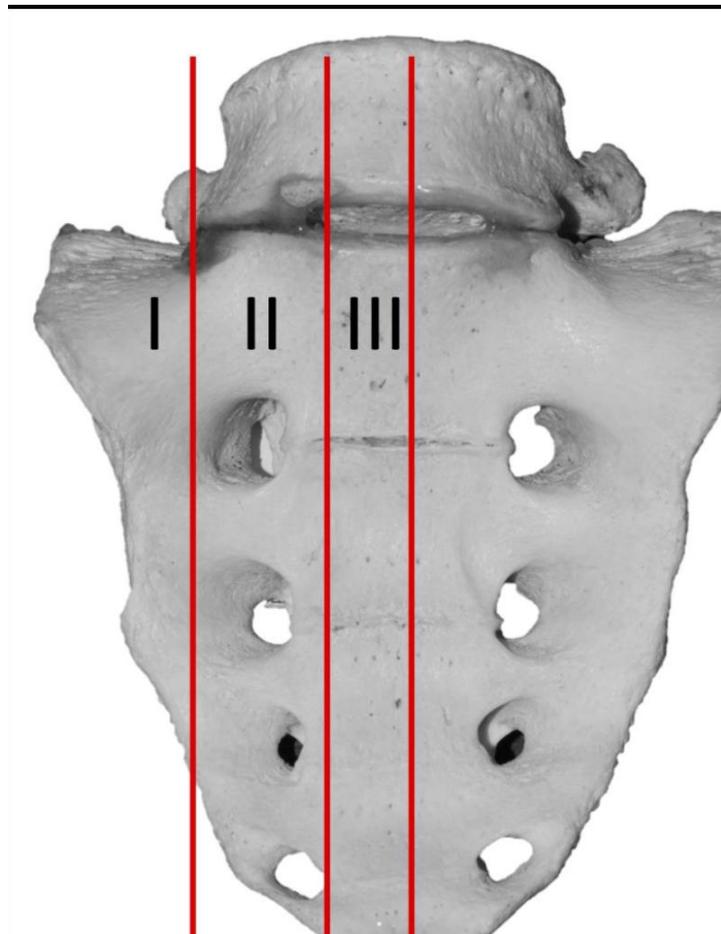
 **Fractures de Denis zone II (zone foraminale) présentes dans les**

foramens sacrés (un ou plusieurs foramens). Ils entraînent un déficit neurologique chez jusqu'à 28 à 30% des patients et concernent la radiculopathie non pas tellement de L5 mais plus de S1-S2 [71]. Par conséquent, des mictions fécales et vésicales ainsi que des lésions du nerf pudendal sont impliquées, et la condition facilite l'apparition de troubles sensoriels dans le périnée, l'anus et les organes génitaux [73].

 **Les fractures de Denis zone III (zone centrale) touchent le canal**

rachidien. La ligne de fracture peut traverser deux zones. Ils ont un risque de déficit neurologique dans 57% et représentent la pire condition du système de classification, étant liée au syndrome de la queue de cheval. Ebraheim et coll. ont constaté que 87,5% des patients présentant une fracture sacral Denis zone III avaient une perte de la fonction intestinale et vésicale et 62,5% avaient un dysfonctionnement sexuel [74]. Comme ce modèle montre presque invariablement une composante transversale, Roy-Camille a proposé une subdivision des fractures Denis zone III basée

sur le déplacement du segment de fracture, initialement en trois types, mais cela a été modifié par la suite par Strange-Vognsen et Lebech en 1991 qui ont ajouté un quatrième modèle.



**Figure 37:** classification de Denis montrant les différentes zones de fractures [193]

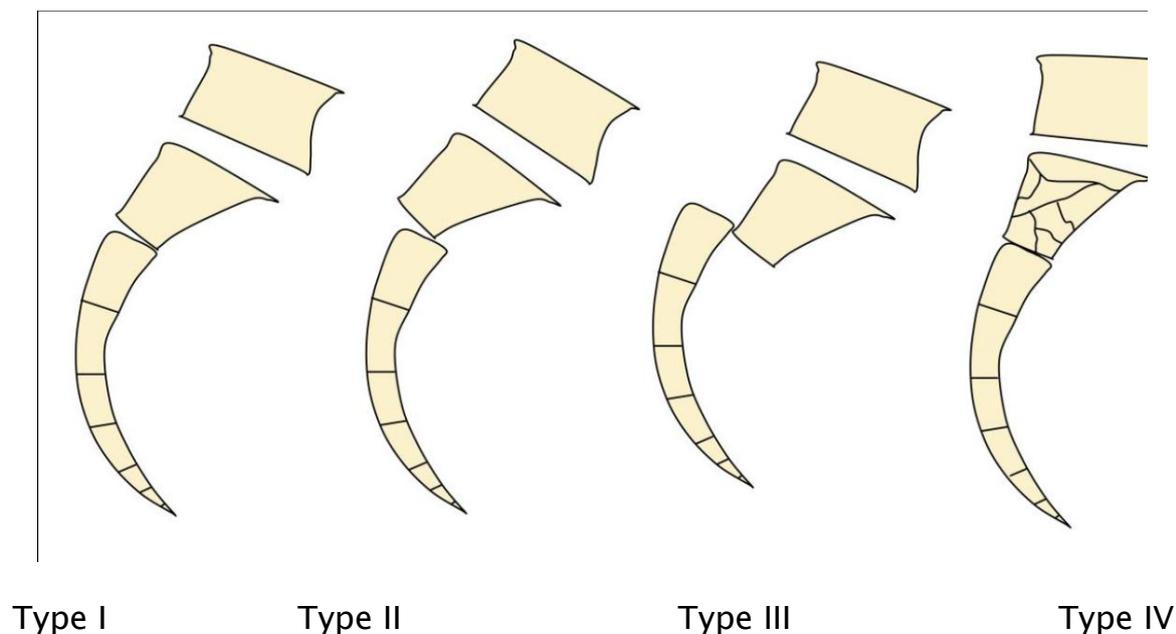
## 2. La classification Roy-Camille modifiée :

La classification de Roy-Camille a été proposée pour la première fois en 1985 [75]. Cependant, sa version finale est apparue après les modifications susmentionnées de Strange Vognsen et Lebech en 1991 [76]. Cette classification fournit des informations utiles sur la configuration morphologique de la fracture, le degré de déplacement ventro-dorsal et le mécanisme, ainsi qu'un certain degré d'informations sur le risque de déficit neurologique et la stabilité. Il fournit également des conseils de gestion (figure 38 et annexe 4). Cependant, le système manque encore d'évaluation clinique ; l'implication des tissus mous adjacents n'est pas abordée, donc encore une fois, les conseils cliniques fournis ne permettent pas d'établir le meilleur processus de prise de décision.

- ✚ **le type I** fait référence à une fracture sacrée central avec une déformation kyphotique sans déplacement;
- ✚ **le type II** se réfère à une fracture sacrée présentant une cyphose et une rétrolisthésis partielle du segment supérieur avec un risque plus élevé de neuropathie que le type I.

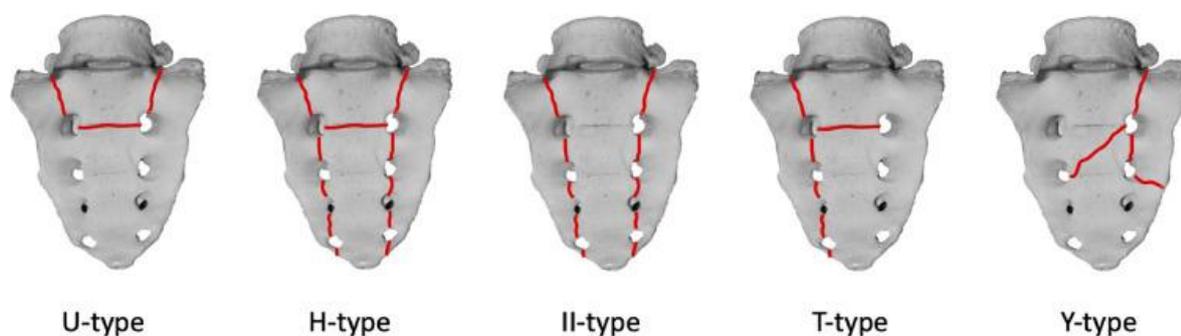
Les deux types I et II sont produits par hyperflexion du sacrum et présentent un risque modéré d'instabilité.

- ✚ **La fracture de type III** présente une spondyloptose sacrée, présentant le risque le plus élevé de syndrome de la queue de cheval avec un risque élevé d'instabilité.
- ✚ **le type IV**, ajouté en 1991, présente une fracture transversale sans déplacement et avec comminution du segment atteint. Il est produit par des forces de chargement axiales et présente un taux d'instabilité élevé [77].



**Figure 38:** Classification de Roy-Camille modifiée par Strange-Vognsen et Lebech (Types I à IV) [193]

Avec l'avènement de la tomodensitométrie, un système supplémentaire analogue au système de Roy-Camille modifié a été produit en tant que classification simplement descriptive des dissociations spino-pelviennes. Il classe les fractures en fonction de la forme de la ligne de fracture comme suit: U, H, II, T et Y (Figure 39) 77].



**Figure 39:** Représentation schématique des types de dissociation spino-pelviennes (adapté de Lehmann et al., 2012) [193]

Ce système est largement utilisé mais fournit peu de conseils de gestion car tous ces présentations sont généralement instables. Pour cette raison, la classification de Denis et la classification de Roy-Camille modifiée restent les principaux outils d'évaluation dans le monde. [71]

### 3. Classification d'ISLER :

la classification d'Isler (Figure 40 et annexe 5) classe les fractures de Denis zone II en fonction de la position de la ligne de fracture par rapport à l'articulation de la facette et fournit des informations de stabilité:

- ✚ **Isler type I** : pour celles latérales à la facette,
- ✚ **Isler type II** : pour ceux qui perturbent la facette directement,
- ✚ **Isler le type III** : pour ceux qui s'étendent médialement à l'articulation de la facette et impliquant le canal rachidien.

Il est à noter que le type I se présentant bilatéralement et le type III se présente unilatéralement entraîne une instabilité et indique un traitement chirurgical.

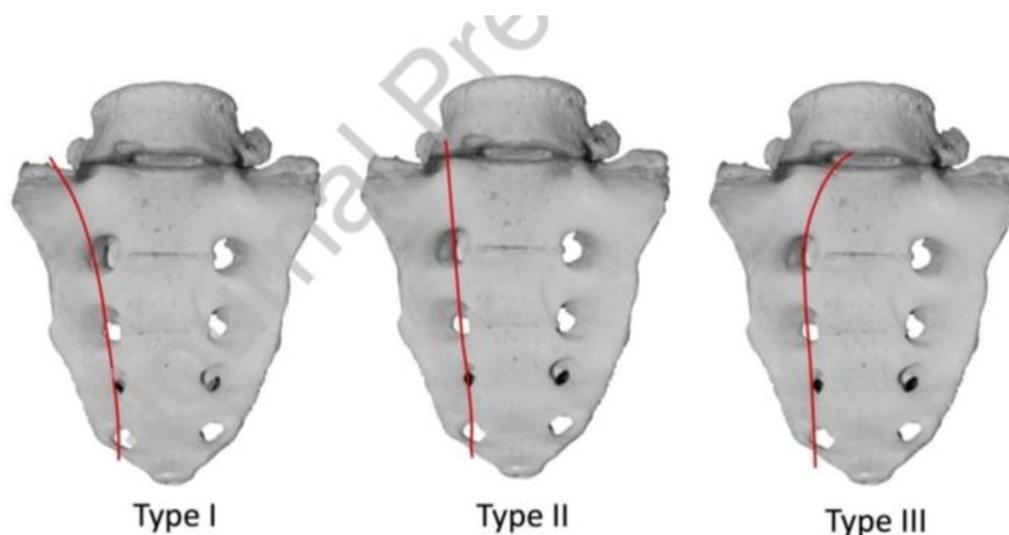


Figure 40 : Classification d'Isler des fractures sacrées de Denis zone II (types I à III)

[193]

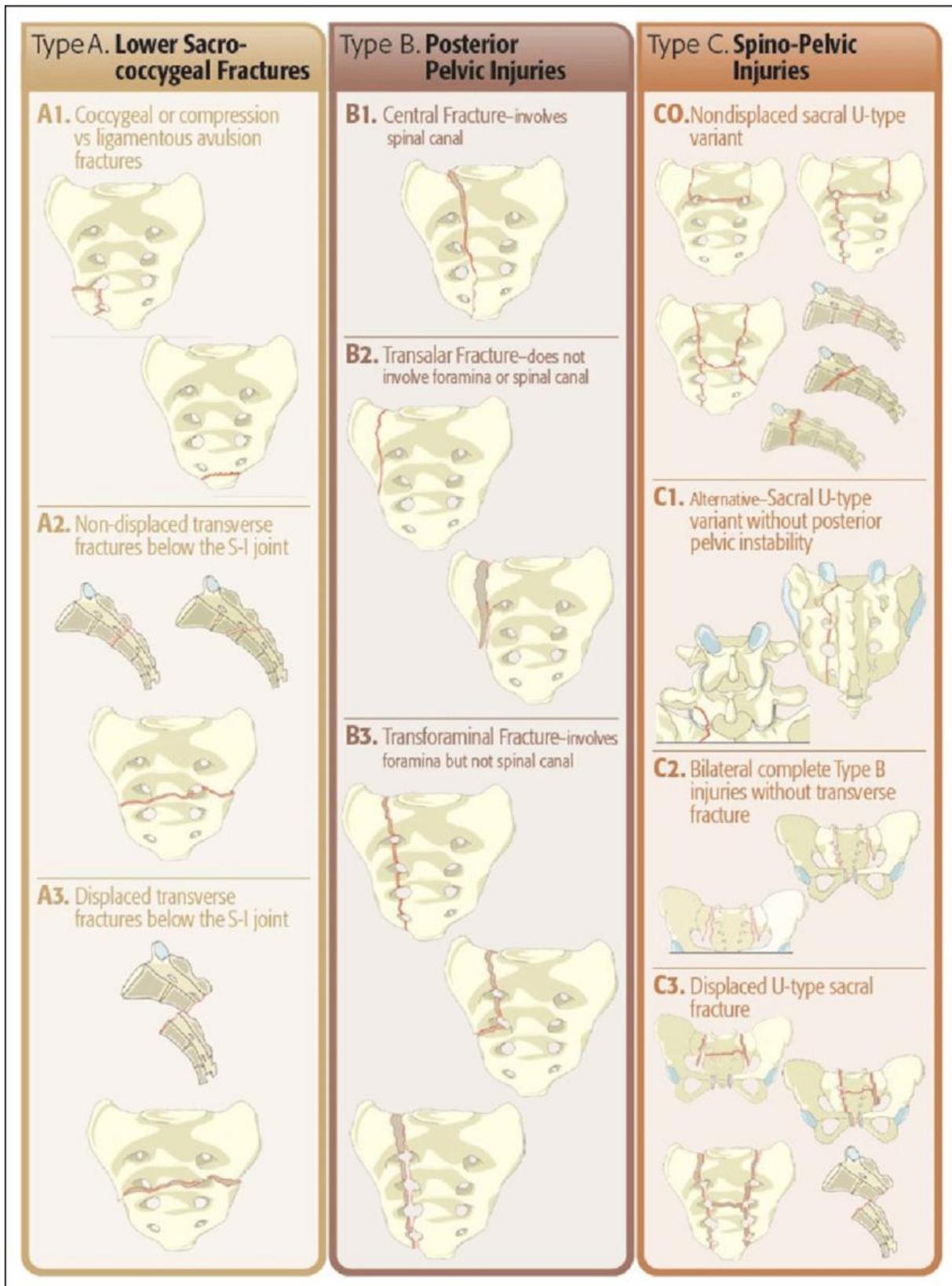
#### 4. Classification AO de la colonne vertébrale pour les fractures sacrées :

En 2016, une enquête menée par la fondation AO auprès de 474 chirurgiens de la colonne vertébrale dans le monde a révélé un consensus : un système de classification universellement accepté était nécessaire qui inclurait des conseils cliniques, une communication améliorée entre les professionnels de la colonne vertébrale, une évaluation globale de la stabilité et la corrélation de la gravité de chaque type de fracture [70].

Sur la base de ce consensus, et avec la collaboration des membres AO de la colonne vertébrale et des traumatismes le système de classification AO Spine Sacral Fracture a été proposé pour atténuer les inconvénients des systèmes antérieurs [78]. Les fractures ont été classées en :

- ✚ **type A (A1–A3)** : pour les lésions sacrococcygiennes inférieures; pas d'impact sur l'instabilité pelvienne postérieure ou spino-pelvienne,
- ✚ **type B (B1–B3)** : pour les lésions pelviennes postérieures; l'impact principal est sur la stabilité pelvienne postérieure ;
- ✚ **le type C (C0–C3)** : pour les blessures spino-pelviennes; instabilité spino-pelvienne (Figure 41 ).

Ce système conserve une hiérarchie de gravité croissante, le type C étant le plus sévère [78]. De plus, il traite des informations sur l'état neurologique, modifiant l'évaluation de la queue de cheval de Gibbon et les modificateurs des tissus mous(annexe1)) [33].



**Figure 41:** Système de classification sacrée Aospine\_[193]

En résumé :

L'incidence du type de la fracture et des combinaisons lésionnelle dans les fractures du sacrum traitées par vissage sacro-iliaque est différente selon les études :

Dans la série de Vassili [32], portée sur 16 cas de fracture du sacrum, 62,5% des cas sont des fractures classées zone 1 selon Denis, 18,75% des cas sont classées de zone 2, et 12,5% des cas sont classées zone 3 .

Dans la série de Yee soo Park [31], portée sur 71 cas de fracture du sacrum, 67,6% des cas sont des fractures classées zone 1 selon Denis, 21,12% des cas sont classées zone 2, et 9,85% des cas classées zone 3.

Dans la série de Daniela Nonne [30], portée sur 5 cas de fracture du sacrum, 100% des cas sont des fractures classées zone 3 selon Denis, et 40% des cas de fractures sont classées type III, 40% type II, et 20% type IV selon la classification de Roy Camille

Dans la série de Mohammed alaswad [29] la plus récente, portée sur 15 cas de fracture du sacrum, 40% des cas sont des fractures classées C3, 26,6% des cas sont classées C2, 13,3% des cas classées C1, et 20% des cas classées C0 selon la classification AOspine.

Ce qui concerne notre étude portée sur 3 cas, 2 patients présentent une fracture zone 1 selon classification de Denis et type B2 selon la classification de AOspine, ainsi que le 3eme cas présente une fracture Zone 2 selon Denis et B3 selon AOspine.

Tableau 4 : le pourcentage de chaque type de fracture selon dénis des différentes études

	Vassili et al	Park et al	Nonne et al	Nos malades
Nombre des patients	16	71	5	3
Denis type I	62,5%	67,6%	0%	66,6%
Denis type II	18,75%	21,12%	0%	33,4%
Denis type III	12,5%	9,85%	100%	0%

## IV-DIAGNOSCTIC CLINIQUE :

A l'inspection : on recherchera particulièrement la présence d'ecchymose sur toute la colonne vertébrale, y compris le sacrum, plaie du périnée et tout saignement vaginal amenant à une fracture ouverte. Un hématome scrotal ou du sang au méat urétral feront suspecter une lésion des voies urinaires

La palpation minutieuse du sacrum recherchera des points douloureux.

Il faut cependant noter qu'en raison de la nature de ces fractures, les tests neurologiques sont fréquemment retardés car une grande proportion de patients est intubée au moment de l'admission. [79]

L'examen rectal doit inclure une contraction maximale volontaire du sphincter anal, une évaluation de la piquûre d'épingle et une sensation de toucher léger le long de la région péri-anale (S2-S5). Les réflexes suivants doivent être testés : clin d'œil péri-anal et réflexes bulbocaverneux et crémastérique chez l'homme ; chez les femmes présentant une lésion de l'anneau antérieur concomitante,

Un examen vaginal doit également être effectué pour s'assurer qu'il n'y a pas de communication entre la fracture et le vagin.

Une lésion de la queue de cheval doit être exclue en évaluant le tonus rectal, la sensation péri-anale, ainsi qu'un examen moteur et sensoriel complet des membres inférieurs. Une lésion mécanique du système génito-urinaire telle qu'observée dans les perturbations de l'anneau pelvien doit également être évaluée. Si une blessure est détectée ou suspectée, des consultations urologiques et gynécologiques doivent être obtenues.

En raison de la proximité étroite du sacrum avec les vaisseaux iliaques, un examen vasculaire des membres inférieurs doit être effectué, en particulier dans le cadre d'une lésion neurologique.

Dans notre étude, les 3 cas ont présenté des points douloureux intense au niveau de la région sacrée, alors qu'un seul cas qui a présenté un déficit sensitif type de paresthésies, et de fourmillements avec la présence d'un déficit du L5.

## V- Diagnostic paraclinique :

### 1. La radiographie standard :

Le diagnostic des fractures sacrées est notoirement difficile sur les radiographies. Aussi peu que 10 à 30% des fractures sacrées sont reconnues sur les radiographies [33, 80], et la faible sensibilité des radiographies pour le diagnostic des fractures sacrées a conduit le scanner à remplacer principalement les radiographies pour l'évaluation des fractures sacrées suspectées.

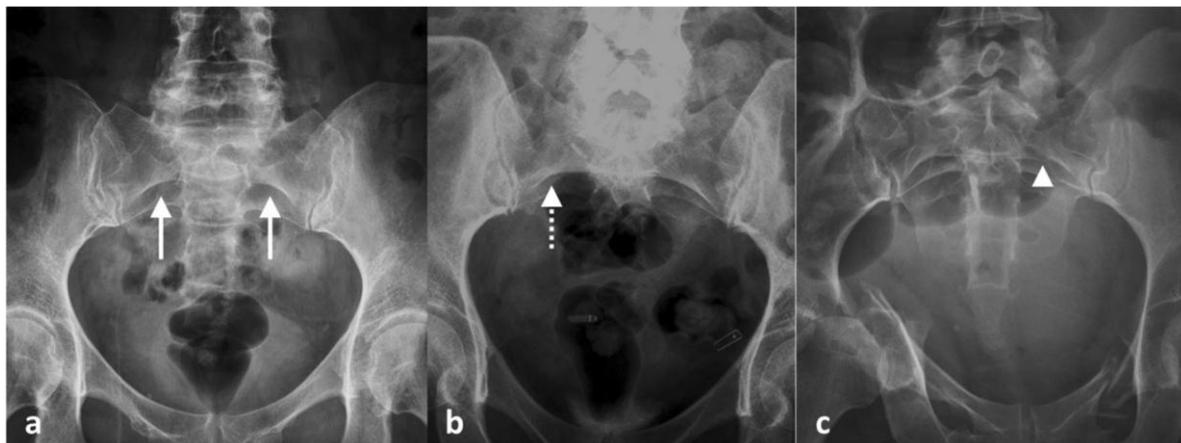
Cependant, une série pelvienne à trois vues composées de vues d'entrée, de sortie et de profil a été préconisée pour le diagnostic des fractures sacrées lorsque la tomodensitométrie n'est pas immédiatement disponible [81] :

- **Les vues d'entrée et de sortie** fournissent des images **AP** (antéro-postérieur) approximativement orthogonales du sacrum, améliorant la détection des fractures longitudinales et aidant à caractériser les modèles de blessures de l'anneau pelvien associés.
- **Les radiographies latérales** peuvent aider à identifier les fractures transversales déplacées ou angulées ; cependant, les radiographies latérales sont souvent limitées en raison d'une mauvaise pénétration et de l'anatomie pelvienne sus-jacente [81, 82].

I. Les signes directs de fractures sacrées sur une radiographie pelvienne AP (antéro-postérieur) sont :

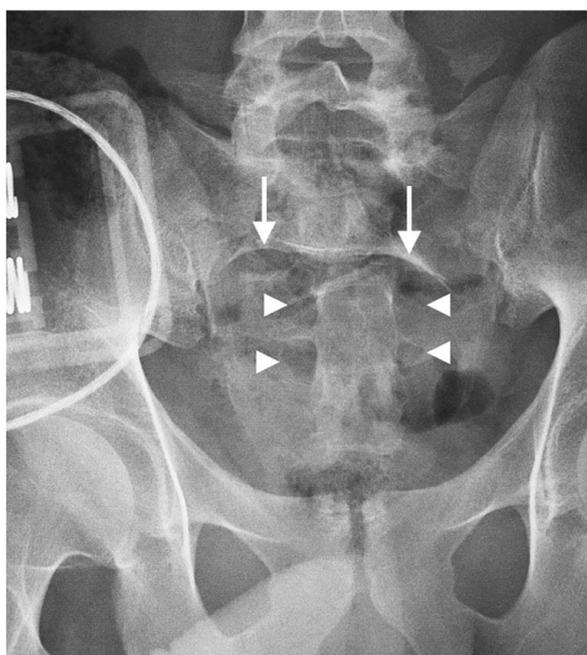
- Une perturbation des lignes arquées pour les fractures longitudinales
- Et une vue d'entrée paradoxale ou un signe d'échelle pour les fractures transversales.

Les lignes arquées sont des lignes de radiographie conventionnelle créées par les réflexions corticales du neuroforamen S1 - S4 (Fig 42. 4a). Le flambage (Fig42. 4b) ou l'interruption (Fig42. 4c) de ces lignes indique une fracture de l'aile sacrée impliquant le niveau correspondant.



**Figure42** : radiographie du bassin de face illustrant les lignes arquées : Les lignes arquées intactes (a), flambage de la ligne arquée (b), une interruption de la ligne arquée (c) [71]

La vue d'entrée paradoxale décrit le sacrum supérieur ayant l'apparence d'une vue d'entrée sur une radiographie AP et est créé par angulation kyphotique d'une fracture sacrée transversale (Figure 43) [82].



**Figure 43**: radiographie du bassin face :Vue d'entrée paradoxale. [71]

## II. Les signes indirects d'une fracture sacrée sur une radiographie pelvienne AP (antéro-postérieur) :

Les fractures transversales de la vertèbre L5 et les fractures des branches pubiennes sont toutes deux fréquemment associées à des fractures sacrées et peuvent être considérées comme des preuves indirectes d'une fracture sacrée.

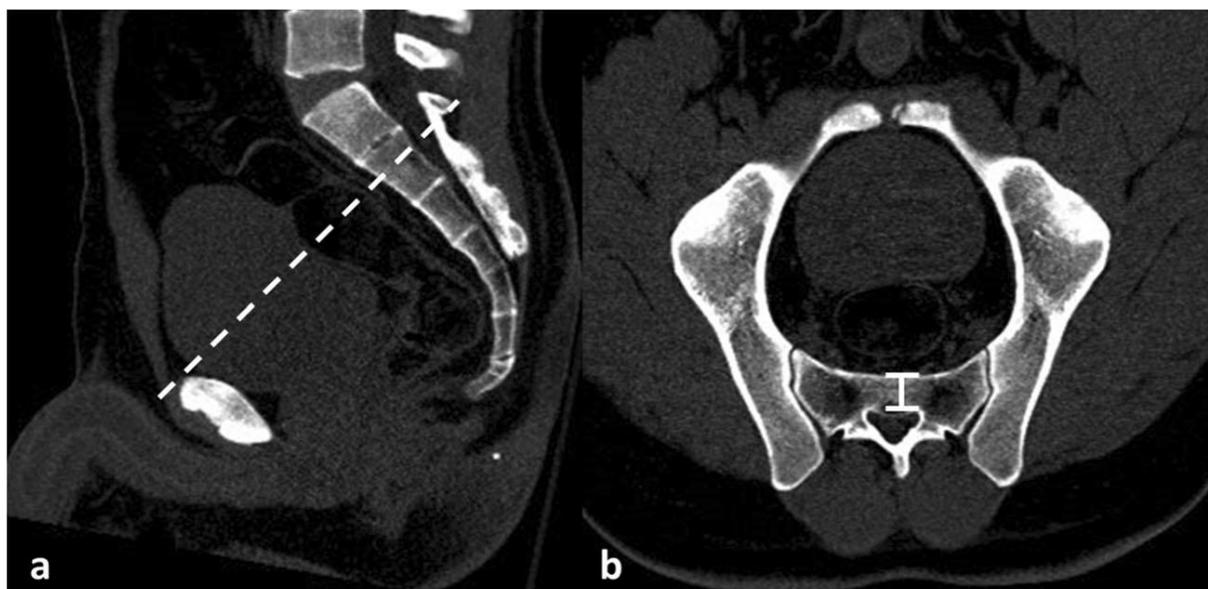
### **2. La tomодensitométrie :**

La tomодensitométrie est devenue le pilier du diagnostic et de la caractérisation des fractures sacrées en raison de la faible sensibilité des radiographies.

L'imagerie par tomодensitométrie non contrastée avec des coupes de 2 mm d'épaisseur dans les plans axial, coronaire et sagittal est généralement adéquate pour diagnostiquer les fractures sacrées.

Pour les fractures sacrées complexes ou les fractures sacrées qui font partie d'un modèle de blessure de l'anneau pelvien, des images supplémentaires en trois dimensions reformatées sont souvent utiles pour que les chirurgiens conceptualisent les modèles de fracture et la morphologie pour la planification préopératoire.

Une vue tomодensitométrique « entrée pelvienne » du bassin peut être effectuée en réalisant une reconstruction 2D axiale-oblique du bassin perpendiculaire au sacrum supérieur (Figure 44), ce qui peut aider à évaluer les couloirs osseux pour la pose de vis transacrées [83].



**Figure 44 :** TDM montrant la Vue d'entrée du bassin. La vue d'entrée pelvienne est une vue axial-oblique à travers le bassin avec un plan d'imagerie aligné perpendiculairement au sacrum supérieur (a). La vue d'entrée pelvienne permet d'évaluer la distance entre le neuroforamen sacré et le cortex sacré antérieur (b) pour la planification préopératoire de la pose des vis [71]

La plupart des fractures sacrées seront mieux reconnues sur les images axiales standard. Cependant, les fractures sacrées transversales peuvent être indétectables sur les images axiales, et une inspection minutieuse des fractures sacrées transversales doit toujours être effectuée sur les reformats sagittaux du bassin.

Nos trois malades ont bénéficié d'une tomодensitométrie du bassin.

### **3. Imagerie par résonance magnétique :**

En raison du coût et de la disponibilité, l'IRM ne joue actuellement qu'un rôle mineur dans l'évaluation des fractures sacrées. L'IRM a montré une certaine utilité dans le diagnostic des fractures d'insuffisance sacrée non déplacées chez les patients âgés présentant une faible densité minérale osseuse [84] et a même été démontrée pour surpasser la tomодensitométrie dans le diagnostic des fractures sacrées aiguës [85].

L'IRM a également été utilisé pour évaluer les lésions neurologiques chez les patients présentant des fractures sacrées et des symptômes neurologiques [86] et pour évaluer les lésions ligamentaires afin de déterminer la stabilité des fractures sacrées.

Cependant, l'IRM est la modalité d'imagerie de choix pour spécifier le diagnostic, l'étendue de la tumeur dans le canal sacré, l'atteinte neurovasculaire et l'aide à la planification préopératoire [87, 88].

#### **4. La scintigraphie :**

La scintigraphie osseuse au diphosphonate de méthylène au technétium 99m est très sensible : 96% pour la détection d'une fracture par insuffisance sacrée [89].

La vue plane postérieure est la plus sensible pour la détection des fractures. Une distribution classique en forme de H de radiotraceur est considérée par beaucoup comme pathognomonique pour une fracture par insuffisance sacrée, mais d'autres schémas d'absorption du traceur peuvent être présents.

#### **5. La biopsie :**

Dans le cadre tumoral : le diagnostic différentiel des tumeurs sacrées est étendu, une biopsie doit être effectuée dans presque tous les cas. Une biopsie transrectale ou trans-vaginale ne doit généralement pas être effectuée car elle viole les membranes contenant du fascia pré-sacrée et du périoste et pourrait conduire à un ensemencement du rectum ou du vagin avec des cellules tumorales.

La méthode de biopsie préférée est la biopsie guidée par image, si elle peut être réalisée en toute sécurité.

## VI-Les complications précoce :

### A.Saignement actif

En raison de la proximité du sacrum, les vaisseaux iliaques, le plexus veineux péri-sacré antérieur et l'artère fessière supérieure peuvent être lésés dans une fracture sacrée, entraînant une instabilité hémodynamique. [90] L'Évaluation hémodynamique du patient avec suspicion de fracture sacrée / pelvienne et prise en charge rapide est donc obligatoire.

Une stabilisation provisoire de l'anneau pelvien peut aider à contrôler l'hémorragie et à réanimer le patient. Cependant, en raison de l'association entre les fractures sacrées et les lésions d'autres structures, il peut être difficile de dissocier le saignement de la fracture de celui d'autres structures.

La tomodensitométrie thoraco-abdominopelvienne, souvent avec contraste intraveineux, ainsi que l'échographie abdominale peuvent être utiles pour identifier des sources supplémentaires de saignement. Cependant, le contraste intraveineux peut masquer les radiographies du bassin jusqu'à ce que le colorant de contraste soit éliminé de la vessie.

Si aucune autre source de saignement n'est identifiée chez un patient en état de choc, une stabilisation pelvienne immédiate doit être réalisée à l'aide d'un drap, d'un liant pelvien ou d'une pince pelvienne.

Lorsque les patients nécessitent une intervention chirurgicale pour des plaies ouvertes ou des saignements intra-abdominaux, la stabilisation pelvienne doit être réalisée sous la même anesthésie avec l'utilisation de fixateurs externes. Pour les patients présentant une instabilité hémodynamique persistante après stabilisation pelvienne et exclusion d'une source supplémentaire de saignement : une embolisation sélective, une compresse pelvienne ou les deux devraient être employées. [91,92]

## **B. Présence d'une fracture ouverte ou d'une lésion importante des tissus mous**

En raison de la couverture vulnérable des tissus mous autour du bassin et de la nature à haute énergie des fractures sacrées, elles peuvent être associées à :

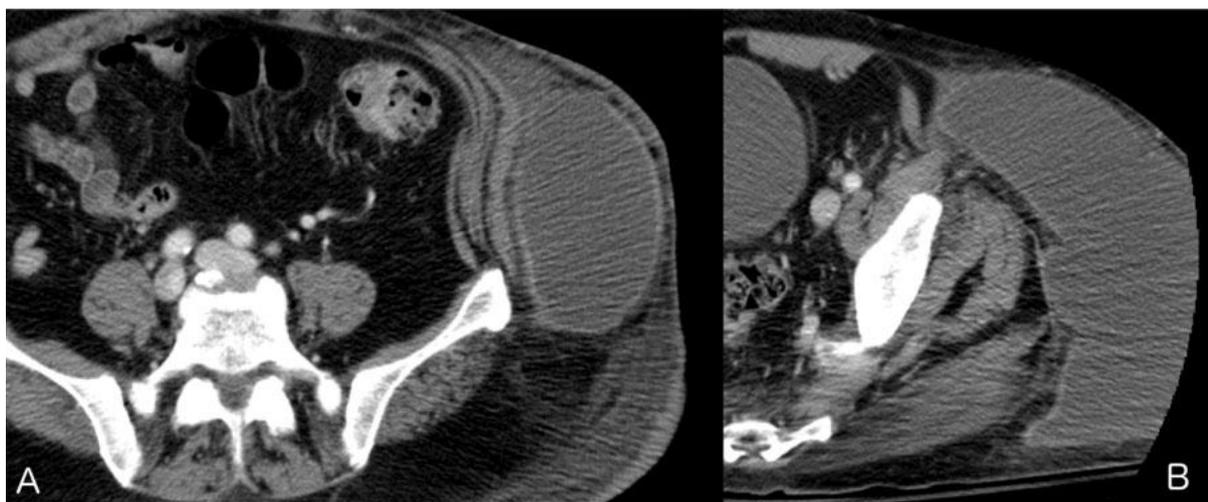
- ✓ Des lésions importantes des tissus mous ;
- ✓ Ou même à des fractures ouvertes franches.

### a- Les fractures sacrées ouvertes :

- Sont fréquemment de type IIIA3, comme décrit par Gustilo et Anderson. [93]
- Une fracture sacrée ouverte est en communication directe avec la peau, le rectum ou le vagin et, pour cette raison, dans le cadre de l'évaluation du patient, un examen doit être effectué pour détecter les fractures ouvertes occultes. La violation de la voûte rectale ou vaginale ou la contamination par une lésion urogénitale concomitante survient lors de blessures ouvertes graves et de telles blessures doivent être détectées tôt afin qu'une irrigation et un débridement rapide puissent être effectués. Le traitement implique un drainage de la vessie par cystostomie et une dérivation intestinale par colostomie. [94,95]

### b- les lésions des tissus mou :

- Un type particulier de lésion des tissus mous est la lésion de Morel-Lavellée (figure 45) [96], qui est un déglacement fascial qui se produit en réponse à une force de cisaillement.



**Figure 45 .:** Lésion de Morel-Lavellée: les images (A) et (B) montrent une grande collection de fluide associée au déglacement fascial sur la TDM axiale. Il est important de noter que cette lésion est beaucoup mieux vue sur la fenêtre des tissus mous que sur les fenêtres osseuses, qui sont utilisés pour évaluer la fracture. [194]

- Dans cette lésion, la peau et le tissu adipeux sous-cutané se séparent du fascia sous-jacent, créant une cavité remplie de sang, de liquide séreux ou de tissu nécrotique. L'apport vasculaire à la peau devient compromis et dépend uniquement du plexus sous-cutané, ce qui rend la peau susceptible aux infections et à la nécrose.
- Bien qu'il s'agisse de blessures techniquement fermées, elles sont difficiles à traiter et présentent un risque important d'infection. [96]

### **C. Les complications neurologiques :**

La lésion neurologique est le principal déterminant de la qualité de vie du patient après un traumatisme sacré. [97,98], De plus, la gravité de la lésion neurologique est souvent un indicateur de l'étendue de la lésion sacrée, car des mécanismes à haute énergie sont nécessaires pour perturber la forte anatomie protégeant la queue de cheval et les plexi lombo-sacré et sacré. [69]

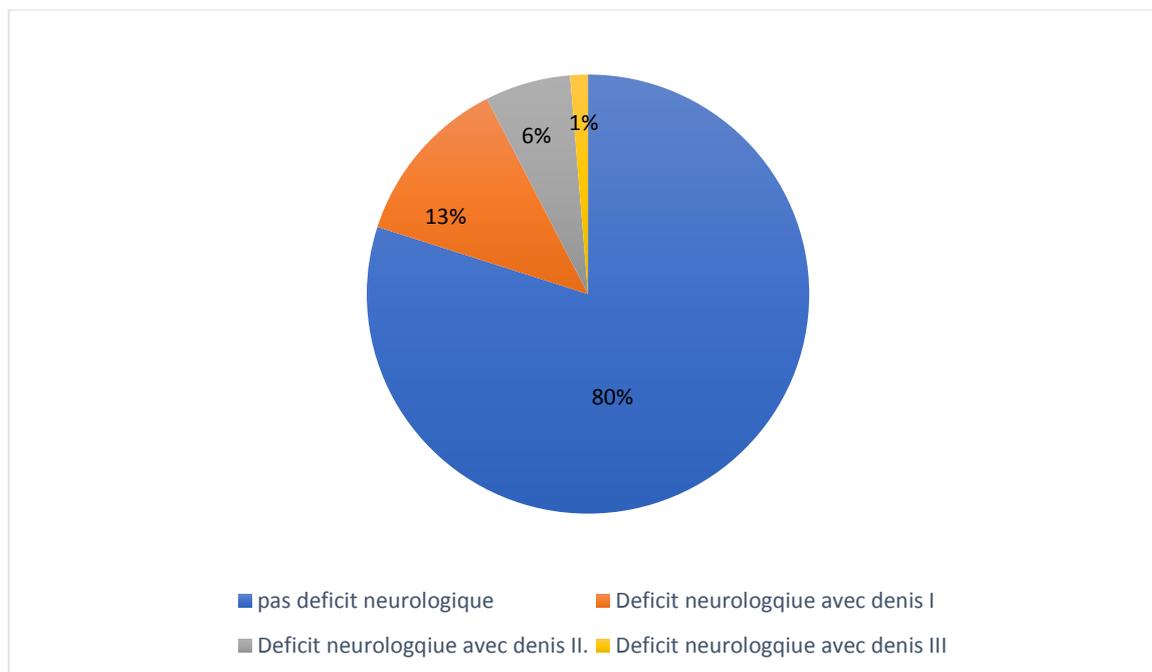
De plus, l'état neurologique peut être le facteur le plus important déterminant une intervention chirurgicale, car la présence d'une déficience neurologique progressive est une indication d'une intervention chirurgicale immédiate. [69]

Cependant, des lésions neurologiques peuvent survenir chez jusqu'à un quart des patients souffrant de fractures sacrées [99,33] et peuvent aller de lésions isolées des racines nerveuses au syndrome de la queue de cheval :

- Une lésion de la racine nerveuse L5 lors de sa sortie au-dessus de la vertèbre S1 ou le long de la face antérieure de l'aile sacrée peut entraîner des déficits moteurs de la flexion dorsale du pied ainsi que des modifications sensorielles du mollet latéral et du dos du pied.
- Une lésion des racines nerveuses S1 et S2 entraîne des déficits moteurs dans l'abduction de la hanche et la flexion plantaire de la cheville, ainsi que des modifications sensorielles de la cuisse postérieure, de la jambe, de la plante et de la face latérale du pied et des organes génitaux.
- Les racines nerveuses S2 à S5 ont peu de contribution au mouvement et à la sensation des membres inférieurs, mais assure la sensation des organes génitaux, le contrôle parasympathique de la vessie et de la fonction rectale, et le contrôle sympathique de la contraction du sphincter urétral et anal.

Dans leur étude, Denis et al [33] ont identifié des lésions neurologiques chez 51 des 236 patients (21,6%). Les blessures étaient plus fréquentes dans les fractures Denis Zone III (56,7%), suivies de la zone II (28,4%) et de la zone I (5,9%). En accord avec les résultats de Denis et al, Ebraheim et ses collègues [78] ont constaté que 87,5% avec fractures de zone III avaient une perte complète de la fonction intestinale et vésicale et 62,5% avaient un dysfonctionnement sexuel.

Il est important de noter que presque toutes les fractures médiales du foramen associées à des lésions neurologiques contiennent un modèle de fracture transversale, alors que les fractures sacrées verticales sont moins fréquemment associées à des lésions neurologiques, probablement en raison de la propension à se produire dans la zone alaire latérale.



**Figure 46** : le taux de déficit neurologique selon l'étude de Denis et al.

La classification de Gibbons des lésions neurologiques est fréquemment utilisée pour classer le degré de déficit des fractures sacrées (annexe 1) . [100]

La plupart des lésions neurologiques peuvent s'améliorer avec le temps (bien que souvent pas complètement), indépendamment du choix du traitement.

C'est pourquoi un examen neurologique des troncs du plexus lombosacré est recommandé à chaque étape de la prise en charge du patient.

Dans notre série un seul cas qui a présenté un déficit moteur de la flexion dorsale du pied, associé à des paresthésies classées type 3 selon la classification de Gibbons.

## **D. Lésions associées à l'anneau pelvien et à la colonne vertébrale**

Les fractures sacrées isolées sont rares et la plupart des fractures sacrées surviennent en association avec l'anneau pelvien ou avec d'autres lésions de la colonne vertébrale.

### **A-Les lésions de l'anneau pelvien :**

Les fractures sacrées surviennent en association avec une certaine forme de fracture pelvienne dans 80% à 90% des cas. Les fractures de l'anneau pelvien ont été largement étudiées et plusieurs classifications telles que le Letournel, [101] Tile, [102] Young et Burgess, [103] et l'AO-ASIF existent. Il est important de noter qu'en cas d'instabilité significative de l'anneau pelvien, une fixation provisoire immédiate est indiquée pour stabiliser la fracture et minimiser la perte de sang.

Dans notre série un seul patient avait une lésion disjonction de la symphyse pubienne associée à une fracture sacrée

### **B-Les lésions de la colonne vertébrale :**

Les lésions de la colonne vertébrale doivent toujours être exclues en présence de fractures sacrées, en particulier après un traumatisme à haute énergie. Une prévalence allant jusqu'à 62% des fractures vertébrales associées a été rapportée dans les fractures sacrées transversales, les plus fréquentes étant :

- ✓ les fractures par compression ou luxation au niveau de la jonction thoraco-lombaire (25%),
- ✓ suivies des fractures par compression ou luxation de la colonne lombaire inférieure (11 %). [104]
- ✓ Les blessures à la jonction lombo-sacrée nécessitent un traumatisme à haute énergie, capable de perturber les ligaments lombo-sacrés solides.

Les lésions lombo-sacrées doivent être suspectées dans toutes les fractures sacrées traversant les foramens neuraux, en particulier celles qui sont déplacées. Dans de tels cas, la jonction sacrée lombaire doit être évaluée à l'aide d'un scanner. Le déplacement peut aller de la subluxation lombo-sacrée à la dissociation lombo-pelvienne complète.

Isler [105] a été le premier à signaler la survenue de telles blessures. Il a rapporté que ces lésions surviennent dans 38% des fractures sacrées instables verticales et dans 3,5% des fractures sacrées présentant une instabilité rotatoire.

Isler a classé ces lésions en :

**type A** : peuvent affecter la stabilité de l'anneau pelvien mais n'affectent presque jamais la stabilité lombo-sacrée ,

**type B** : sont associés à une variété de déplacements et de lésions neurologiques

**type C** : sont instables et nécessitent une stabilisation chirurgicale.

Les luxations lombo-sacrées sont souvent des lésions mortelles qui peuvent survenir en association avec des fractures sacrées et se caractérisent par un antérolisthésis traumatique de L5 sur S1. [106] Il n'y a que quelques cas de telles fractures rapportées à ce jour, mais tout patient qui souffre de cette blessure nécessite une stabilisation chirurgicale.

### **E. Blessures systémiques et musculo-squelettiques associées :**

les fractures sacrées peuvent être associées à :

- ✓ des lésions causées par un traumatisme direct aux structures et organes intra-pelviens à proximité du sacrum :, tels que le rectum et le côlon sigmoïde et la vessie et l'urètre.

✓ Les blessures associées peuvent être plus éloignées et être inhérentes au traumatisme à haute énergie :

Comme une lésion cérébrale, des fractures des membres inférieurs et supérieurs, des lésions de la paroi thoracique, des traumatismes pulmonaires et cardiaques et des fractures non contiguës de la colonne vertébrale. [107,]

Dans une étude portant sur les blessures associées chez 32 patients présentant des fractures sacrées instables nécessitant une stabilisation chirurgicale, Totterman et ses collègues [108] ont identifié qu'elles étaient le plus souvent associées à des lésions des membres inférieurs et viscérales (15 patients), suivies des membres supérieurs (13 patients), blessures à la colonne vertébrale (10 patients) et à la tête et à la poitrine (7 patients). [79]

Les fractures des branches pubiennes font partie des lésions musculo-squelettiques les plus fréquemment associées aux fractures d'insuffisance sacrée, ainsi que l'incidence est variable selon les études : elle est de 78% selon l'étude de Aretxabala et al [109], 56% selon l'étude de Schindler et al [110].

Les lésions sacrées pouvant varier d'une fracture par insuffisance énergétique faible à une fracture de type U avec dissociation lombo-pelvienne, les lésions associées dépendent largement du type de fracture sacrée.

La probabilité d'avoir une blessure associée significative est encore augmentée dans les fractures sacrées en forme de U. Schildhauer et al [111] ont rapporté 19 patients avec des fractures sacrées déplacées associées à une dissociation lombo-pelvienne, et 63% avaient une fracture des extrémités associées; 52% avaient une fracture de l'anneau pelvien antérieur et 47% avaient une fracture vertébrale non contiguë. De plus, 42% avaient une blessure aux viscères abdominaux ; 37% avaient une blessure thoracique et 21% avaient une blessure à la tête fermée [111]

De plus, dans une étude analysant 7 patients présentant des fractures sacrées en forme de U, Porrino et ses collègues [112] ont identifié des fractures de la branche pubienne associées chez 5, des fractures de la colonne vertébrale chez 4, des lésions viscérales chez 3, des fractures des membres inférieurs chez 3 et des fractures des membres supérieurs chez 2 patients.

Dans notre série un seul patient qui a présenté une disjonction de la symphyse pubienne associée à une fracture sacrée classée type II selon Denis et B3 selon AOSpine .

## **X- PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE :**

### **1- BUT :**

Le but de la gestion des lésions du sacrum est de restaurer :

- ✓ Les résultats neurologiques,
- ✓ Structurels,
- ✓ Et fonctionnels tout en respectant les propriétés biomécaniques de ISCFU (unité fonctionnelle lombo-sacro-coccygienne LSCFU) .

### **2- LES PRINCIPES :**

Les principes du traitement sont :

- ✓ Une intervention en urgence.
- ✓ La prise en charge multidisciplinaire.
- ✓ Eviter l'iatrogénie.

### **3- LES MOYENS :**

#### **3.1. Moyens médicaux :**

##### **a) La combinaison pressurisée (le pantalon antichoc :PAC)**

La mise en place de ce pantalon d'emblée sur les lieux de l'accident paraît nécessaire. Gonflé complètement à 60-80 mmHg, il entraîne un effet de clamps de l'aorte sous diaphragmatique, d'où son intérêt chez le traumatisé grave dont la pression artérielle est inférieure à 50 mmHg.

Ses inconvénients sont cependant importants à connaître: la douleur est difficilement supportable et nécessite une sédation, les effets respiratoires ne sont pas négligeables, et impose très fréquemment l'induction d'une anesthésie générale, une intubation et une ventilation assistée, l'effet de compression des membres

inférieurs aux pressions hautes peut entraîner la survenue d'une rhabdomyolyse lors du dégonflage du pantalon, enfin le dégonflage du P.A.C est un moment critique avec risque de collapsus.

**b) Le traitement médicamenteux :**

Les antalgiques et les anti-inflammatoires non stéroïdien pour traitement de la douleur, souvent intense dans les fractures du sacrum.

Une supplémentation en vitamine D, en calcium et en biphosphonates doivent être instaurées pour ralentir davantage la perte osseuse en cas de fractures insuffisance sacrée.

L'héparine de bas poids moléculaire pour prévenir la maladie thromboembolique chez les malades alités.

**c) Le remplissage :**

Il doit être assuré sur le terrain et en salle de déchoquage par des macromolécules. Actuellement, les caractéristiques de nouveaux produits (1/2 vie, conditionnement, effets secondaires) tels que les hydroxyéthyl amidon permettent une expansion plasmatique précoce de qualité. L'apport de concentrés érythrocytaires n'est pas immédiatement urgent et dépend de l'importance de la perte sanguine. La stratégie transfusionnelle est basée sur le schéma de Lundgardhansen [113].

**3.2. Gestion non chirurgicale :**

La prise en charge conservatrice est basée sur la modification de l'activité avec repos au lit , des tonifiants et les techniques de traction [72] et réductions par moyen externe.

Il est réservé aux fractures sans déficit neurologique, stabilité préservée, absence d'atteinte des tissus mous et pas de fragments déplacés.

Il est indiqué pour :

- ✓ les fractures unilatérales des zones I et II dans la classification de Denis,
- ✓ et types A1 et A2 dans la classification AO.
- ✓ type A3 et B, et C0 (quelques équivalents aux fractures Denis zone III), peuvent être envisagés dans des cas individuels où la tolérance à l'immobilité et à l'absence de déplacement est adéquate.

Cependant, Siebel et al. a publié une série de cas de fractures sacrées de Denis zone III traitées orthopédiquement et a montré que même si les fractures guérissaient chez chaque patient, les scores fonctionnels étaient toujours inférieurs à ceux de la population générale, et certains ont continué à souffrir de troubles vésicaux, intestinaux et sexuels et présenté avec des maux de dos chroniques [39]. Il est à noter que les fractures se présentant sous le segment S2 sans déplacement présentent un faible risque d'instabilité et, même lorsqu'elles présentent des symptômes neurologiques, une prise en charge conservatrice est possible.

Bien qu'une gestion conservatrice ait donné de bons résultats, les cas doivent être soigneusement sélectionnés et suivis pour la fonctionnalité.

### **3.3. Les moyens chirurgicaux :**

Avant l'intervention les patients ont bénéficié d'une consultation pré anesthésique dont le type est laissé au choix de l'anesthésiste responsable en fonction de bilan préopératoire, l'âge physiologique du patient et l'état associé.

Dans les différentes séries, nous notons la grande fréquence de l'utilisation de l'anesthésie locorégionale, et cela pour de nombreux avantages qu'offre cette technique :

- Utiliser des produits narcotiques et éviter, ce qui évite leurs complications : confusion, désorientation temporo-spatiale
- Eviter l'hypoxie, les complications pulmonaires et thromboemboliques
- Permettre une analgésie post-opératoire précoce et la prolonger

Cependant, l'anesthésie locorégionale n'est pas dénuée des risques parfois imprévisibles, ainsi les indications de l'anesthésie locorégionale doivent être effectuées avec toutes les conditions de sécurité requises pour tout acte d'anesthésie quel que soit.

a) **La laparotomie :**

Indiquée pour le traitement d'un hémopéritoine associé, elle n'a que de très rares indications dans le cadre de saignements intra-pelviens. Les lésions vasculaires sont généralement multiples et l'ouverture de l'hématome rétro péritonéal est déconseillée car l'hémostase s'avérera extrêmement difficile. Seule la lésion d'un gros tronc artériel peut constituer une indication de laparotomie chez un patient ne répondant pas aux autres mesures d'hémostase [114].

b) **Fixations lombo-pelviennes :**

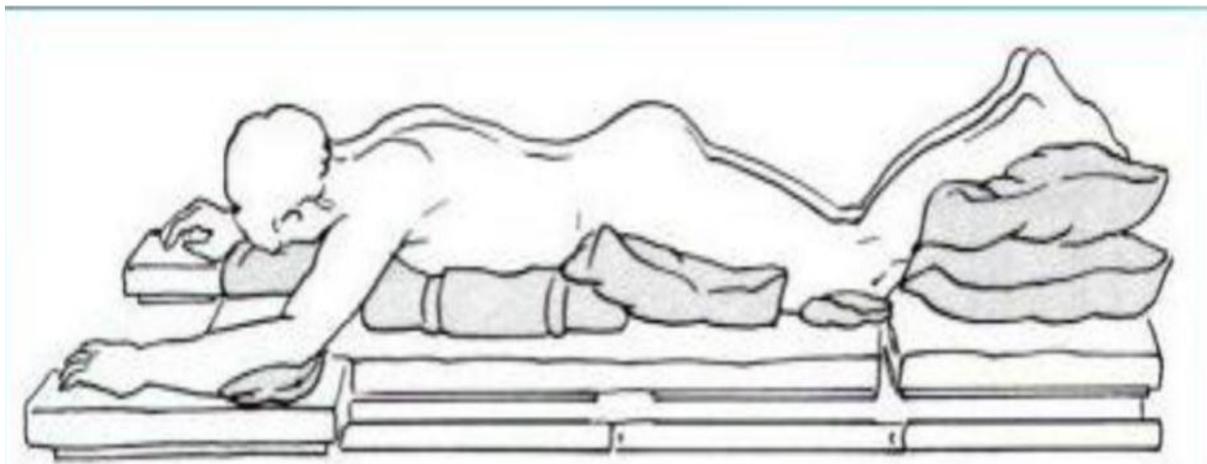
1. **Définition**

La fixation lombo-pelvienne fait référence à la compilation de techniques visant à réaliser une fixation fonctionnelle de la colonne lombaire à l'os iliaque pour fixer l'articulation sacro-iliaque et contourner l'attachement biomécanique du sacrum blessé à la colonne lombo-sacrée et à l'anneau pelvien [115]. Cette option de traitement est la plus robuste sur le plan biomécanique, mais implique une exposition chirurgicale plus large, plus de saignements et des durées d'opération plus longues [116]. Les résultats chirurgicaux tels que le pourcentage d'union et la fixation au fil du temps varient en fonction des techniques et des matériaux spécifiques utilisés.

2. **Technique opératoire :**

a. **Approche chirurgicale**

Le patient est positionné sur le ventre sur une table d'opération radio-transparente standard . Fig 47



**Figure47** : position ventral les bras à 90°

Le contrôle de l'intensification de l'image peropératoire avec AP, entrée, sortie et vues latérales vraies devrait être possible pour la procédure. La traction longitudinale de la jambe avec un montant entre les jambes contre le périnée doit être évitée car elle empêchera la réduction du segment sacré caudal distal dans la direction caudale, ainsi que la correction des déplacements verticaux et de la déformation en flexion du plan sagittal des composants de la fracture sacrée. Le positionnement doit permettre la rotation interne et externe des hémipelviennes et même l'adduction et l'adduction du membres inférieurs et hyperextension de la hanche [117]. En complément, un cadre de stabilisation du squelette pelvien tel que proposé par Matta [118] peut favoriser la réduction et la mobilisation de la fracture contre un hémipelvis fixe [117].

Le drapage doit inclure toute la région lombo-pelvienne jusqu'à la fente natale et doit être étendu latéralement pour permettre l'insertion de la vis ilio-sacrée.

Une approche médiane postérieure est couramment utilisée pour exposer les segments rachidiens lombaires inférieurs, la lésion sacrée postérieure et l'aspect médial des ailes iliaques postérieures (Fig. 48). Une incision cutanée médiane est pratiquée de L3 - L4 à S3.



**Figure 48 :** Incision médiane postérieure [195]

La dissection est effectuée jusqu'au fascia thoraco-lombaire, qui est incisé près des apophyses épineuses. La dissection est effectuée dans le plan intermusculaire entre les muscles paravertébraux profonds et érecteur du rachis. La dissection au niveau de la partie céphalique de l'incision se poursuit sur les apophyses transverses de L4 et L5. La partie caudale de l'incision est poursuivie sur l'épine iliaque postérieure supérieure (PSIS). Les muscles para-spinaux sont détachés de la face postérieure du sacrum, exposant les lignes de fracture sacrée. Le muscle sacrospinalis peut être mobilisé latéralement sans transection distale pour permettre une visualisation médiale pour le placement de la vis pédiculaire. La partie caudale du muscle sacrospinalis peut être mobilisée médialement ou latéralement pour la mise en place de vis iliaques.

Les points d'entrée pour les vis iliaques sont situés sur la face médiale des épines iliaques postérieur supérieur et postérieur inférieur (PSIS et PIIS).

### **b. Instrumentation**

La méthode de fixation lombo-pelvienne comprend deux paires de vis pédiculaires lombaires de 6 mm, des tiges longitudinales bilatérales de 6 mm, un (ou deux) connecteur transversal et deux paires de vis iliaques de 8 mm.

De plus, l'ensemble complet de pinces de réduction pelvienne devrait être disponible, en particulier un grand écarteur laminaire, de grandes pinces de réduction pelvienne (pinces de réduction, Weber, Verbrugge et pinces de mâchoire inclinées), et un plateau de laminectomie et une configuration pour une éventuelle décompression de la racine du nerf sacré. Un économiseur de cellules devrait être envisagé [117].

### **c. Mise en place de la vis pédiculaire lombaire**

Les vis pédiculaires L4 et L5 sont insérées. Les techniques de mise en place des vis pédiculaires dans la colonne lombaire sont bien décrites. Le point d'accès pédiculaire L5 est identifié directement latéralement à l'articulation facettaire L4 / 5. Une technique à main libre est couramment utilisée. La navigation assistée par ordinateur en 3D pourrait faciliter la mise en place des vis.

Les tailles de vis typiques vont de 6 à 7,5 mm de diamètre (6 mm le plus souvent utilisé) et de 40 à 55 mm de longueur dans la colonne lombaire inférieure. Un trou pilote est placé à la jonction de la pars interarticulaires (l'isthme interarticulaire) avec l'apophyse transverse et l'apophyse articulaire supérieure du segment d'intérêt.

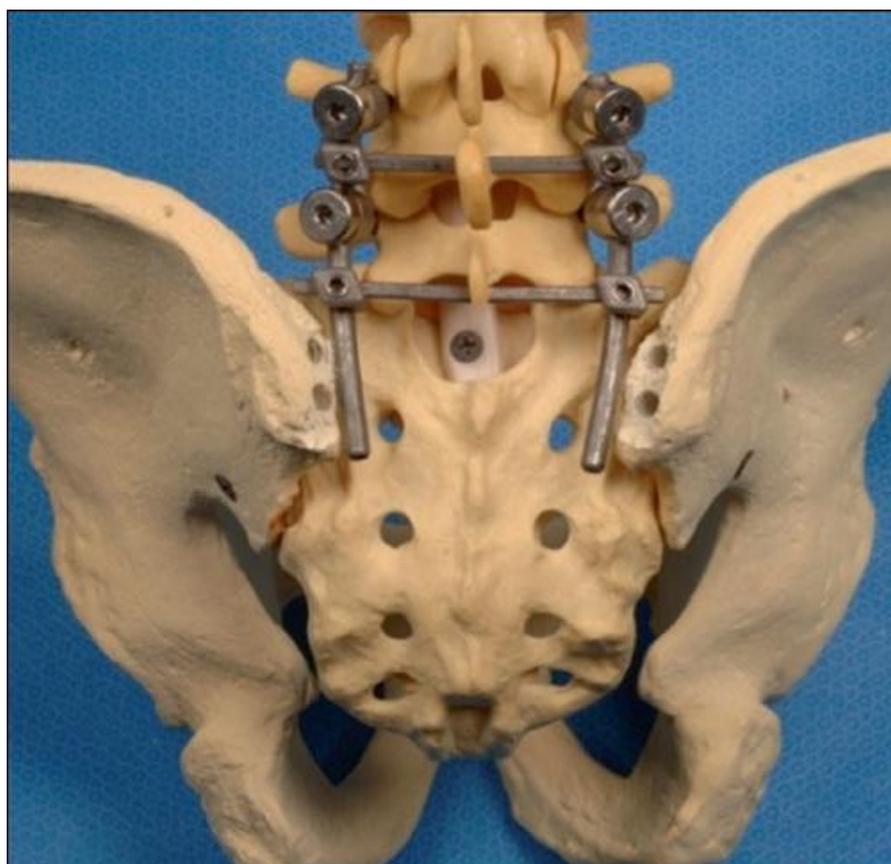
### **d. Tiges longitudinales**

Les tiges longitudinales sont fixées aux vis pédiculaires L4 et L5 après avoir été profilées pour s'adapter à la lordose lombo-sacrée et se situer à proximité de la lame postérieure du sacrum et médiale aux PSIS, et, par conséquent, adjacentes à le point de départ prévu pour les vis iliaques (Fig. 49).

La technique préférée des auteurs est de fixer les tiges aux vis pédiculaires lombaires avant la réduction définitive de la fracture. Les tiges doivent être suffisamment longues pour atteindre au moins le niveau PSIS après réduction. Le déplacement vertical initial des deux hémibassins doit être pris en compte lors de la mesure de la longueur des tiges.

**e. Bielle :**

Une bielle transversale entre les tiges longitudinales est utilisée pour sécuriser la fixation. Dans certains cas rares, deux bâtonnets peuvent être utilisés pour augmenter la stabilité de la fixation lombo-pelvienne (Fig. 49).



**Figure 49 :** Deux paires de vis pédiculaires lombaires sont insérées dans L4-L5

Les tiges longitudinales sont fixées aux vis pédiculaires L4 et L5 après avoir été profilées pour s'adapter à la lordose lombo-sacrée. Une bielle transversale entre les tiges longitudinales est utilisée pour sécuriser la fixation [195]

### **f. Réduction des fractures**

Plusieurs concepts de réduction de la déformation spinopelvienne sont présentés dans la littérature :

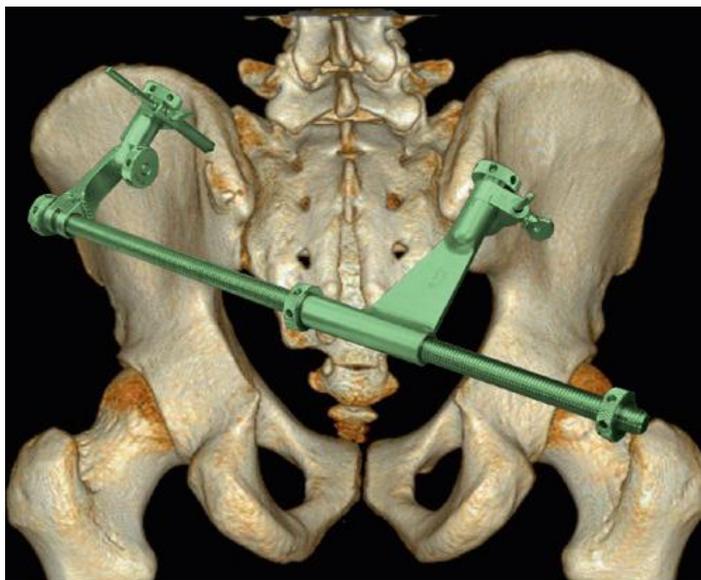
Ruatti et coll. réduction initiale fermée recommandée avec traction Trans condylienne bilatérale (15% du poids corporel) en décubitus dorsal sur une table légèrement inclinée de type Trendelenburg, en particulier chez plusieurs patients blessés, pour lesquels aucun traitement définitif primaire n'est possible [119]. Une hyperlordose supplémentaire utilisant un rembourrage de la jonction lombo-sacrée peut soutenir la manœuvre de réduction. La sensation d'entendre un craquement indique une réduction [119].

Plitz et coll. ont réalisé une réduction peropératoire avec surélévation de l'ensemble du tronc en gonflant un coussin gonflable placé sous la poitrine pour la compensation de la cyphose [120]. Williams et coll. Recommandent la traction comme première manœuvre de position couchée, qui est effectuée sous visualisation fluoroscopique. Avec les vis iliaques et lombaires en place, la manipulation est également possible en insérant les tournevis correspondants pour manipuler le bassin contre la colonne vertébrale. La traction longitudinale et la réduction de la cyphose sont possibles en utilisant en plus un instrument de distraction [121].

Starantzis et coll. a proposé un autre concept de réduction étape par étape [122]:

- Insertion ipsilatérale de la vis pédiculaire L4 et de la vis iliaque
- Connexion de la tige ipsilatérale au pédicule et à la vis iliaque effectuant une distraction ipsilatérale et un certain alignement sagittal
- Vis pédiculaire controlatérale L4 et L5 et insertion de vis iliaque
- Connexion de la tige controlatérale à la vis iliaque

- Serrage simultané et alterné des vis pédiculaires (bilatéralement) pour une réduction sagittale définitive
- Serrage final de la vis controlatérale et échange de la tige ipsilatérale pour l'insertion de la vis pédiculaire L5 Nous proposons une réduction et une correction opératoires des déplacements et des déformations de rotation des deux hémibassin et du segment caudal du sacrum à l'aide de deux paires de pinces de réduction pointues et une distraction caudale de la partie distale de le sacrum [123, 124, 125]:
- L'extrémité distale des tiges longitudinales et l'aspect supérieur des crêtes iliaques postérieures sont les points d'insertion de la première paire de pinces de réduction pointues bilatéralement.
- Les tiges longitudinales fixées aux vis pédiculaires agissent comme une contre-force pour la correction verticale finale des composants de la fracture sacrée.
- La réduction des hémibassin dans une direction dorsale par traction est réalisée par la deuxième paire de pinces de réduction pointues
- La traction fémorale longitudinale simultanée (manuelle) et l'hyperextension des deux articulations de la hanche facilitent la réduction de la déformation en translation verticale et en flexion du plan sagittal [123, 124, 125 117]; un distracteur peut également être utilisé (Fig. 50).



**Figure 50** : La désimpaction de fracture et la traction longitudinale peuvent être effectuées à l'aide d'un distracteur [195]

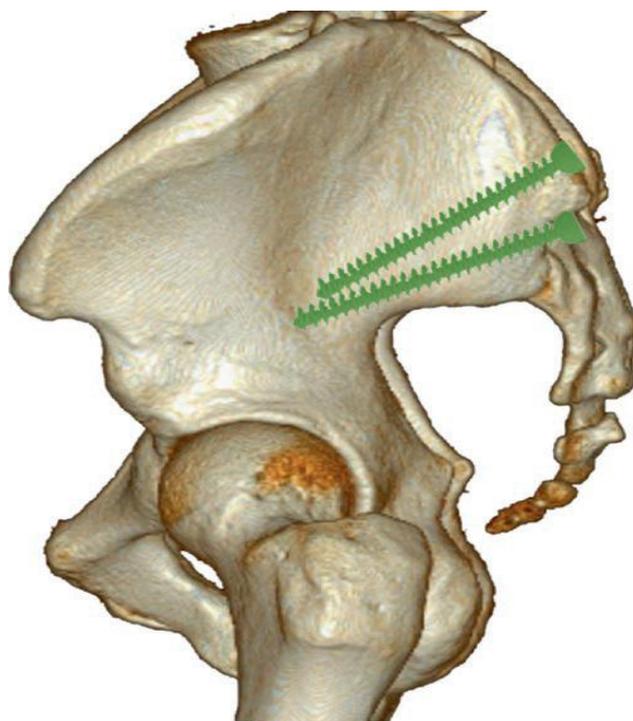
- Réduction de la translation latérale (diastase, si présente) dans les lignes de fracture verticales à l'aide de pinces de réduction pelvienne placées sur la surface externe du PSIS et de la tige longitudinale [123, 124, 125].
- Insertion de deux paires de vis iliaques de 8 mm adjacentes à la tige prépositionnée dans les os iliaques avec la technique de Galveston [126].
- Contrôle de l'intensification de l'image avec AP pelvien, entrée, sortie et vues latérales réelles.
- Lorsqu'une réduction précise est obtenue, les vis iliaques sont connectées aux tiges longitudinales avec des connecteurs décalés.
- Un réglage précis de la réduction du déplacement vertical peut être effectué avec un instrument de distraction vertébrale en desserrant temporairement les connecteurs décalés pour les vis iliaques, produisant une distraction entre les vis iliaques et le connecteur transversal ou la vis pédiculaire la plus basse avec un distracteur spécifique, et en resserrant les connecteurs décalés.

### g. Placement des vis iliaques

Le placement des vis iliaques à côté de la tige pré-contourée et prépositionnée élimine le contournage plus difficile de la tige nécessaire lorsque les vis pédiculaires et les vis iliaques sont placées indépendamment avant l'application de la tige.

Le point d'entrée pour la mise en place des vis iliaques est situé dans la fente entre le cortex postérieur du sacrum et le PSIS. Cela favorise essentiellement une voie directe dans le couloir osseux entre le PSIS et l'épine iliaque antérieure inférieure (AIIIS). Cette technique permet une construction de profil plus bas et moins de détachement musculaire des PSIS

La voie est localisée en dirigeant une sonde pédiculaire à 15 ° latéralement et à environ 30 ° caudalement. La deuxième vis iliaque peut être positionnée soit en parallèle, à côté de la première vis, soit est démarrée en un point céphalique vers le chemin optimal du PSIS-AIIIS et dirigée du tubercule iliaque vers l'AIIIS, donnant une configuration triangulaire (Fig.51)



**Figure 51 :** Trajectoires de vis possibles avec un ou deux vis [195]

En variante, la mise en place directe de la vis iliaque peut être réalisée en retirant une partie de l'os au niveau du PSIS puis en introduisant la vis entre les tables interne et externe de l'os iliaque.

### 3. la décompression :

Le terme « décompression » fait référence au soulagement de la tension / compression des structures neurales piégées ou sous traction après un changement de la structure physiologique des tissus environnants [127,111].

La laminectomie et la foraminotomie, la désimpaction osseuse antérieure et la neurolyse du plexus lombo-sacré peuvent entraîner une décompression de la racine du nerf sacré [97].

La fixation lombo-pelvienne permet une décompression neurologique complète par laminectomie sacrée au besoin et peut améliorer la capacité du chirurgien à effectuer une réduction ouverte d'un corps vertébral sacré déplacé. La décompression indirecte d'une lésion neurale avec réduction de fracture et / ou directement avec une laminectomie sacrée reste controversée [97, 128]. Les indications de la laminectomie sacrée sont variables et aucun consensus clinique n'existe [123, 111, 97, 129, 130, 131].

Si elle est réalisée tôt dans les 24 à 72 h suivant la blessure, un effet bénéfique peut être attendu [132]. Cependant, une décompression chirurgicale précoce peut être associée à un risque accru d'hémorragie, de complications de cicatrisation dues à des lésions des tissus mous et éventuellement à une fuite de liquide céphalo-rachidien des déchirures durales [111].

La décompression chirurgicale isolée est rarement indiquée. Certains auteurs préconisent la décompression systématique de la racine du nerf sacré lorsqu'un déficit neurologique est présent ou attendu [33, 38, 75, 132,], tandis que d'autres évitent la décompression car des lésions nerveuses irréparables étaient attendues [75 ,134] et

une récupération partielle voire complète est possible sans décompression [82,131, 135, 136].

#### 4. Les options de fixation lombo-pelvienne :

Les différentes options de fixation lombo-sacrée pelvienne est sont regroupées dans les catégories suivantes :

##### a. Fixation S1 :

Toute fixation spino-pelvienne commence par la fixation S1 comme base de référence. Ce n'est que dans de rares cas, comme la résection sacrée pour une tumeur ou la révision d'une instrumentation antérieure significativement échouée, que la fixation sacrée n'est pas utilisée.

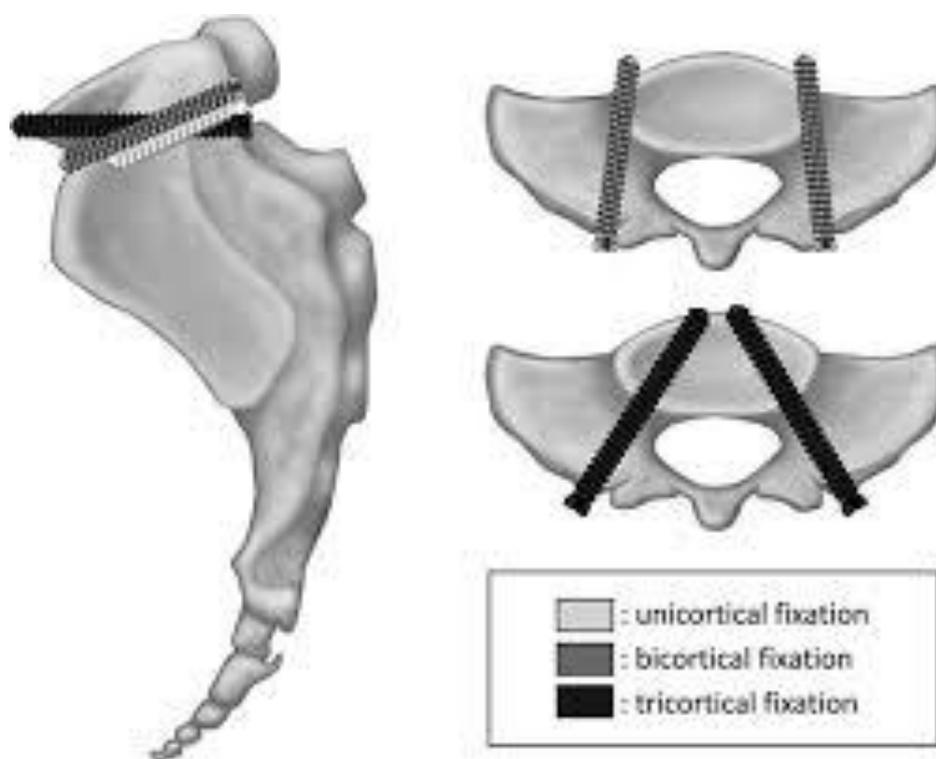
Comprendre l'anatomie osseuse sacrée ainsi que les structures à risque est la clé d'une fixation sacrée bien réfléchi. Le sacrum est constitué d'une section fusionnée de somites osseux, avec une fine coque corticale et de grands pédicules S1 et sub-S1 médialement convergents. Les pédicules S1 ont de grandes dimensions, avec une longueur moyenne de 46,9 3,3 mm chez la femme et de 49,7 3,7 mm chez hommes, et sont principalement de nature spongieuse [137]. Plusieurs structures sont en contact intime avec le sacrum et présentent un risque de blessure lors de l'insertion de la vis pédiculaire. Ceux-ci incluent les vaisseaux iliaques, les vaisseaux sacrés moyens, le tronc lombo-sacré, la chaîne sympathique et le côlon sigmoïde [138].

Les vis S1 peuvent être placées unicortiquement, bicortiquement ou tricortiquement. : (figure 52)

- La fixation monocorticale n'est mentionnée que pour être condamnée. En raison de la grande nature spongieuse du pédicule S1, une faible force de fixation est obtenue lorsque seule une fixation monocorticale est tentée. La vis peut facilement basculer, entraînant une perte de fixation et un retrait.

- La fixation bicorticale est la norme depuis de nombreuses années. La trajectoire classique a été parallèle à la plaque d'extrémité de S1 avec une convergence médiale appropriée pour éviter les vaisseaux iliaques communs situés sur la face antérieure du sacrum.
- La fixation tricorticale a été étudiée et préconisée par Lehman et ses collègues [139]. L'orientation de la vis vers le promontoire sacré médial permet l'achat du cortex dorsal, du cortex antérieur et du cortex de la plaque d'extrémité supérieure.

Le taux d'échec est élevé lorsque les vis pédiculaires S1 sont utilisées comme seul moyen de fixation pour les fusions longues [140]. Dans de tels cas, des formes supplémentaires de fixation ou l'ajout d'une procédure structurale de partage de charge et de fusion intersomatique est recommandée.



**Figure 52 :** Une vue latérale du sacrum montre les 3 trajectoires de vissage pédiculaire S1, y compris la fixation unicorticale, bicorticale et tricorticale [199]

### **b. Fixation sub-S1**

Les options de fixation Sub-S1 comprennent des vis de l'aileron sacré, des crochets laminaires et des vis S2. Ceux-ci sont principalement utilisés en conjonction avec la fixation S1, qui est souvent inadéquate comme seule méthode de stabilisation pour les fusions longues.

#### ○ Fixation de l'aileron sacré :

Un complément utile à la fixation du pédicule S1 est la fixation de l'aileron sacré. Cela implique généralement une fixation monocorticale dans l'os spongieux de l'aileron. Les vis sont dirigées latéralement dans l'aileron. Les vaisseaux iliaques internes, le tronc lombo-sacré et les articulations sacro-iliaques peuvent être lésés lorsque ces vis pénètrent dans la corticale antérieure [138]. Les vis sont reliées à la même tige que les vis S1.

Malheureusement, la fixation de l'aileron sacré est dirigée vers l'os spongieux de faible densité. Une technique bicorticale, bien que souhaitable, n'est pas recommandée, car les racines nerveuses L5 recouvrent bilatéralement l'aileron sacré et les vaisseaux iliaques communs sont situés directement sur la face antérieure [138]. Les études biomécaniques montrent une meilleure fixation de ces vis en conjonction avec des vis pédiculaires S1 par rapport aux vis S1 seules, ce qui indique cependant son utilité comme fixation supplémentaire [141].

#### ○ Vis S2

Les vis S2 sont une autre option pour compléter la fixation des vis S1.

S2 a un pédicule spongieux court, et bien que pas bien étudié, la plupart de la fixation est probablement réalisée dans l'os cortical dorsal. Le placement bicortical comporte un risque en raison de l'application intime du côlon sur le sacrum antérieur à ce stade. Lorsqu'elles sont utilisées, les vis S2 ont une plus grande résistance à l'arrachement lorsqu'elles sont dirigées latéralement [142].

- Crochets et fils sublaminaires

Les crochets et les fils sublaminaires sont également des options pour la fixation sub-S1. Les crochets peuvent être ascendants ou descendants et sont placés dans le neuroforamen postérieur de S1 en complément de la fixation par vis S1. Les crochets peuvent également être placés dans une configuration de griffes, en utilisant le neuroforamen de S1, S2 et S3. Les crochets Sub-S1 ont été étudiés par Stovall et ses collègues [143] et ont montré une résistance améliorée par rapport aux vis S1 seules. Ces chercheurs ont utilisé les crochets dans un mode descendant ou de distraction, et un crochet dirigé vers le haut avec compression appliquée peut théoriquement mieux fonctionner. La fixation assurée par les crochets sacrés et les fils sublaminaires offre une résistance inadéquate aux forces de torsion et de flexion à travers l'articulation lombo-sacrée [144,145,146]. L'utilisation de ces dispositifs se limite donc à une fixation supplémentaire dans de longues constructions au sacrum.

- Technique de la tige intra sacrale de Jackson FIG.53

Le placement intra-sacré des extrémités distales des bâtonnets a été popularisé par Jackson et McManus [147]. Ces chercheurs ont proposé le concept de contrefort iliaque, qui théorise que la paroi sacrée postérieure résiste efficacement aux moments de flexion ressentis par les extrémités distales des bâtonnets. Cette technique évite de traverser les articulations sacro-iliaques mais nécessite des outils spécialisés et est techniquement exigeante. Une attention particulière est accordée à la trajectoire de la vis S1 pour permettre une insertion optimale de la tige dans l'aileron sacré, tout en réalisant toujours un bon achat de vis S1 en avant. Les bâtonnets sont dirigés de manière optimale dans le sacrum à partir d'un sacrum postérieur et supérieur visant le bord supérieur postérieur de l'échancrure sciatique. La vis S1 peut être fraisée dans le sacrum pour donner à la tige un chemin direct vers le sacrum après avoir traversé la tête de vis S1.

Les études biomécaniques sur cette technique ont donné des résultats quelque peu contradictoires [148,149]. Cliniquement, elle n'a pas été aussi largement adoptée que d'autres techniques car elle est techniquement exigeante. De plus, chez les patients ostéoporotiques, cette construction peut être sujette à l'échec.



**Figure 53** : Aspect final du montage de profil [200]

### c. Fixation iliaque

L'utilisation de la fixation iliaque a augmenté à la suite de plusieurs études biomécaniques montrant une plus grande rigidité de la fixation spinopelvienne avec cette technique [140,150,151]. D'un point de vue biomécanique, l'incorporation de l'ilion dans la construction élargit le bras de levier dans le bassin, permettant ainsi un meilleur contrôle [140].

Des études ont montré que la fixation iliaque est biomécaniquement supérieure à toute forme de fixation sacrée [140,150]. L'étude biomécanique historique pour la fixation spinopelvienne a été réalisée par McCord et ses collègues [150]. Dans cette étude, le concept de point pivot a été introduit et défini comme le point de la colonne ostéoligamentaire moyenne entre le dernier segment lombaire et le sacrum. L'extension de la fixation iliaque, que ce soit par une tige lisse ou un dispositif à vis, la plaçait en avant de ce point de pivot. Plus les implants s'étendaient en avant à ce point, plus la construction était rigide, car cela changeait la dynamique de chargement d'une force de traction purement en ligne à un mode de flexion en porte-à-faux et de retrait en ligne.

Les options spécifiques pour la fixation iliaque sont les suivantes : une barre sacrée filetée Harrington, une barre trans-iliale Kostuik, une fixation Luque L, la technique Galveston, vis iliaque et Vis alar-iliaque S2 (S2AI).

- Tige sacrée filetée Harrington

Ceci a été initialement développé par Harrington [152] comme fixation d'appoint lors de l'extension au bassin dans les cas de scoliose. Son concept était d'appliquer la tige sacrée filetée à travers les ailes iliaques postérieures et d'appliquer une compression à travers la barre. Cela pourrait ensuite être connecté aux tiges de distraction Harrington via des connecteurs spéciaux.

Conceptuellement, c'était une bonne idée, car la technique est facile et comporte un faible risque. Malheureusement, les taux de pseudarthrose ont été élevés, ce qui est probablement dû aux mauvaises caractéristiques biomécaniques de cette construction [153,146], avec un taux élevé de délogement des crochets sacrés [153]. De plus, les forces de distraction au niveau du rachis lombaire sont particulièrement problématiques en ce qui concerne l'alignement du rachis sagittal [144,153].

- Barre trans-iliale Kostuik

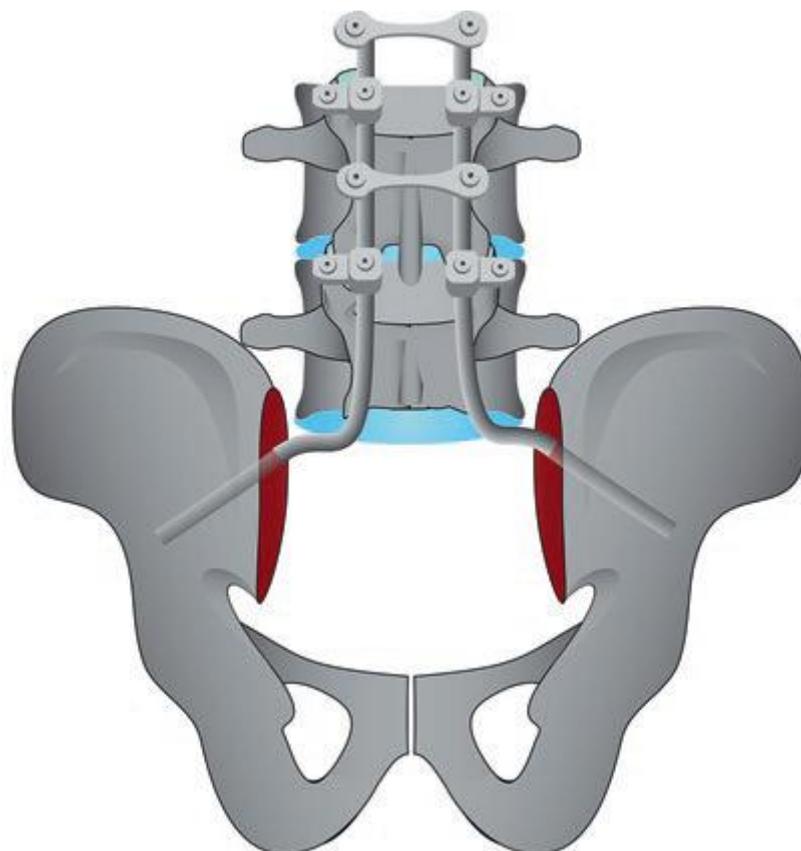
Kostuik et Musha [154] ont décrit une technique impliquant la mise en place de vis bilatérales dans S1 et la fixation de ces vis sur une barre trans-iliale insérée de 1 à 2 cm en avant de l'épine iliaque postérieure supérieure (PSIS).

La différence entre ceci et la barre sacrée de Harrington est que Kostuik a utilisé une tige lisse et l'a appliqué à partir de la ligne médiane, par opposition à deux incisions iliaques postérieures séparées utilisées pour la barre sacrée filetée de Harrington. De plus, Kostuik a mis un contour dans sa barre ou sa tige, lui permettant de manœuvrer sur la proéminence dorsale du sacrum médian, tout en engageant toujours la substance des ailes iliaques. La barre est ensuite fixée aux tiges longitudinales et au reste des vis pédiculaires dans la colonne lombaire par des connecteurs spéciaux.

Cette construction présente des avantages biomécaniques théoriques par rapport à la fixation purement sacrée. Il offre une bonne résistance aux moments de flexion antérieure ressentis au niveau du sacrum. Les articulations sacro-iliaques non fusionnées sont cependant couvertes.

- Technique de Galveston Fig54

L'introduction de la technique Galveston dans les années 1980 ont considérablement amélioré les résultats et diminué les taux de complications et de pseudoarthroses, en particulier dans les cas nécessitant de longues fusions [155,156]. Cette technique consistait en des tiges de contournage qui étaient insérées à partir du PSIS dans chaque ilium. Les bâtonnets étaient dirigés dans la région au-dessus de l'encoche sciatique. Les tiges longitudinales ont ensuite été fixées à la colonne lombaire à l'aide de fils sublaminaires ou de vis pédiculaires.



**Figure 54 :** image montrant la fixation lombo-pelvien à l'aide de la Technique de Galveston [196]

○ Vis iliaque fig 55 :

Vis iliaques ont un profil biomécanique attractif par rapport aux vis sacrées pour deux raisons :

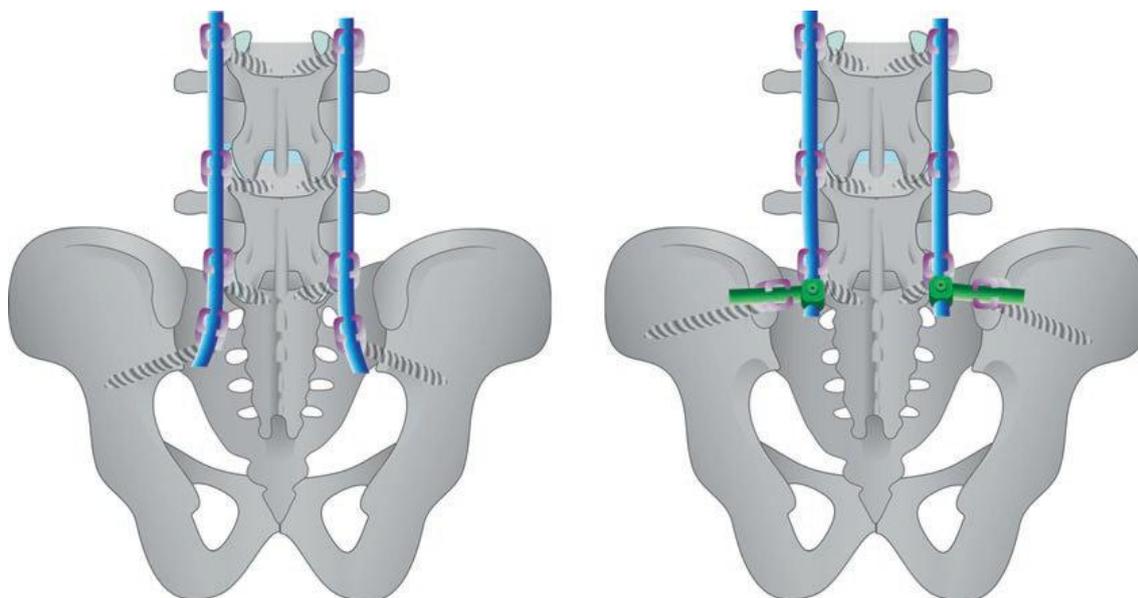
- Elles sont divergentes des points de fixation proximaux dans le plan coronaire, et ;
- Ce sont des vis plus longues permettant une mise en place antérieure à l'axe de rotation pelvienne [144].

Les deux attributs les rendent plus aptes à prévenir la pseudarthrose et la défaillance matérielle à l'extrémité distale de la construction. Dans notre pratique, des vis bilatérales sont placées chaque fois que possible.

- Vis alar-iliaque S2 (S2AI) fig 55

Le S2AI est apparu pour lutter contre les inconvénients de la mise en place des vis trans-iliaques et a entraîné moins de complications que la technique mentionnée précédemment [157]. Le point d'insertion est placé à un centimètre de côté par rapport à la ligne médiane et entre les foramens S1 et S2 à côté de l'articulation sacro-iliaque [158]. La trajectoire vise l'AIIS avec 30 à 40 degrés d'angulation latérale dans le plan transversal et 20 à 30 degrés d'angulation caudale en sagittal. Ce point d'entrée rend les connecteurs latéraux inutiles puisque la vis est placée 10 à 15 mm plus profondément dans les tissus mous et traverse trois cortex pour augmenter sa force de fixation et achète à la fois l'ilium et le sacrum [159].

Ses avantages incluent moins de cassure de la tige, moins de complications de la plaie en raison de son profil moins proéminent, une résistance au couple améliorée, la possibilité de construire une tige en ligne sans avoir besoin de plier la tige, moins de dissection des muscles para-spinaux et moins de morbidité [160]. Les limites de cette technique qui ont été décrites incluent un mauvais placement du matériel violant à la fois l'acétabulum (lésion chondrale) et le grand foramen sciatique (lésion neurovasculaire), blessant l'artère fessière supérieure, le nerf sciatique, le nerf obturateur, la veine iliaque interne et l'artère et le plexus lombo-sacré [160]. Ces vis peuvent être appliquées en utilisant une technique à main levée, une chirurgie mini-invasive, une navigation guidée et en utilisant la robotique [116,161]



**Figure 55 :** Vues antéro-postérieures des vis S2AI (à gauche) par rapport aux vis iliaques (à droite) [196]

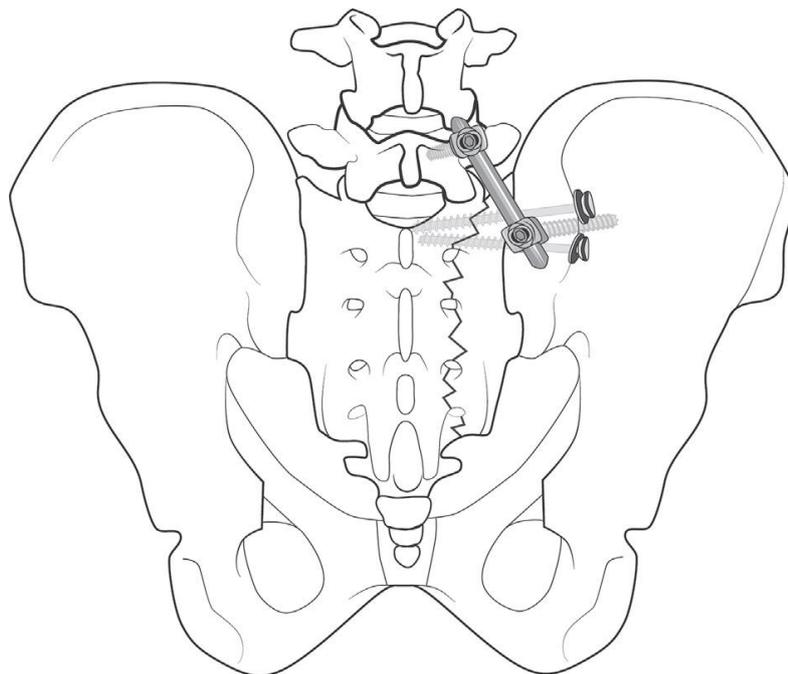
## 5. Les variétés de montage lombo-pelvien :

### 1. Montage en triangulation (figure 56) [162]

Les montages en triangulation associent une ostéosynthèse lombo-pelvienne en distraction et un vissage sacro-iliaque unilatéral ou une plaque trans-sacrée.

Le patient est installé en décubitus ventral. Le montage en triangulation débute par une fixation lombo-pelvienne (entre une vis pédiculaire L4 ou L5 et l'aile iliaque homolatérale). Il peut être réalisé de façon unilatérale [163], mais nous préférons un montage bilatéral systématique (ne prenant pas l'aile iliaque, mais le pédicule de S1 en cas de composante frontale unilatérale).

La réduction dans le plan axial se fait par compression ou distraction entre les deux tiges. Elle est renforcée soit par une tige postérieure [117] réunissant les deux ailes iliaques, soit au mieux pour nous par vissage ilio-sacré complémentaire (éventuellement un double vissage). Une ostéosynthèse antérieure peut être associée, améliorant la stabilisation de l'anneau pelvien.



**Figure 56 :** Montage en triangulation. [162]

## 2. Fixation lombo-pelvienne par navigation assistée : [164].

### ○ Équipements et instruments chirurgicaux

Le système TiRobot, le robot Tianji de troisième génération pour la chirurgie orthopédique (TINAVI Medical Technologies, Pékin, Chine), est composé d'une console principale, d'un logiciel de planification et de contrôle chirurgical, d'un système de suivi optique, d'un bras robotique à six articulations, d'une commande principale poste de travail et une boîte à outils de navigation et de positionnement. L'équipement chirurgical supplémentaire comprenait un appareil de radiographie et de tomodensitométrie à bras C (Siemens, Allemagne), une vis canulée  $\phi 6,5$  mm, une vis iliaque polyaxiale  $\phi 7$  mm et des systèmes de vis pédiculaires polyaxiales  $\phi 6$  mm (Kanghui Medical Instruments, Chine).

- Interventions chirurgicales

Toute la procédure a été effectuées par un groupe de chirurgiens orthopédistes avec une riche expérience. Les patients ont reçu une anesthésie générale avec intubation trachéale après avoir été placés en position couchée sur une table radio transparente. Le drapage a commencé à partir de la colonne vertébrale thoracique médiane jusqu'au-dessus de la fente natale, y compris les deux flancs latéralement. Des antibiotiques intraveineux ont été administrés dans les 30 minutes suivant les incisions cutanées.

Des vues pelviennes antéropostérieures, d'entrée, de sortie et de Judet ont été obtenues à l'aide de l'intensificateur d'image pour identifier la faisabilité de ces images en préopératoire. Tout d'abord, un traquer de navigation a été fixé sur l'apophyse épineuse L3 par voie percutanée. Après que les images CT peropératoires initiales L5 aient été obtenues à l'aide d'une machine à bras en C, elles ont été transmises au système de planification robotique sur la base de la planification préopératoire associée à la caractéristique anatomique de la vertèbre L5, la longueur, l'angulation et la direction des vis pédiculaires bilatérales ont été conçues et la simulation de la mise en place des vis a été réalisée sur les images (Fig. 57).



**Figure 57 :** Planification de trajectoire assistée par robot pour le placement des vis pédiculaires bilatérales en L5 [164].

Ensuite, un environnement de travail stérile pour le bras robotique a été établi en assemblant et en fixant le localisateur et le manchon de protection stérile. Une fois la planification de la navigation établie, le bras robotique a commencé à se déplacer en suivant le guidage dans la trajectoire préplanifiée à l'extérieur du corps. Ensuite, la manche était placée sur la surface osseuse via une incision percutanée et une broche de guidage a été insérée dans le pédicule après le recalibrage de la trajectoire. De plus, une vis pédiculaire polyaxiale canulée de 6 mm de diamètre a été insérée le long de la broche. Enfin, la même vis controlatérale a été insérée de la même manière.

Après la fixation des vis pédiculaires, les épines iliaques bilatérales postérieures supérieures (PSIS) ont été exposées sous-périostées à travers des incisions de 3 cm. Ensuite, nous avons réséqué une partie du PSIS pour éviter une irritation cutanée causée par des vis saillantes, puis inséré une vis iliaque polyaxiale de 7 mm de diamètre et 10 cm de profondeur de chaque côté. Pendant ce temps, nous devons nous assurer que la direction allait du PSIS vers l'épine iliaque antérieure inférieure (AIIS) et entre les lames médiale et latérale de l'aile iliaque. Ensuite, les tiges préprofilées bilatérales d'un diamètre de 6,5 mm ont été insérées sous le fascial et reliées à la vis pédiculaire et à la vis iliaque. Une fois que le déplacement bilatéral vertical et rotationnel a été corrigé par la distraction des dispositifs lombo-pelviens avec pinces de réduction, tous les connecteurs étaient fixés de manière rigide. ( FIG.58)



A

B

C

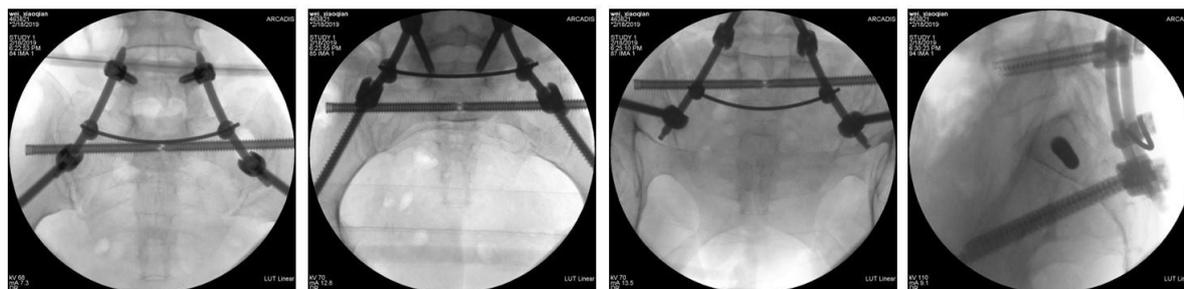
**Figure 58** : Procédure peropératoire et incisions cutanées :

- A. L'insertion de la broche de guidage dans le pédicule L5 en suivant le guidage du bras robotique ;
- B. Réduction avec une pince de distraction pour corriger le déplacement vertical de la fracture sacrée après l'insertion percutanée des vis et des robinets ;
- C. La longueur de chaque incision était inférieure à 3 cm, et ils ont été placés symétriquement en raison de la fixation bilatérale avec la même méthode. [164].

La dernière partie de la prise en charge de l'anneau pelvien postérieur était l'insertion de vis sacro-iliaques bilatérales S1. Une fois le tracteur de navigation fixé au SISP, des vues peropératoires antéro-postérieures, d'entrée, de sortie et de Judet du bassin ont été obtenues et transmises à nouveau au système de planification robotique.

Ensuite, l'angulation et la direction des vis sacro-iliaques bilatérales ont été conçues et la simulation de la mise en place des vis a été complétée sur les images. Avec le guidage dans la trajectoire pré-planifiée, le manchon porté par le bras robotisé s'est déplacé vers la zone cible. Une broche de guidage a été percée dans le sacrum via une incision percutanée après le recalibrage de la trajectoire (Fig. 59 ).

Enfin, une vis sacro-iliaque canulée d'un diamètre de 6,5 mm a été insérée dans la vertèbre S1 le long de la broche de chaque côté. Après que la réduction et la fixation ont été vérifiées à nouveau par radioscopie, la peau et les tissus sous-cutanés ont été suturés (et Fig. 59).



A

B

C

D

**Figure 59** : La position peropératoire et l'orientation des implants étaient cohérentes avec la planification préopératoire. A. vue antéropostérieure; B. Vue d'entrée; C. Vue de sortie; D. Vue latérale [164].

## 6. Discussion :

Peu d'études ont analysé les concepts de fixation lombo-pelvienne. :

Schildhauer et coll. a analysé le concept triangulaire de l'ostéosynthèse de la fracture sacrée et a comparé ces résultats aux fixations de vis ilio-sacrées et de vis pubiennes dans un modèle de blessure C1.3.2 c1 dans une simulation de position de jambe unique. La fixation lombo-pelvienne avec une vis ilio-sacrée supplémentaire a entraîné des déplacements inférieurs significatifs avec une stabilité globale plus élevée [165].

Zheng et coll. ont analysé l'effet de deux longueurs de vis iliaques différentes sur la stabilité globale dans un modèle d'instabilité lombo-sacrée [166]. Aucune différence entre les vis de 70 mm et les vis de 138 mm n'a été observée.

Min et coll. ont réalisé une analyse par éléments finis comparant la fixation ilio-sacrée avec deux vis ilio-sacrées insérées dans S1 [167]. Malgré une plus grande rigidité de deux vis, la charge ultime et la rigidité rotationnelle étaient comparables.

Song et coll. ont réalisé une analyse par éléments finis comparant la fixation lombo-pelvienne unilatérale, la fixation lombo-pelvienne bilatérale et la fixation iliaque unilatérale avec des vis pédiculaires lombaires bilatérales dans un modèle de fracture sacrée unilatérale [168]. La fixation lombo-pelvienne bilatérale a entraîné la rigidité la plus élevée. La fixation unilatérale a conduit à un déséquilibre lombo-pelvien.

Récemment, Jazini et al. ont analysé les fractures sacrées foraminales à déplacement minimal et sévère. La fixation lombo-pelvienne a entraîné la moindre instabilité de toutes les constructions testées [169]. L'ajout d'une vis ilio-sacrée et l'extension à L4 ont été associés à des résultats optimaux, proposant ce dernier concept pour les fractures fortement comminutives.

### **7. Les indications de la fixation lombo-pelvienne :**

- Le spondylolisthésis de haut grade ;
- La fusion de segments longs au sacrum utilisées dans le cadre de la déformation de la colonne vertébrale et des fractures lombaires ;
- Des lésions destructrices du sacrum, y compris celles causées par un néoplasme, une ostéomyélite et des fractures ;
- Le traitement de la pseudarthrose L5-S1 [170].

En ce qui concerne spécifiquement les fractures sacrées, l'utilisation de la fixation lombo-pelvienne est indiquée dans n'importe lequel des fractures de type C dans la classification de la colonne vertébrale AO, c'est-à-dire dans toute fracture du sacrum entraînant une instabilité ou une dissociation spino-pelvienne [171]

**c) Autres méthodes chirurgicales :****i. La sacroplastie : (figure 60)**

La sacroplastie gagne en popularité dans les cas de métastases sans instabilité ni compromis neurologique et représente une alternative mini-invasive aux procédures ouvertes [172]. Principalement décrite dans la littérature dégénérative / ostéoporotique, la sacroplastie a également été étudiée comme une option palliative pour les fractures par insuffisance métastatiques [173-174].

La technique de la sacroplastie est similaire à la vertébroplastie. L'évaluation préopératoire consiste à obtenir un scanner et / ou une IRM.

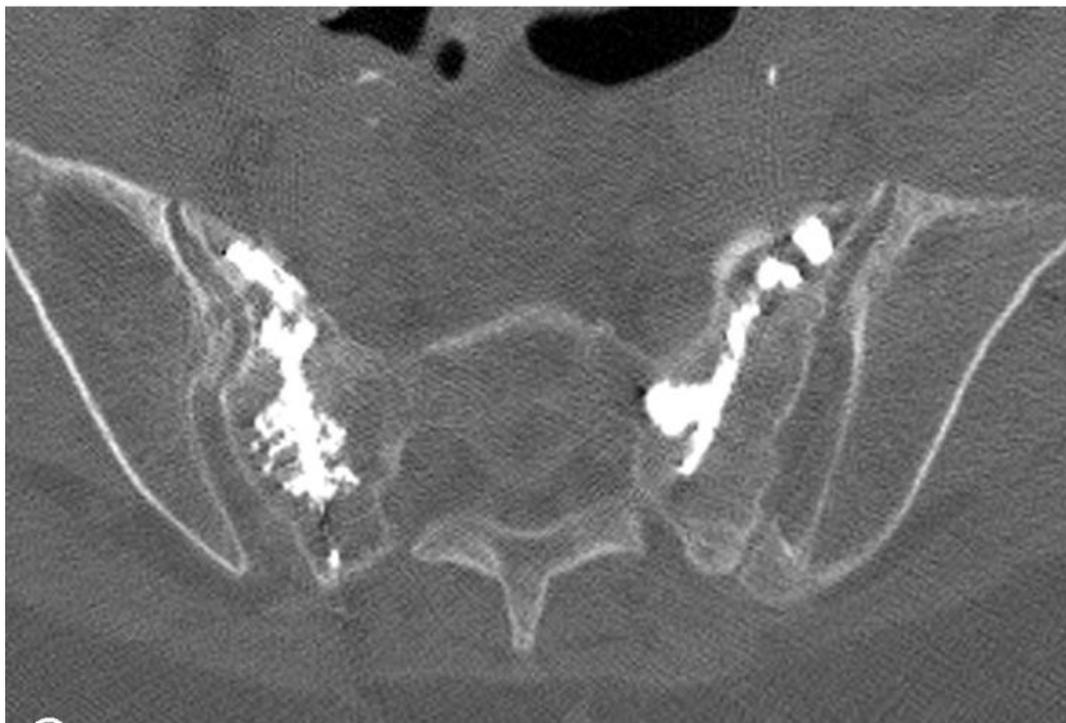
**• La technique :**

La procédure peut être réalisée sous anesthésie locale ou générale, Une combinaison du CTR et du guidage fluoroscopique peut être la meilleure alternative à l'heure actuelle, permettant à la fois le placement précis de l'aiguille et la visualisation en temps réel de la distribution de ciment [175].

Les points d'entrée de l'aiguille sont dictés par le plan de fracture et la conformation ; le ciment est ensuite injecté sous vision fluoroscopique directe pour assurer une pénétration osseuse maximale et pour éviter une extravasation [176].

**• Les complications potentielles de la sacroplastie comprennent :**

L'hémorragie, l'infection, la durotomie avec fuite de liquide céphalo-rachidien, la lésion directe des racines nerveuses ou du plexus lombo-sacré, l'injection de ciment ectopique (dans l'articulation sacro-iliaque), la migration et l'embolisation. Bien que la migration du ciment soit généralement sans conséquence, elle peut occasionnellement provoquer une compression des racines nerveuses et une radiculopathie, nécessitant une décompression [176].



**Figure 60 :** TDM sacrée montrant l'infiltration du ciment dans l'aile sacrée bilatérale [176].

### ii. Fixations postérieures de l'anneau pelvien :

#### ❖ Montage sacro-iliaque de Beaujon (figure 61)

Bien décrite par Hofmann et al. [177], cette technique s'applique essentiellement aux disjonctions sacro-iliaques, mais pourrait être étendue aux fractures en « U » lorsque le trait de fracture vertical épargne le pédicule de S1. Elle présente l'avantage d'éviter la fixation de la charnière lombo-sacrée.

#### • L'installation :

Le patient est installé en décubitus ventral sur table ordinaire, un billot sous le thorax et deux appuis sous les deux crêtes iliaques. Les hanches ainsi que les genoux sont légèrement fléchies. L'utilisation d'une table orthopédique dans le but de faciliter la réduction d'une ascension importante ou ancienne d'un hémibassin est possible.

- **La Voie d'abord :**

L'incision est médiane postérieure centrée sur l'épineuse de L5. Le tissu sous-cutané est décollé jusqu'à la crête iliaque postérieure du côté de la lésion sacro-iliaque. L'articulation L5-S1 et la face postérieure du sacrum jusqu'à S3 sont exposées. Latéralement, la crête iliaque postérieure est dégagée sur une longueur de 5 cm à partir de l'épine iliaque postérieure. L'instrumentation associe d'une part une vis pédiculaire en S1 et une vis divergente en S2, et d'autre part deux vis introduites dans l'épaisseur de l'os iliaque. Une tige de 5,5 mm de diamètre, munie de deux connecteurs sacro-iliaques, réunit les deux vis sacrées.

Les deux montages sont ensuite connectés. Cette technique permet de réaliser de la compression sacro-iliaque et de prévenir l'ascension d'un héli bassin. Les masses musculaires et la crête iliaque postérieure recouvrent les implants, évitant leur saillie sous la peau. Il s'agit d'un montage mécaniquement stable.

Le montage pédiculo-iliaque décrit par Sar et Kiricoglu [178] peut être considéré comme une variante de cette technique. Il ne peut être réalisé qu'en cas d'intégrité du pédicule de S1 et de la crête iliaque postérieure. Deux tiges, connectées l'une à une vis en S1 et l'autre à une vis iliaque de 8 mm, coulissent l'une par rapport à l'autre selon un angle fixe de 90° par l'intermédiaire d'un connecteur. La réduction se fait sur la vis S1 dans le plan frontal, sur la vis iliaque dans le plan axial. Néanmoins, la stabilité obtenue est moindre.



**Figure 61** : radiographie face de bassin après Montage sacro-iliaque de Beaujon [177]

❖ **Technique de la Pitié [179] : shortening osteotomy et fixation par plaque sacro-sacrée**

Cette technique est indiquée pour les fractures de type II et III de Roy-Camille et repose sur deux principes :

- la réduction par un raccourcissement sacré dans foyer de fracture (ou shortening) ;
- l'ostéosynthèse basée sur la situation des traits sagittaux de la fracture en U par rapport aux trous sacrés. Ces traits partent des trous sacrés antérieurs et rejoignent les trous sacrés postérieurs. Une fixation stable par plaque vissée est possible en s'appuyant sur la crête sacrée intermédiaire du fragment central et les ailes iliaques, après traversée des articulations sacro-iliaques. Cette ostéosynthèse peut être réalisée de façon bilatérale et a l'avantage de préserver le passage des racines sacrées.

- **Installation :**

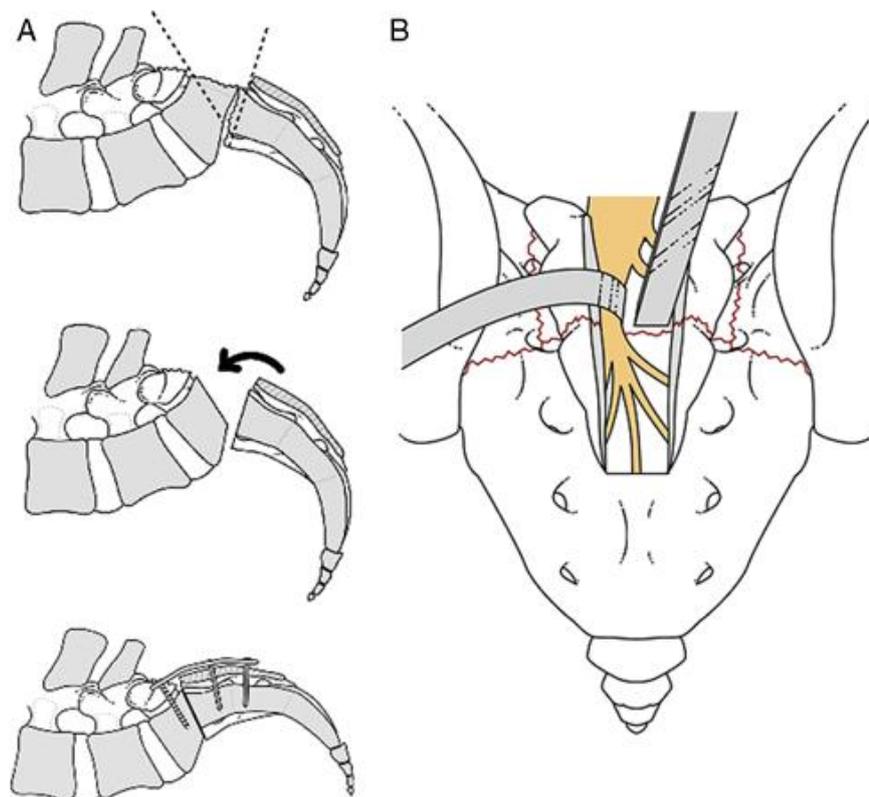
Le patient est installé en décubitus ventral sur table orthopédique sans appui périnéal entre les cuisses, le thorax maintenu à la table par des bandes adhésives.

- **La technique :**

L'incision est médiane postérieure descendant jusqu'à la S4 afin de ménager au maximum la peau et les masses musculaires. Les masses musculaires paravertébrales sont dégagées jusqu'aux apophyses transverses de L5 et aux épines iliaques postéro-supérieures, et on expose en bas les quatre trous sacrés.

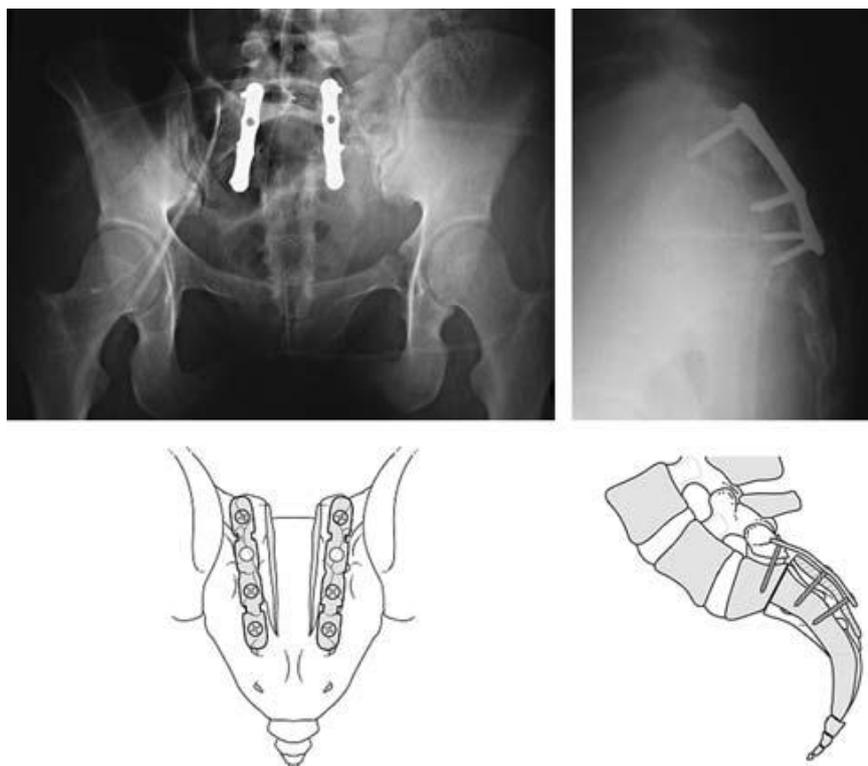
La laminectomie, facilitée par les traits de la fracture en U, relève progressivement les lames séparées par la fracture. Elle est étendue en haut vers L5 et en bas jusqu'à repérer les racines S4. Latéralement, il faut dégager à la pince de Kérisson jusqu'aux trous sacrés en délimitant ainsi la crête sacrée intermédiaire où le matériel sera implanté.

L'accourcissement est réalisé à la demande, de part et d'autre du trait de fracture transversal en s'aidant d'une spatule ou d'une rugine pour le faire bâiller. Il faut le poursuivre prudemment vers l'avant jusqu'à obtenir une mobilité suffisante des deux fragments. L'extension de hanche, en soulevant et en tractant les membres inférieurs, permet alors de réduire en mobilisant le fragment inférieur (toujours basculé en rétroversion) en extension par rapport au fragment supérieur. (Figure 62)



**Figure 62 :** Aspect technique de l'ostéotomie de raccourcissement. A, schémas sagittaux étape par étape pour montrer la résection en coin. B, vue anatomique postérieure. [197]

L'ostéosynthèse est confiée à des plaques avec des vis de diamètre 3,5 mm. Elle est chantournée en suivant la courbure du sacrum ; quatre vis principales sont alors mises en place : la première pédiculaire en S1, les deux suivantes obliques en dehors et légèrement en avant traversant l'articulation sacro-iliaque et la quatrième plus courte, fixée dans le renfort de la crête intermédiaire. Entre ces quatre vis, des vis uni-corticales peuvent être ajoutées pour renforcer le montage. Un montage bilatéral assure une bonne stabilité. La verticalisation n'est pas autorisée avant le 45<sup>e</sup> jour. (Figure 63)



**Figure 63** : Positionnement des plaques sur les crêtes sacrées intermédiaires. [197]

#### ❖ Vissage ilio-sacré Fig 64 :

Décrite par Routt et al. [180] dans les années 1990, cette technique a été initialement proposée pour le traitement des disjonctions sacro-iliaques. Son indication a été secondairement étendue aux fractures-luxations sacro-iliaques et aux fractures verticales du sacrum.

Le vissage ilio-sacré percutané est réalisé sous contrôle radioscopique, voire sous contrôle tomodensitométrique par certaines équipes [181-182]. Les nouvelles technologies d'imagerie peropératoire et de navigation [183, 184] sécuriseront ce geste.

#### • Planification :

La planification préopératoire sur un scanner avec reconstruction dite reconstruction multi-planaire ou MPR dans les trois plans. Elle permet d'analyser :

- les caractéristiques du sacrum à la recherche d'une éventuelle dysplasie contre-indiquant le vissage [185] ;
  - les caractéristiques de la composante verticale de la fracture du sacrum (zone de Denis, avec un risque d'incarcération de racines sacrées dans le foyer de fracture) ;
  - les caractéristiques de la lésion de l'anneau pelvien selon Tile, une éventuelle fracture du cotyle associée, afin de déterminer les manœuvres de réduction et de décider d'une éventuelle ostéosynthèse antérieure associée et de sa date (avant ou après le vissage ilio-sacré) ;
  - la longueur théorique de la vis.
- **Installation :**

Le patient est installé en décubitus dorsal sur table radio-transparente, afin de pouvoir faire des contrôles radioscopiques de face et de profil, et des incidences inlet et outlet. En dehors des tables dédiées, une table orthopédique (à appuis décalés) permet généralement l'utilisation de l'amplificateur de brillance. Une fois la bonne visibilité des repères osseux assurée, la hauteur de la table ne sera plus modifiée.

- **Réduction :**

La réduction est indispensable. Elle est réalisée par manœuvres externes sous contrôle radioscopique (en inlet/outlet). En cas de déplacement vertical important, une traction trans condylienne est très utile. Elle permet de : descendre l'hémi-bassin sans transmettre de forces à l'articulation du genou ; réaliser la traction en flexion de hanche et du genou (pour détendre le nerf sciatique) ; positionner la hanche en rotation interne forcée afin d'entraîner l'aile iliaque dans un mouvement de fermeture de l'anneau pelvien.

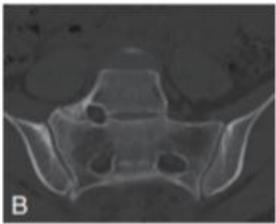
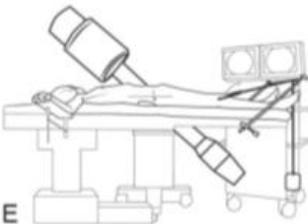
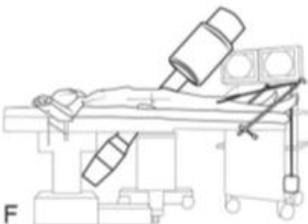
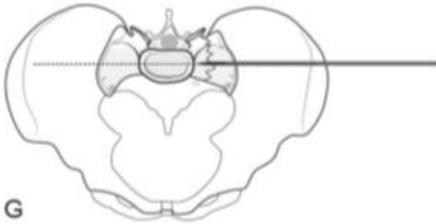
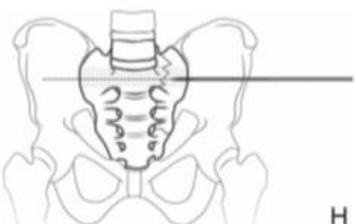
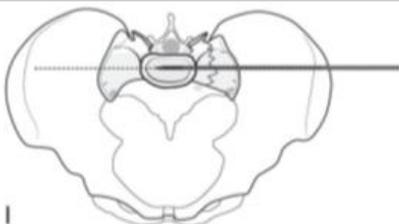
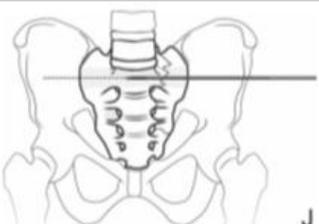
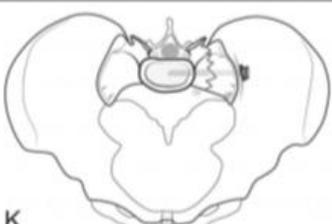
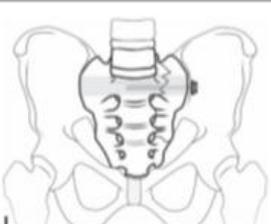
En cas d'irréductibilité, un abord chirurgical peut être réalisé par la fenêtre externe d'un abord ilio-inguinal, donnant accès à la face antérieure du sacrum par voie endopelvienne.

Le patient (ou son entourage chez un patient inconscient) doit être informé de cette éventualité en préopératoire.

- **Fixation.**

L'utilisation d'un ancillaire canulé facilite la mise en place d'une broche qui servira de guide pour le méchage, la mesure et le vissage définitif. Le premier temps est le repérage du point d'entrée de la broche sur la table externe de l'os iliaque sur l'incidence de profil. Il correspond à la projection du centre du corps de S1 et est marqué sur la peau, ou mieux, repéré par une broche courte fichée dans la table externe. L'incidence de profil n'est plus utile par la suite.

La progression de la broche filetée se fait au moteur lent, pas à pas. Il y a parfois très peu de résistance en cas de comminution importante ou chez le sujet âgé.

	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
Plans de coupe		
Coupes épaisses MPR (aspect radioscopique attendu)		
Installation		
Repères et mise en place de l'implant		
		
		

**Figure 64** : Planification, installation, repères et vissage. [198]

## **VIII-Indications et choix de la fixation :**

Une fixation n'est pas indiquée dans deux cas :

- en l'absence de troubles neurologiques, devant une fracture stable (Tile A, Roy-Camille type I, fractures transversales basses) ;
  - en présence de lésions cutanées interdisant l'abord chirurgical.
- Dans les autres cas, la réduction et la fixation chirurgicale dépendent du type de fractures. Il faut se poser deux questions :
- existe-t-il un trait transversal haut dans le sacrum ? oui/non ;
  - existe-t-il une fracture de l'anneau pelvien ? oui/non.

Il existe alors trois cas de figure pathologique (annexe 6). :

### **❖ Pas de fracture sacrée transversale haute**

Il s'agit de fractures de l'anneau pelvien avec une fracture du sacrum longitudinale passant en zone 1, 2 ou 3 de Denis. La fracture sera classée selon Tile pour déterminer la manoeuvre de réduction.

Si la réduction est obtenue par manoeuvres externes, le vissage ilio-sacré sera toujours privilégié. Il est parfois associé à une synthèse antérieure [186]. Une cimentoplastie est discutée chez le sujet âgé ou ostéoporotique.

Si la réduction n'est pas obtenue, un abord chirurgical postérieur permet de réaliser l'ostéosynthèse en privilégiant les fixations sacro-iliaques par rapport aux fixations lombo-pelviennes lorsque le pédicule de S1 est intact.

### **❖ Fracture sacrée transversale haute**

#### **1. Sans fracture de l'anneau pelvien :**

Ce sont les fractures en « U » typiques qui seront classées selon RoyCamille.

Une fracture de type I relève d'un traitement fonctionnel. Un vissage ilio-sacré avec ou sans cimentoplastie est discuté chez le sujet âgé ou ostéoporotique afin de permettre une mobilisation précoce.

Les fractures de type II et III, fréquemment associées à des troubles neurologiques et difficilement réductibles par manœuvres externes, relèvent d'un abord chirurgical avec décompression et fixation (technique de la Pitié, vissage sacro-iliaque bilatéral lorsque le pédicule de S1 est préservé par les traits verticaux, sinon montage lombo-iliaque). Si la réduction a été obtenue par manœuvres externes, un vissage ilio-sacré peut être réalisé.

## **2. Avec fracture de l'anneau pelvien :**

L'association fracture sacrée transversale-fracture de l'anneau pelvien est le cas le plus complexe.

Les fractures de Tile A seront traitées comme des fractures en « U » isolées. Les fractures de Tile B et C nécessitent le plus souvent de compléter la réduction obtenue par manœuvres externes par des manœuvres à l'aide des implants. Il faut réduire dans le plan sagittal pour la fracture transversale, dans le plan horizontal pour les fractures de Tile B, dans le plan vertical pour celles de Tile C. Un montage en triangulation permet d'augmenter la stabilité de l'ostéosynthèse, ainsi que la fixation antérieure de l'anneau pelvien. C'est la place des fixations sacro-iliaques (technique de Beaujon et variantes) ou lombo-iliaques si les pédicules sacrés ne sont pas préservés, ou si la réduction est insuffisante. Les fractures de Tile C nécessitent souvent une fixation lombo-iliaques.

## **IX-Complications tardives liées à la fixation lombo-pelvienne :**

Les complications sont très fréquentes (38 %) [42].

**Les complications cutanées** avec désunion et suppuration sont le fait de la chirurgie à ciel ouvert et nécessitent une excision et une antibiothérapie. Des fuites de liquide céphalorachidien (LCR) sont possibles, nécessitant une réintervention. Elles sont prévenues par une suture soignée du fourreau dural et l'utilisation de colle biologique.

**Les complications liées au matériel d'ostéosynthèse** (mobilisation de vis ilio-sacrée ou déplacement secondaire) et les douleurs sur matériel d'ostéosynthèse peuvent justifier son ablation.

- ✓ Il semble qu'un peu moins de 50 % des patients présentant des troubles neurologiques récupèrent complètement [42] et que la récupération soit meilleure lorsqu'un geste de décompression est associé. Environ 30 % des patients récupèrent incomplètement. Un syndrome périnéal complet semble avoir peu de chance de récupérer [42].
- ✓ Les cals vicieuses sont dues soit à une impossibilité de traitement initial dans des délais raisonnables, soit à un défaut de réduction. Il faut signaler ici le cas particulier des fractures de Roy-Camille de type 2 et 3, dont le défaut de réduction (cal vicieuse dans le plan sagittal) peut entraîner une modification de l'incidence pelvienne du patient. La statique globale du rachis s'en trouve perturbée, avec des modifications des courbures lombaires et dorsales dans le plan sagittal.
- ✓ Échec de réduction et déplacement secondaire ;
- ✓ Lésions nerveuses : tronc lombo-sacré (L4-L5), racines sacrées (S1). Elles peuvent être dues à :

- une malposition d'implant à l'origine d'un déficit neurologique iatrogénique [187], le plus souvent par lésion du tronc lombo-sacré,
- une lésion du tronc lombo-sacré lors de la fermeture d'une disjonction sacro-iliaque,
- une compression des racines sacrées par compression excessive du foyer de fracture lors de réduction d'une fracture verticale du sacrum [188].

Tableau 5: les complications postopératoires

	Alaswad et al [30 (2020)	Rocha et al [189] (2018)	Jazini et al [190] (2017)	He et al [191] (2013)	Vilela et al [192] (2007)	Notre série
Nb patient	15	1	24	21	1	3
Age	28+8,11 -	21	45	30,61	23	27
Déficit neurologique	0	0	0	1	0	0
Infection ou hematome	3	0	2	2	1	0
Déplacement secondaire	0	0	1	1	0	0

# RESULTATS

**a) Evaluation des résultats :**

Le recul moyen, concernant notre série, était de 8,6 mois nettement bas par rapport aux autres études récentes peut être expliqué par les conditions socioéconomiques de nos patients qui viennent dans la majorité des cas de régions éloignées.

Un recul important est nécessaire pour mieux évaluer les résultats à long terme et dépister une éventuelle complication qui peut se révéler même après plusieurs années du traitement. Le tableau 6 résume la durée d'évolution porté par les autres auteurs.

Tableau 6 : la durée d'évaluation porté par les autres auteurs

Auteurs	Recul (mois)
Alaswad et al[30] (2020)	19.2±8.6 mois
Rocha et al [189] (2018)	12 mois
Jazini et al [190] (2017)	18,8 mois
He et al [191] (2013)	20 mois
Vilela et al[192] (2007)	12 mois
Nos malades	8,6 mois

**b) Résultat clinique :**

Les résultats cliniques postopératoires ont été évalué à l'aide du score de Gibbon (annexe1 ) qui permet un examen neurologique complet , et à l'aide de VAS (annexe2)( échelle visuelle analogique )

Pour notre série :

le score de gibbon : les 3 malades n'ont présenté aucun déficit neurologique et ont été classé type 1 .

le VAS : la moyenne de l'échelle visuelle analogique dans notre série est de 3,3

Tableau 7 : résultats cliniques selon le score de Gibbon et de VAS selon différentes séries

	Nombre de patient	Type d'ostéosynthèse	Score de Gibbon		VAS	
			Préop	Postop	Préop	postop
Alaswad et al [30] (2020)	15	Fixation lombo-sacro-pelvienne	3.4±1.01	1.6±1.2	8.13±12.5	2.6±10.1
Rocha et al [189] (2018)	1	Fixation lombo-sacro-pelvienne	2	1	2	0
He et al [191] (2013)	21	Fixation lombo-sacro-pelvienne	3.43±0.51	1.76±1.09	-	-
Vilela et al [192] (2007)	1	Fixation lombo-sacro-pelvienne	4	2	-	0
Nos malades	3	Fixation lombo-sacro-pelvienne	0,66	0	8,66	4

**c) Résultat radiologique :**

L'interprétation des radiographies de contrôle a permis d'évaluer :

- La qualité de la consolidation.
- La présence ou non d'un déplacement secondaire du matériel d'ostéosynthèse

La consolidation a été obtenue chez les 3 patients soit (100%), et sans notion de mobilisation de matériel d'ostéosynthèse.

**Tableau 8 : comparaison des résultats radiologiques**

	Nombre de patient	Recul (mois)	La consolidation	Déplacement secondaire de vis
Alaswad et al[30] (2020)	15	19.2±8.6 mois	100%	0%
Rocha et al [189] (2018)	1	12 mois	100%	0%
Jazini et al [190] (2017)	24	18,8 mois	100%	4,1%
He et al [191] (2013)	21	20 mois	100%	0%
Vilela et al[192] (2007)	1	12 mois	100%	0%
Nos malades	3	8,6 mois	100%	0%

# CONCLUSION

L'ostéosynthèse sacro-iliaque semble une technique fiable et reproductible dans le traitement des lésions du sacrum et surtout ceux qui sont traumatiques.

Le traitement des disjonctions sacro-iliaques, des fractures-luxations sacro-iliaques, et des fractures verticales du sacrum sont les meilleures indications. Nous pratiquons cette technique en décubitus ventral sur quatre coussins ou, mieux, sur table orthopédique, associée à L'amplificateur de brillance qui permet les contrôles de face et de profil.

En cas de troubles neurologiques préexistants, la libération radiculaire par laminectomie sacrée est effectuée avant la mise en place de dispositifs de traction transverses.

L'intervention est donc pratiquée au mieux dans les 15 jours suivant le traumatisme et la réduction est illusoire après 3 semaines, ce qui explique la fréquence des cals vicieux. Elle peut même s'effectuer en urgence s'il existe une défaillance circulatoire et remplace avantageusement la mise en place d'un fixateur externe.

Si l'on respecte les règles définies dans la série, le risque de lésions iatrogènes est faible. Dans le cadre d'un traumatisme du bassin, La réduction des lésions du sacrum entraîne très souvent une réduction des lésions antérieures, pourtant un complément d'ostéosynthèse antérieure est souvent souhaitable.

Le faible taux de complications postopératoires, les bons résultats fonctionnels en dehors des quelques échecs explicables, nous incitent à persévérer dans cette voie.

Finalement reste à parler de la prévention, elle constitue un palier très important que l'état doit prendre en considération afin de diminuer le taux des accidents de la voie publique qui définit l'étiologie dominante des lésions sacrées.

# RESUME

## Résumé :

A travers une étude rétrospective, nous rapportons une série de 3 cas qui présentent des lésions d sacrum traité par ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque au service de Neurochirurgie de l'hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknès sur une période de 2 ans (du Janvier 2018 à décembre 2020). Il s'agit de 2 femmes et 1 homme, âgés de 19 à 39 ans avec un âge moyen de 27 ans.

Les accidents de la voie publique, la chute d'une hauteur dominant les lésions traumatiques du sacrum, par contre le schwannome sacré représente la cause tumorale la plus fréquente.

La tomodensitométrie du bassin centrée sur le sacrum faite chez tous les malades permettait le diagnostic, la classification de Denis a révélé 2 cas de fractures zone 1 et 1 cas de fracture zone 2, alors que la classification d'AOSpine a révélé 2 cas de fracture type B2 et 1 cas de fracture B3.

Le traitement était chirurgical par ostéosynthèse lombo-sacro-iliaque chez tous les malades. Le suivi à long terme et la revue des malades étaient un peu difficiles. Le recul est compris entre 1 mois et 19mois avec un recul moyen de 8,6 mois.

L'évaluation des résultats fonctionnelles postopératoires a été réalisé à l'aide du score fonctionnel Gibbon : les 3 malades n'ont présenté aucun déficit neurologique et ont été classé type 1 – et à l'aide le VAS avec une moyenne de 3,3.

Les résultats radiologiques évalués sur les radiographies de contrôles étaient : une consolidation a100% sans notion déplacement secondaire du matériel d'ostéosynthèse.

## **Abstract :**

Through a retrospective study, we report a series of 3 cases presenting lesions of the sacrum treated by lumbosacro-iliac osteosynthesis in the Neurosurgery department of the Moulay Ismail Military Hospital in Meknes over a period of 2 years (from January 2018 to December 2020). These are 2 women and 1 man, aged 19 to 39 with an average age of 27.

Road accidents and falling from a height dominate traumatic lesions of the sacrum, on the other hand the sacral schwannoma represents the most frequent tumor cause.

Computed tomography of the pelvis centered on the sacrum made in all patients allowed the diagnosis, Denis' classification revealed 2 cases of zone 1 fractures and 1 case of zone 2 fracture, while the AOspine classification revealed 2 cases of fracture type B2 and 1 case of B3 fracture.

The treatment was surgical by lumbosacroiliac osteosynthesis in all patients. Long-term follow-up and review of patients was a bit difficult. The follow-up is between 1 month and 19 months with an average follow-up of 8.6 months.

The evaluation of the postoperative functional results was carried out using the Gibbon functional score: the 3 patients presented no neurological deficit and were classified as type 1 – and using the VAS with an average of 3.3 .

The radiological results evaluated on the follow-up radiographs were: 100% consolidation without any notion of secondary displacement of the osteosynthesis material.

ملخص :

من خلال دراسة بأثر رجعي ، قمنا بالإبلاغ عن سلسلة من 3 حالات تظهر آفات في العجز تمت معالجتها عن طريق تخليق العظم القطني العجزي الحرقفي في قسم جراحة الأعصاب في مستشفى مولاي إسماعيل العسكري في مكناس على مدى عامين (من يناير 2018 إلى ديسمبر 2020). هؤلاء هم امرأتان ورجل واحد تتراوح أعمارهم بين 19 و 39 بمتوسط عمر 27.

تهيمن حوادث الطرق والسقوط من ارتفاع على الآفات المؤلمة في العجز ، من ناحية أخرى ، يمثل الورم الشفاني العجزي السبب الأكثر شيوعاً للورم.

سمح التصوير المقطعي للحوض المتمحور حول العجز المصنوع في جميع المرضى بالتشخيص ، وكشف تصنيف Denis عن حالتين من كسور المنطقة 1 وحالة واحدة من كسر المنطقة 2 ، بينما كشف تصنيف العمود الفقري Aospine عن حالتين من الكسر من النوع B2 وحالة واحدة من كسر B3.

كان العلاج جراحياً عن طريق تخليق العظم القطني العجزي الحرقفي في جميع المرضى. كانت المتابعة طويلة الأمد ومراجعة المرضى صعبة بعض الشيء. مدة المتابعة بين شهر واحد و 19 شهراً بمتوسط متابعة يبلغ 8.6 شهراً.

تم إجراء تقييم النتائج الوظيفية بعد العملية الجراحية باستخدام درجة Gibbon الوظيفية: لم يُظهر المرضى الثلاثة أي عجز عصبي وتم تصنيفهم على أنهم من النوع 1 - وباستخدام VAS بمتوسط 3.3.

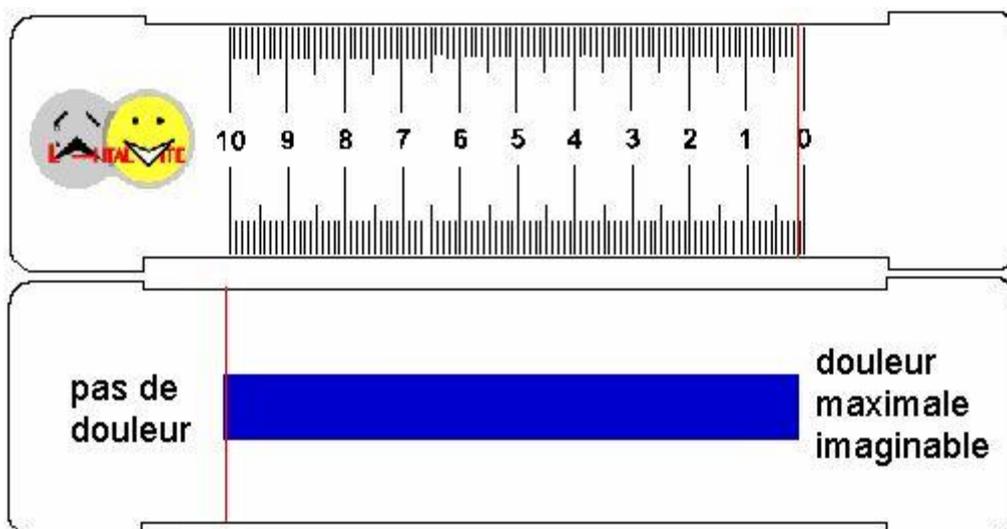
كانت النتائج الإشعاعية التي تم تقييمها على الصور الشعاعية للمتابعة هي: دمج بنسبة 100٪ دون أي فكرة عن الإزاحة الثانوية لمادة تخليق العظم.

# ANNEXES

## Annexe 1 : La classification de Gibbons de la déficience de la queue de cheval (adapté de Beckmann et China Puvvula, 2017)

Type	Déficit neurologique
Type1	aucun
Type2	Paresthésie uniquement
Type3	Déficit moteur des membres inférieurs
Type4	Dysfonction intestinale / vésicale

## Annexe 2 :VAS (échelle visuelle analogique)



**Annexe 3 : Système de classification Denis**

Type	Constatations	Mécanisme	Déficit neurologique	Stabilité
Zone I	À travers l'aile sans aucun dommage au foramina ou au canal rachidien	Forces de compression latérales, déformations à open-book et cisaillement vertical	Risque faible (<10%)	Habituellement stable
Zone II	implique un ou plusieurs foramins	Forces de compression latérales, déformations à open book et cisaillement vertical	Risque élevé (20-30%)	Habituellement stable
Zone III	Concerne principalement le canal rachidien ; peut également passer par les zones I et II	Impliquer un spectre allant des luxations de fracture aux fractures de type « éclatement sacré»	Risque le plus élevé (50% <)	Souvent instable

**Annexe 4 : Système de classification Roy-Camille modifié**

Type	Constatations	Mécanisme	Déficit neurologique	Stabilité
Type1	Cyphose sans déplacement	Hyperflexion	Risque faible	Potentiellement stable
Type2	Cyphose avec rétrolisthésis partiel	Hyperflexion	Risque élevé	Souvent instable
Type3	Déplacement antérieur du segment sacrum SUP	Hyperextension	Risque le plus élevé	Toujours instable
Type4	transversal avec Comminution	Chargement axial	Risque élevé	Toujours instable

**Annexe 5: Système de classification Isler**

Type	Constatacion	Stabilité
Type1	Fractures latérales à la facette dans laquelle l'hémi-bassin de dislocation provoque une fracture de l'apophyse articulaire de S1 ou de l'apophyse articulaire inférieure correspondante	Instable lorsque bilatéral Stable lorsqu'il est unilatéral
Type2	Les fractures de la jonction lombo-sacrée qui existent à travers le L5 / S1 facette dans laquelle la dislocation hémi-bassin provoque une perturbation au niveau de l'articulation : (a) sous la forme d'une dislocation de la fracture, si la fracture sacrale passe à travers le processus articulaire de S1 (b) sous forme de subluxation (c) sous forme de luxation complètement verrouillée	Instabilité plus élevée
Type3	Fractures de la jonction lombo-sacrée qui sortent médialement de la facette où d'hémi-bassin se disloquant provoque de multiples lésions le long des piliers articulaires avec des incongruences articulaires et des fractures des processus articulaires, des parties interarticulaires, des lames et des pédicules	Instabilité la plus élevée

**Annexe 6 : indication et choix de fixation :**

		Fracture transversale haute du sacrum (Roy-Camille)	
		NON	OUI
Fracture de l'anneau pelvien (Tile)	NON		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fracture transversale isolée (« U »)</li> <li>- Type I : traitement fonctionnel ou vissage ilio-sacré ± ciment</li> <li>- Types II et III :               <ul style="list-style-type: none"> <li>• décompression neurologique</li> <li>• réduction dans le plan sagittal</li> <li>• fixation (sacro-iliaque ou lombo-iliaque) en fonction de l'intégrité des pédicules de S1</li> </ul> </li> </ul>
	OUI	<p>À traiter comme une fracture de l'anneau pelvien :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- classée selon Tile</li> <li>- priorité à la fixation de la lésion postérieure en fonction de la réduction (vissage ilio-sacré) +/- ostéosynthèse antérieure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tile A = idem à fracture en « U » isolée</li> <li>- Tile B et C =               <ul style="list-style-type: none"> <li>• réduction plan horizontal (Tile B) et vertical (Tile C) pour le bassin</li> <li>• réduction plan sagittal pour Roy-Camille types II et III</li> <li>• décompression et fixation le plus souvent lombo-iliaque ou triangulation</li> </ul> </li> </ul>

# LES REFERENCES

- [1] Cyteval C, Sarrabère-Baron MP, Decoux E, Larroque G. Sacrum-coccyx articulations sacro-iliaques. Technique radiologique et aspects normaux. Encycl Méd Chir (Elsevier SAS, Paris), Radiodiagnostic - Squelette normal- Neuroradiologie - Appareil locomoteur, 30-700-A-10, 2005: 12 p.
- [2] Dahlin DC, Unni KK. Hemangioendothelioma and haemangiopericytoma. In: Dahlin DC (ed), Bone tumours. General aspects and data on 8452 cases. Illinois: Thomas, 1986; 394-405.
- [3] Rouvière H. Anatomie humaine topographique et descriptive des vertèbres sacrées et coccygiennes. Paris: Masson; 1997 p. 551-6 tome 2.
- 4 Sacral Nerve Root Block Danilo Jankovic , MD Director of Pain Management Centre  
DGS - Cologne - Huerth , Luxemburger Str. 323-325 , 50354 Cologne - Huerth  
, Germany
- 5 Gray's Anatomy E-Book : The Anatomical Basis of Clinical Practice, Elsevier Health Sciences, 7 août 2015, 1592 p. (ISBN 978-0-7020-6851-5, lire en ligne [archive]), p. 764
- [6] Bouchet A, Cuilleret J. La loge rétro rectale. Anatomie topographie, descriptive et fonctionnelle, vol :4, pp :2197-2221, 2eme édition.
- [7] Beneventano TC, Frager DD, Wolf EL. The widened retrorectal space: some radiographic-clinical considerations. Mt Sinai J Med (NY) 1984 ; 51 : 467-72.
- [8] Crommelynck M, Lampaert A, De Rycke D, De Feyter I, Kunnen M, Van de Velde E. The retrorectal space reviewed by CT. J Belge Radiol. 1988;71(3):356-63.
- [9] García-Armengol J, García-Botello S, Martínez-Soriano F, Roig JV, Lledó S. Review of the anatomic concepts in relation to the retrorectal space and endopelvic fascia. Colorectal Dis. 2008 Mar;10(3):298-302.
- [10] - PATURET G. : Traité d'anatomie humaine - Tome I Masson, 1951, Paris.
- [11]- ROUVIERE H. ; DELMAS A. : Anatomie humaine descriptive topographique et fonctionnelle Masson 2002

- [12]- COSTES F., VALLEE G. : Aspects radiographiques des articulations sacro-iliaques chez l'adolescent Sem. Hôp. Paris, 1957, 33, 1264-1270.
- [13]. Cours d'Anatomie de B. LAZERGES - IO-RENNES 2012-13
- [14]- ROLE BIOMECANIQUE DES LIGAMENTS SACRO-EPINEUX ET SACRO-TUBERAL SUR LA STABILITE DE L'ARTICULATION SACRO-ILIAQUE Par Jean-Marie PHILIPPEAU 2004-2005
- [15]- BONNEL F. : Abrégé d'anatomie fonctionnelle et biomécanique Appareil locomoteur - Tome III Sauramps médical
- [16]- DELMAS A. : Jonction sacro-iliaque et statique du corps. Rev. Rhum., 1950, 17, 475-481.
- [17]- DUJARDIN Experimental study on sacro-iliac joint. Journal Orthop.Trauma. 2002 Feb; 16(2); 99-103.
- [18]- GARY L. : Sacro-iliac motion for extreme hip positions. A fresh cadaver study. Spine; 1997; Sep 15; 22(18);2073-82.
- [19]- HERISSON C. : Pathologie de l'articulation sacro-iliaque Masson 1992
- [20]- KAMINA P. : Arthrologie des membres. Maloine, 2ème édition.
- [21]- KAPANDJI : Physiologie articulaire Maloine 1975
- [22]- NORDIN J-Y. : Fractures de l'anneau pelvien. Conférence d'enseignement. SOFCOT 1990, 187-204.
- [23]- POOL The ilio-lombar ligament. Clin. Biomech. (Bristol Av) ; 2003 Feb ; 18(2) 99-105.
- [24]. Bydon M, De la Garza-Ramos R, Macki M, Desai A, Gokaslan AK, Bydon  
Incidence of sacral fractures and in-hospital postoperative complications in the United States: an analysis of 2002-2011 data. Spine (Phila Pa 1976) 2014;39:E1103-E1109.

- [25] Tamaki Y, Nagamachi A, Inoue K, et al. Incidence and clinical features of sacral insufficiency fracture in the emergency department. *Am J Emerg Med* 2017;35:1314-1316.
- [26] van Berkel D, Ong T, Drummond A, et al. ASSERT (Acute Sacral insufficiency fracture augmentation) randomised controlled, feasibility in older people trial: a study protocol. *BMJ Open* 2019;9:e032111.
- [27] Rommens PM, Arand C, Hofmann A, Wagner D. When and how to operate fragility fractures of the pelvis? *Indian J Orthop* 2019;53:128-137.
- [28] Bydon M, Fredrickson V, De la Garza-Ramos R, et al. Sacral fractures. *Neurosurg Focus* 2014;37:E12.
- [29] Lumbopelvic Fixation in Unstable Traumatic Spinopelvic Sacral Fractures: Clinical and Radiological Outcome. Mohamed Alaswad ,Hesham Habba , Hassan Elshatoury , Sherif Elkhatib, Ali Abou-Madawi Neurosurgery department, Suez Canal University, Egypt.2020
- [30] Nonne et al. *Journal of Medical Case Reports* (2018) Suicidal jumper's fracture – sacral fractures and spinopelvic instability: a case series 12:186 <https://doi.org/10.1186/s13256-018-1668-1>
- [31] Management of sacral fractures associated with spinal or pelvic ring injury Ye-Soo Park, MD, PhD, Seung-Wook Baek, MD, Hong-Sik Kim, MD, and Ki-Chul Park, MD, PhD, Gyunggi-do, South Korea (2012) DOI: 10.1097/TA.0b013e31825a79d2
- [32] Management of traumatic sacral fractures: A retrospective case-series study and review of the literature Vassilis A. Lykomitros, Kyriakos A. Papavasiliou \*, Ziyad M. Alzeer, Fares E. Sayegh, John M. Kirkos, George A. Kapetanos 3rd Orthopaedic Department, Aristotle University of Thessaloniki, Medical School, Greece (2010) DOI: 10.1016/j.injury.2009.09.008

- [33] Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(227):67–81.
- [34] Mehta S, Auerbach JD, Born CT, Chin KR. Sacral fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006;14:656–665.
- [35] Young JWR, Resnik CS. Fracture of the pelvis: current concepts of classification. *AJR Am J Roentgenol,* 1990;155:1169–1175.
- [36] Leone A, Cerase A, Priolo F, Marano P. Lumbosacral junction injury associated with unstable pelvic fracture: classification and diagnosis. *Radiology,* 1997;205:253–259.
- [37] Young JWR, Burgess AR. *Radiologic Management of Pelvic Ring Fractures.* Baltimore: Urban and Schwartzenberg, 1987.
- [38] Kim M, Reidy D, Nolan P, et al. Transverse sacral fractures: case series and literature review. *Can J Orthop Surg,* 2001;44:359–363.
- [39] König MA, Jehan S, Boszczyk AA, Boszczyk BM. Surgical management of U-shaped sacral fractures : a systematic review of current treatment strategies. *Eur Spine J* 2012 ; 21 : 829–36.
- [40] Leidig-Bruckner G, Raue F, Frank-Raue K. Secondary osteoporosis— relevant clinical characteristics in diagnosis and therapy. *Dtsch Med Wochenschr.* 2012;137:326–32.
- [41] Consensus Development Conference. Prophylaxis and treatment of osteoporosis. *Am J Med.* 1991;90:107–10.
- [42] Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, et al. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch. Osteoporos.* 2013;8:136.

- [43] Kanis JA, Johnell O, Oden A, Jonsson B, De Laet C, Dawson A. Risk of hip fracture according to the World Health Organization criteria for osteopenia and osteoporosis. *Bone*. 2000;27:585-90.
- [44] INCIDENCE AND MORTALITY OF OSTEOPOROTIC SACRAL INSUFFICIENCY FRACTURES: A RETROSPECTIVE SINGLECENTRE STUDY Bahtiyar HABERALI, Ekin KAYA ŞİMŞEK, Mahmut IŞIK *J Turk Spinal Surg* 2020;31(1):36-40  
DOI: 10.4274/jtss.galenos.2020.62
- [45] Fragility fractures of the sacrum occur in elderly patients with severe loss of sacral bone mass Daniel Wagner · Alexander Hofmann · Lukas Kamer · Takeshi Sawaguchi · R. Geoff Richards<sup>2</sup> · Hansrudi Noser · Dominik Gruszka · Pol M. Rommens 2018 Germany y  
<https://doi.org/10.1007/s00402-018-2938-5>
- [46] Trouvin, A.-P., Alcaix, D., Somon, T., & Zarnitsky, C. (2012). Analgesic effect of sacroplasty in osteoporotic sacral fractures: A study of six cases. *FRANCE Joint Bone Spine*, 79(5), 500-503. doi:10.1016/j.jbspin.2011.12.005
- [47] Leroux JL, Denat B, Thomas E, et al. Sacral insufficiency fractures presenting as acute low-back pain-biomechanical aspects. *Spine*, 1993; 18:2502-2506.
- [48] Feldenzer JA, McGauley JL, McGillicuddy JE: Sacral and presacral tumors: problems in diagnosis and management. *Neurosurgery* 25:884-891, 1989
- [49] Ozdemir MH, Gurkan I, Yildiz Y, Yilmaz C, Saglik Y: Surgical treatment of malignant tumours of the sacrum. *Eur J Surg Oncol* 25:44-49, 1999
- [50] Cheng EY, Ozerdemoglu RA, Transfeldt EE, Thompson RC Jr: Lumbosacral chordoma. Prognostic factors and treatment. *Spine* 24:1639-1645, 1999
- [51] Mirra JM, Picci P, Gold RH: *Bone Tumors: Clinical, Radiologic, and Pathologic Correlations*. Philadelphia: Lea and Febiger, 1989
- [52] Turcotte RE, Sim FH, Unni KK: Giant cell tumor of the sacrum. *Clin Orthop Relat Res* 291:215-221, 1993

- [53] Ng EW, Porcu P, Loehrer Sr PJ. Sacrococcygeal teratoma in adults: case reports and a review of the literature. *Cancer*. 1999;86(7):1198-202.
- [54] Lam CH, Nagib MG. Nonteratomatous tumors in the pediatric sacral region. *Spine*. 2002;27(11):E284-7.
- [55] Deutsch H, Mummaneni PV, Haid RW, Rodts GE, Ondra SL. Benign sacral tumors. *Neurosurg Focus*. 2003;15(2):E14.
- [56] O'Neill OR, Piatt Jr JH, Mitchell P, Roman-Goldstein S. Agenesis and dysgenesis of the sacrum: neurosurgical implications. *Pediatr Neurosurg*. 1995;22(1):20-8.
- [57] Wakhlu A, Misra S, Tandon RK, Wakhlu AK. Sacrococcygeal teratoma. *Pediatr Surg Int*. 2002;18(5-6):384-7.
- [58] Campanacci M, Baldini N, Boriani S, Sudanese A. Giant-cell tumor of bone. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(1):106-14.
- [59] Biagini R, Orsini U, Demitri S, et al. Osteoid osteoma and osteoblastoma of the sacrum. *Orthopedics*. 2001;24(11):1061-4.
- [60] Papagelopoulos PJ, Currier BL, Shaughnessy WJ, et al. Aneurysmal bone cyst of the spine. Management and outcome. *Spine*. 1998;23(5):621-8.
- [61]. Unni KK. Dahlin's bone tumors: general aspects and data on 11,087 cases. 5th ed. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997.
- [62]. Fourney DR, Gokaslan ZL. Current management of sacral chordoma. *Neurosurg Focus*. 2003;15(2):E9.
- [63] Epidemiological characteristics of 1385 primary sacral tumors in one institution in China Jun Wang , Dasen Li , Rongli Yang , Xiaodong Tang , Taiqiang Yan , Wei Guo. 2020 Nov 12;18(1):297.doi: 10.1186/s12957-020-02045-w.

- [64] Robot-assisted sacral tumor resection: a preliminary study Junqiang Yin , Hui Wu , Jian Tu , Changye Zou , Gang Huang , Xianbiao Xie , Yulong He , Jingnan Shen. 2018 Jun 6;19(1):186. doi: 10.1186/s12891-018-2084-9.
- [65] Picci P. (2017) Epidemiology of Bone Lesions of the Sacrum. In: Ruggieri P., Angelini A., Vanel D., Picci P. (eds) Tumors of the Sacrum. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51202-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51202-0_1)
- [66] Management and retrospective analysis of primary and metastatic sacral tumors and infections: evaluation with 73 cases Murat Arıkan , Güray Togral, Aşkın Esen Hastürk, Erdem Aktaş, Safak Güngör. Turkey. 2014;25(3):126-32. doi: 10.5606/ehc.2014.28.
- [67] Beckmann N, Cai C. CT characteristics of traumatic sacral fractures in association with pelvic ring injuries: correlation using the Young-Burgess classification system. *Emerg Radiol* 2017;24:255-62. <https://doi.org/10.1007/s10140-016-1476-0>.
- [68] Bakker G, Hattingen J, Stuetzer H, Isenberg J. Sacral insufficiency fractures: How to classify? *J Korean Neurosurg Soc* 2018;61:258-66. <https://doi.org/10.3340/jkns.2017.0188>.
- [69] Lehman RA, Kang DG, Bellabarba C. A new classification for complex lumbosacral injuries. *Spine J* 2012;12:612-28. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.01.009>.
- [70] Schroeder G, Kurd MF, Kepler CK, Chapman JR, Vaccaro AR, Sagi HC, et al. The Development of a Universally Accepted Sacral Fracture Classification: A Survey of AOSpine and AOTrauma Members. *Glob Spine J* 2016;6:s-0036-1582908-s-0036-1582908. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1582908>.
- [71] Beckmann NM, Chinapuvvula NR. Sacral fractures: classification and management. *Emerg Radiol* 2017;24:605-17. <https://doi.org/10.1007/s10140-017-1533-3>.

- [72] Lehmann W, Hoffmann M, Briem D, Grossterlinden L, Petersen JP, Priemel M, et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: Review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2012;38:517–24. <https://doi.org/10.1007/s00068-012-0225-7>.
- [73] Brazis PW, Masdeu JC. *Localization in clinical neurology*. Sixth. Philadelphia-PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
- [74] Ebraheim NA, Biyani A, Salpietro B. Zone III fractures of the sacrum. A case report. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996;21:2390–6.
- [75] Roy-Camille R, Saillant G, Gagna G, Mazel C. Transverse fracture of the upper sacrum. Suicidal jumper"s fracture. *Spine (Phila Pa 1976)* 1985;10:838–45.
- [76] Strange-Vognsen HH, Lebech A. An unusual type of fracture in the upper sacrum. *J Orthop Trauma* 1991;5:200–3.
- [77] Bishop JA, Dangelmajer S, Corcoran-Schwartz I, Gardner MJ, Routt MLC, Castillo TN. Bilateral Sacral Ala Fractures Are Strongly Associated With Lumbopelvic Instability. *J Orthop Trauma* 2017;31:636–9. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000972>.
- [78] Kleweno CP, Kepler CK, Schnake KJ, Kandziora F, Oner FC, Krieg JC, et al. The AOSpine Sacral Fracture Classification. *Glob Spine J* 2016;6:s-0036–1582696–s-0036–1582696. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1582696>.
- [79]. Totterman A, Glott T, Madsen JE, Roise O. Unstable sacral fractures: associated injuries and morbidity at 1 year. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E628–E635.
- [80]. Schicho A, Schmidt SA, Seeber K, Olivier A, Richter PH, Gebhard F (2016 Mar) Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly—importance of CT imaging in blunt pelvic trauma. *Injury* 47(3):707–710
- [81]. Routt ML, Simonian PT, Swionkowski MF (1997 Jul) Stabilization of pelvic ring disruptions. *Orthop Clin North Am* 28(3):369–388

- [82]. Nork SE, Jones CB, Harding SP, Mirza SK, Routt ML (2001) Percutaneous stabilization of U-shaped sacral fractures using iliosacral screws: technique and early results. *J Orthop Trauma* 15:238-246
- [83]. Mendel T, Noser H, Kuervers J, Goehre F, Hoffmann GO, Radetzki F (2013 Dec) The influence of sacral morphology on the existence of secure S1 and S2 transverse bone corridors for iliosacroiliac screw fixation. *Injury* 44(12):1773-1779
- [84]. Goetzen M, Ortner K, Lindtner RA, Schmid R, Blauth M, Krappinger D (2016 Sep) A simple approach for the preoperative assessment of sacral morphology for percutaneous SI screw fixation. *Arch Orthop Trauma Surg* 136(9):1251-1257
- [85]. Grangier C, Garcia J, Howarth R, May M, Rossier P (1997 Sept) Role of MRI in the diagnosis of insufficiency fractures of the sacrum and acetabular roof. *Skelet Radiol* 26(9):517-524
- [86]. Henes FO, Nuchtern JV, Groth M, Habermann CR, Regier M, Rueger JM, Adam G, Grobterlinden LG (2012 Sep) Comparison of diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging and multidetector computed tomography in the detection of pelvic fractures. *Eur J Radiol* 81(9):2337-2342
- [87] Manaster BJ, Graham T. Imaging of sacral tumors. *Neurosurg Focus*. 2003;15(2):E2.
- [88]. Nair S, Gobin YP, Leng LZ, Marcus JD, Blisky M, Laufer I, Patsalides A. Preoperative embolization of hypervascular thoracic, lumbar, and sacral spinal column tumors: technique and outcomes from a single center. *Interv Neuroradiol*. 2013;19(3):377-85.
- [89]. Lyders EM, Whitlow CT, Baker MD, et al. Imaging and treatment of sacral insufficiency fractures. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:201-10.

- [90]. Teebken OE, Lotz J, Gansslen A, Pichlmaier AM. Bilateral iliac artery dissection following severe complex unstable pelvic fracture. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2008;7:515–516.
- [91]. Suzuki T, Smith WR, Moore EE. Pelvic packing or angiography: competitive or complementary? *Injury.* 2009;40:343–353.
- [92]. Langford JR, Burgess AR, Liporace FA, Haidukewych GJ. Pelvic fractures: part 1. Evaluation, classification, and resuscitation. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21:448–457.
- [93]. Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58:453–458.
- [94]. Bjurlin MA, Fantus RJ, Mellett MM, Goble SM. Genitourinary injuries in pelvic fracture morbidity and mortality using the National Trauma Data Bank. *J Trauma.* 2009;67:1033–1039.
- [95]. Ferrera PC, Hill DA. Good outcomes of open pelvic fractures. *Injury.* 1999;30:187–190.
- [96]. Hak DJ, Olson SA, Matta JM. Diagnosis and management of closed internal degloving injuries associated with pelvic and acetabular fractures: the Morel-Lavallee lesion. *J Trauma.* 1997;42: 1046–1051.
- [97]. Vaccaro AR, Kim DH, Brodke DS, et al. Diagnosis and management of sacral spine fractures. *Instr Course Lect.* 2004;53: 375–385.
- [98]. Gribnau AJ, van Hensbroek PB, Haverlag R, Ponsen KJ, Been HD, Goslings JC. U-shaped sacral fractures: surgical treatment and quality of life. *Injury.* 2009;40:1040–1048.
- [99]. Bonnin JG. Sacral fractures and injuries to the cauda equina. *J Bone Joint Surg.* 1945;27:113–127.

- [100]. Gibbons KJ, Soloniuk DS, Razack N. Neurological injury and patterns of sacral fractures. *J Neurosurgery*. 1990;72:889–893.
- [101]. Letournel E. Surgical fixation of displaced pelvic fractures and dislocations of the symphysis pubis (excluding acetabular fractures) (author's translation) [in French]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Moteur*. 1981;67:771–782.
- [102]. Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br*. 1988;70:1–12.
- [103]. Burgess AR, Eastridge BJ, Young JW, et al. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *J Trauma*. 1990;30:848–856.
- [104]. Robles LA. Transverse sacral fractures. *Spine J*. 2009;9:60–69.
- [105]. Isler B. Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries. *J Orthop Trauma*. 1990;4(1):1–6.
- [106]. Vialle R, Wolff S, Pauthier F, et al. Traumatic lumbosacral dislocation: four cases and review of literature. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(419):91–97.
- [107]. Albert TJ, Levine MJ, An HS, Cotler JM, Balderston RA. Concomitant noncontiguous thoracolumbar and sacral fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993;18:1285–1291.
- [108]. Lykomitros VA, Papavasiliou KA, Alzeer ZM, Sayegh FE, Kirkos JM, Kapetanos GA. Management of traumatic sacral fractures: a retrospective case-series study and review of the literature. *Injury*. 2010;41:266–272.
- [109]. Aretxabala I, Fraiz E, Perez-Ruiz F, Rios G, Calabozo M, Alonso-Ruiz A. Sacral insufficiency fractures. High association with pubic rami fractures. *Clin Rheumatol*. 2000;19:399–401.
- [110]. Schindler OS, Watura R, Cobby M. Sacral insufficiency fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2007;15:339–346.

- [111]. Schildhauer TA, Bellabarba C, Nork SE, Barei DP, Routt ML Jr, Chapman JR. Decompression and lumbopelvic fixation for sacral fracture-dislocations with spino-pelvic dissociation. *J Orthop Trauma*. 2006;20:447-457.
- [112]. Porrino JA Jr, Kohl CA, Holden D, Taljanovic M, Rogers LF. The importance of sagittal 2D reconstruction in pelvic and sacral trauma: avoiding oversight of U-shaped fractures of the sacrum. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;194:1065-1071.
- [113]. DERUAZ A. Fracture du bassin et du cotyle : résultat à long terme. Thèse Méd, Genève, 2001, n° 10181.
- [114]. TILE M. Fractures of the Pelvis and Acetabulum. Seconde édition.1995. Baltimore: William ET Wikins.
- [115] Bellabarba C, Schildhauer TA, Vaccaro AR, Chapman JR. Complications associated with surgical stabilization of high-grade sacral fracture dislocations with spinopelvic instability. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:S80-8.  
<https://doi.org/10.1097/01.brs.0000217949.31762.be>.
- [116] Bederman SS, Hassan JM, Shah KN, Kiester PD, Bhatia NN, Zamorano DP. Fixation Techniques for Complex Traumatic Transverse Sacral Fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38:E1028-40.  
<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318297960a>.
117. Sagi H. Technical aspects and recommended treatment algorithms in triangular osteosynthesis and spinopelvic fixation for vertical shear transforaminal sacral fractures. *J Orthop Trauma*. 2009;23:354-60.
118. Matta J, Yerasimides J. Table-skeletal fixation as an adjunct to pelvic ring reduction. *J Orthop Trauma*. 2007;21:647-56. 10. Ruatti S, Kerschbaumer G, Gay E, Milaire M, Merloz P, Tonetti J. Technique for reduction and percutaneous fixation of U and H-shaped sacral fractures. *Orthop Traumatol Surg Res*.2013;99:625-9.

119. Ruatti S, Kerschbaumer G, Gay E, Milaire M, Merloz P, Tonetti J. Technique for reduction and percutaneous fixation of U and H-shaped sacral fractures. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99:625-9.
120. Piltz S, Rubenbauer B, Böcker W, Trentzsch H. Reduction and fixation of displaced U-shaped sacral fractures using lumbopelvic fixation: technical recommendations. *Eur Spine J*. 2018;27:3025-33.
121. Williams S, Quinnan S. Percutaneous lumbopelvic fixation for reduction and stabilization of sacral fractures with spinopelvic dissociation patterns. *J Orthop Trauma*. 2016;30:e318-24.
122. Starantzis K, Mirzashahi B, Behrbalk E, Sadat M, Shafafy M. Open reduction and posterior instrumentation of type 3 high transverse sacral fracture-dislocation: technical note. *J Neurosurg Spine*. 2014;21:286-91.
123. Lindahl J, Mäkinen T, Koskinen S, Söderlund T. Factors associated with outcome of spinopelvic dissociation treated with lumbopelvic fixation. *Injury*. 2014;45:1914-20.
124. Lindahl J. Operative treatment of severely comminuted sacral fractures. *Finn J Orthop Traumatol*. 2003;26:42-3.
125. Lindahl J, Hirvensalo E. Pedicle screw spinal fixation system in the treatment of comminuted sacral fractures (Transpedikulaarinen fiksaatiolaite pirstaleisten sakrummurtumien hoidossa). *Finn J Orthop Traumatol*. 1998;21:219-24.
126. Allen B, Ferguson R. The Galveston technique for L rod instrumentation of the scoliotic spine. *Spine*. 1982;7:276-84.
- [127] Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, W. Cadotte D, Harrop JS, et al. Early versus Delayed Decompression for Traumatic Cervical Spinal Cord Injury: Results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PLoS One* 2012;7:e32037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032037>.

128. Schroeder G, Savage J, Patel A, Stover M. Spinopelvic fixation in complex sacral fractures. *J Bone Jt Surg Rev.* 2015;3(3):e4. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.N.00007>.
129. Ayoub M. Displaced spinopelvic dissociation with sacral cauda equina syndrome: outcome of surgical decompression with a preiliminary management algorithm. *Eur Spine J.* 2012;21:1815–25
130. Yi C, Hak D. Traumatic spinopelvic dissociation or U-shaped sacral fracture: a review of the literature. *Injury.* 2012;43:402–8.
131. Tan G, He J, Fu B, Li L, Wang B, Zhou D. Lumbopelvic fixation for multiplanar sacral fractures with spinopelvic instability. *Injury.* 2012;43:1318–25.
132. Schmidek H, Schmith D, Kristiansen D. Sacral fractures. *Neurosurgery.* 1984;15:735–46.
133. Fountain S, Hamilton R, Jameson R. Transverse fractures of the sacrum. *J Bone Joint Surg.* 1977;59–A(4):486–9.
134. Sabiston C, Wing P. Sacral fractures: classification and neurologic implications. *J Trauma.* 1986;26(12):1113–5.
135. Dussa C, Soni B. Influence of type of management of transverse sacral fractures on neurological outcome. A case series and review of literature. *Spinal Cord.* 2008;46:590–4.
136. Hu X, Pei F, Wang B, He J, Kong Q, Tu C. Application triangular osteosynthesis for vertical unstable sacral fractures. *Eur Spine J.* 2013;22:503–9.
- [137] AsherMA, StrippgenWE. Anthropometric studies of the human sacrum relating to dorsal transsacral implant designs. *ClinOrthopRelat Res* 1986;203:58–62.
- [138] Mirkovic S, Abitbol JJ, Steinman J, et al. Anatomic consideration for sacral screw placement. *Spine* 1991;16:S289–94.

- [139] Lehman RA Jr, Kuklo TR, Belmont PJ Jr, et al. Advantage of pedicle screw fixation directed into the apex of the sacral promontory over bicortical fixation: a biomechanical analysis. *Spine* 2002;27:806-11.
- [140] Devlin VJ, Boachie-Adjei O, Bradford DS, et al. Treatment of adult spinal deformity with fusion to the sacrum using CD instrumentation. *J Spinal Disord* 1991;4:1-14.
- [141] Leong JC, Lu WW, Zheng Y, et al. Comparison of the strengths of lumbosacral fixation achieved with techniques using one and two triangulated sacral screws. *Spine* 1998;23:2289-94.
- [142] Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, et al. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986;99-112.
- [143] Stovall DO Jr, Goodrich JA, Lundy D, et al. Sacral fixation technique in lumbosacral fusion. *Spine* 1997;22:32-7.
- [144] Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, et al. Pelvic fixation in spine surgery. Historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques. *J Bone Joint Surg Am* 2005;2(87 Suppl): 89-106.
- [145] Emami A, Deviren V, Berven S, et al. Outcome and complications of long fusions to the sacrum in adult spine deformity: Luque-Galveston, combined iliac and sacral screws, and sacral fixation. *Spine* 2002; 27:776-86.
- [146] Ogilvie JW, Schendel M. Comparison of lumbosacral fixation devices. *Clin Orthop Relat Res* 1986;203:120-5.
- [147] Jackson RP, McManus AC. The iliac buttress. A computed tomographic study of sacral anatomy. *Spine* 1993;18:1318-28.
- [148] Glazer PA, Colliou O, Lotz JC, et al. Biomechanical analysis of lumbosacral fixation. *Spine* 1996;21: 1211-22.

- [149] Lebowhl NH, Cunningham BW, Dmitriev A, et al. Biomechanical comparison of lumbosacral fixation techniques in a calf spine model. *Spine* 2002;27: 2312–20.
- [150] McCord DH, Cunningham BW, Shono Y, et al. Biomechanical analysis of lumbosacral fixation. *Spine* 1992;17:S235–43.
- [151] Cunningham BW, Lewis SJ, Long J, et al. Biomechanical evaluation of lumbosacral reconstruction techniques for spondylolisthesis: an in vitro porcine model. *Spine* 2002;27:2321–7.
- [152] Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 1962;44:591–610.
- [153] Balderston RA, Winter RB, Moe JH, et al. Fusion to the sacrum for nonparalytic scoliosis in the adult. *Spine* 1986;11:824–9.
- [154] Kostuik JP. Treatment of scoliosis in the adult thoracolumbar spine with special reference to fusion to the sacrum. *Orthop Clin North Am* 1988;19:371–81.
- [155] Kostuik JP, Musha Y. Extension to the sacrum of previous adolescent scoliosis fusions in adult life. *Clin Orthop* 1999;364:53–60.
- [156] Allen BL Jr, Ferguson RL. The Galveston experience with L-rod instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res* 1988;229: 59–69.
- [157] Elder BD, Ishida W, Lo SFL, Holmes C, Goodwin CR, Kosztowski TA, et al. Use of S2-Alar-iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017;42:E142–9.  
<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001722>.
- [158] Yilmaz E, Abdul-Jabbar A, Tawfik T, Iwanaga J, Schmidt CK, Chapman J, et al. S2 Alar-Iliac Screw Insertion: Technical Note with Pictorial Guide. *World Neurosurg* 2018;113:e296–301. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.02.009>.

- [159] Burns CB, Dua K, Trasolini NA, Komatsu DE, Barsi JM. Biomechanical Comparison of Spinopelvic Fixation Constructs: Iliac Screw Versus S2-Alar-Iliac Screw. *Spine Deform* 2016;4:10-5.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspd.2015.07.008>.
- [160] Park Y-S, Hyun S-J, Kim H-J, Jahng T-A, Kim K-J, Park J-H. Radiographic and Clinical Results of Freehand S2 Alar-Iliac Screw Placement for Spinopelvic Fixation. *Clin Spine Surg* 2018;30:E877-82.  
<https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000520>.
- [161] Bederman SS, Hahn P, Colin V, Kiester PD, Bhatia NN. Robotic Guidance for S2-Alar-Iliac Screws in Spinal Deformity Correction. *Clin Spine Surg* 2017;30:E49-53.  
<https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3182a3572b>.
- [162] Schildhauer TA, Josten C, Muhr G. Triangular osteosynthesis of vertically unstable sacrum fractures : a new concept allowing early weight-bearing. *J Orthop Trauma* 2006 ; 20 : S44-51.
- [163] Tiemann AH, Schmidt C, Josten C. Triangular vertebropelvine stabilization of unstable posterior pelvic ring fractures. *Zentralblatt Für Chir* 2003 ; 128 : 202-8.
164. Three-dimensional printing simulated operation combined with robot-aided minimally invasive lumbopelvic fixation in treatment of unstable bilateral sacral fractures: technical notes and 8 case series. *Zhaojie liu DOI:10.21203/rs.3.rs-21251/v1*
165. Schildhauer T, Ledoux W, Chapman J, Henley M, Tencer A, Routt JM. Triangular osteosynthesis and iliosacral screw fixation for unstable sacral fractures: a cadaveric and biomechanical evaluation under cyclic loads. *J Orthop Trauma*. 2003;17:22-31.

166. Zheng Z, Yu B, Chen H, Aladin D, Zhang K, Zhang J, Liu H, Luk K, Lu W. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbo-iliac fixation constructs: an anatomical and biomechanical study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:565-72.
167. Min K, Zamorano D, Wahba G, Garcia I, Bhatia N, Lee T. Comparison of two-transsacral-screw fixation versus triangular osteosynthesis for transforaminal sacral fractures. *Orthopedics*. 2014;37:754-60.
168. Song W, Zhou D, He Y. The biomechanical advantages of bilateral lumbo-iliac fixation in unilateral comminuted sacral fractures without sacroiliac screw safe channel: a finite element analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(40):e5026.
169. Jazini E, Klocke N, Tannous O, Johal H, Hao J, Salloum K, Gelb D, Nascone J, Belin E, Hoshino C, Hussain M, O'Toole R, Bucklen B, Ludwig S. Does lumbopelvic fixation add stability? A cadaveric biomechanical analysis of an unstable pelvic fracture model. *J Orthop Trauma*. 2017;31:37-46.
- [170] Wang MY, Ludwig SC, Anderson DG, Mummaneni P V. Percutaneous iliac screw placement: description of a new minimally invasive technique. *Neurosurg Focus* 2008;25:E17. <https://doi.org/10.3171/FOC/2008/25/8/E17>.
- [171] Salmon J, Davey S, Kanlic E, Abdelgawad AA, Gurusamy P. Ilio-Sacral (IS) Screw Fixation for Sacral and Sacroiliac Joint (SIJ) Injuries in Children. *J Pediatr Orthop* 2015;36:117-21. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000000416>.
- [172]. Masala S, Konda D, Massari F, Simonetti G. Sacroplasty and iliac osteoplasty under combined CT and fluoroscopic guidance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(18):E667-9. doi:10.1097/01.brs.0000231962.04739.ac.
- [173]. Bayley E, Srinivas S, Boszczyk BM. Clinical outcomes of sacroplasty in sacral insufficiency fractures: a review of the literature. *Eur Spine J*. 2009;18(9):1266-71. doi:10.1007/s00586-009-1048-z.

- [174]. Whitlow CT, Mussat-Whitlow BJ, Mattern CW, Baker MD, Morris PP. Sacroplasty versus vertebroplasty: comparable clinical outcomes for the treatment of fracture-related pain. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28(7):1266-70. doi:10.3174/ajnr.A0561.
- [175]. Pommersheim W, Huang-Hellinger F, Baker M, Morris P. Sacroplasty: a treatment for sacral insufficiency fractures. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2003;24(5):1003-7.
- [176]. Moussazadeh N, Laufer I, Werner T, Krol G, Boland P, Bilsky MH, Lis E. Sacroplasty for cancer-associated insufficiency fractures. *Neurosurgery.* 2015;76(4):446-50; discussion 450. doi:10.1227/NEU.0000000000000658
- [177] Hoffmann E, Breitel D, Dauzac C, et al. Techniques de synthèse lombopelvienne et sacropelvienne. *EMC – Techniques chirurgicales – Orthopédie-traumatologie.* 2007 ; 1-9 : 44-512.
- [178] Sar C, Kilicoglu O. S1 pediculoiliac screw fixation in Ninstabilities of the sacroiliac complex : biomechanical study and report of two cases. *J Orthop Trauma* 2003 ; 17 : 262-70.
- [179] Sofia T, Lazennec JY. Les fractures transversales du sacrum supérieur : une série de 50 cas, proposition d'une nouvelle technique d'ostéosynthèse. Thèse d'exercice. Université Pierre et Marie Curie Paris ; 2002.
- [180] Routt ML, Kregor PJ, Simonian PT, Mayo KA. Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position. *J Orthop Trauma* 1995 ; 9 : 207-14.
- [181] Reuther G, Röhner U, Will T, et al. CT-guided screw fixation of vertical sacral fractures in local anaesthesia using a standard CT. *Rofo* 2014 ; 186 : 1134-9.
- [182] Iguchi T, Ogawa KI, Doi T, et al. Computed tomography fluoroscopy-guided placement of iliosacral screws in patients with unstable posterior pelvic fractures. *Skeletal Radiol* 2010 ; 39 : 701-5.

- [183] Coste C, Asloum Y, Marcheix PS, et al. Percutaneous iliosacral screw fixation in unstable pelvic ring lesions : the interest of O-ARM CT-guided navigation. *Orthop Traumatol Surg Res* 2013 ; 99 : S273-8.
- [184] Zwingmann J, Hauschild O, Bode G, et al. Malposition and revision rates of different imaging modalities for percutaneous iliosacral screw fixation following pelvic fractures : a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013 ; 133 : 1257-65.
- [185] Miller AN, Routt MLC. Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation. *J Am Acad Orthop Surg* 2012 ; 20 : 8-16.
- [186] Tonetti J. Management of recent unstable fractures of the pelvic ring. An update Conference supported by the Club Bassin Cotyle (Pelvis-Acetabulum Club). *Orthop Traumatol Surg Res* 2013 ; 99 : S77-86
- [187] Tonetti J, Cazal C, Eid A, et al. Neurological damage in pelvic injuries : a continuous prospective series of 50 pelvic injuries treated with an iliosacral lag screw. *Rev Chir Orthop Repar Appar Mot* 2004 ; 90 : 122-31.
- [188] Salášek M, Pavelka T, Křen J, et al. Minimally invasive stabilization of posterior pelvic ring injuries with a transiliac internal fixator and two iliosacral screws : comparison of outcome. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 2015 ; 82 : 41-7.
- [189] SACRAL FRACTURE TREATMENT WITH A VARIATION OF THE LUMBOPELVIC FIXATION TECHNIQUE. VINÍCIUS MAGNO DA ROCHA , JOÃO ANTONIO MATHEUS GUIMARÃES, ANTÔNIO PAULO DE OLIVARES FILHO, FELIPE MOURA CARRASCO, ANTÔNIO EULALIO PEDROSA ARAUJO JUNIOR, DIEGO PINHEIRO AGUIAR, ANDRÉ LUIZ LOYELO BARCELLOS. Brazil 2018  
<http://dx.doi.org/10.1590/s1808-185120181701174141> .

- [190] Outcomes of lumbopelvic fixation in the treatment of complex sacral fractures using minimally invasive surgical techniques Ehsan Jazini , Tristan Weir, Emeka Nwodim , Oliver Tannous, Comron Saifi, Nicholas Caffes, Timothy Costales , Eugene Koh , Kelley Banagan , Daniel Gelb, Steven C Ludwig. 2017 Sep;17(9):1238–1246. doi: 10.1016/j.spinee.2017.04.032.
- [191] Posterior approach in treating sacral fracture combined with lumbopelvic dissociation Simin He, Haiping Zhang, Qinpeng Zhao, Baorong He, Hua Guo, Dingjun Hao. China, 014 Nov;37(11):e1027–32. doi: 10.3928/01477447-20141023-61.
- [192] Lumbopelvic fixation and sacral decompression for a U-shaped sacral fracture:case report Marcelo D Vilela 1, Charles Jermani, Bruno P Braga.USA 2007 Sep;65(3B):865–8. doi: 10.1590/s0004-282x2007000500028
- [193] Santiago Gutierrez-Gomez , Lauren Wahl , Ronen Blecher , Lukasz Olewnik , Joe Iwanaga , Christopher M. Maulucci , Aaron S. Dumont , R. Shane Tubbs , Sacral fractures: an updated and comprehensive review, *Injury* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.11.015>
- [194] Sacral Fractures and Associated InjuriesRicardo Rodrigues-Pinto, Department of Orthopaedics, Centro Hospitalar do Porto, Hospital de Santo Antó´nio, Largo Prof. Abel Salazar, Porto 4099-001, Portugal.
- [195] © Springer Nature Switzerland AG 2021 473  
A. Gänsslen et al. (eds.), Pelvic Ring Fractures, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54730-1\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54730-1_35)
- [196]Lumbosacral and Pelvic Fixation Techniques Osama N. Kashlan, Kevin S. Chen, and Frank La Marca USA 2017.

- [197] Shortening Osteotomy and Sacro-sacral Fixation For U-shaped Sacral Fractures  
Marc Sabourin, MD, Jean-Yves Lazennec, MD, PhD, Yves Catonne, MD, Hugues  
Pascal-Moussellard, MD, PhD, and Marc-Antoine Rousseau, MD, PhD . France  
2010
- [198] Osteosynthesis in sacral fracture and lumbosacral dislocation H. Pascal-  
Moussellard\*, C. Hirsch , R. Bonaccorsi. Paris, France
- [199] Advantage of Pedicle Screw Placement Into the Sacral Promontory (Tricortical  
Purchase) on Lumbosacral Fixation Kato, Minori ; Taneichi,  
Hiroshi ; Suda, Kota DOI: <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e31828ffc70>
- [200] Mise en place des implants pour une fixation lombo-sacrée: technique de  
Jackson B. Ilharreborde Chapitre 10 extrait de l'ouvrage *Orthopédie pédiatrique.*  
*Rachis et thorax*

