

**UNIVERSITE DE NANTES**

**FACULTE DE MEDECINE**

**MASTER I SCIENCES BIOLOGIQUES ET MEDICALES  
UNITE D'ENSEIGNEMENT OPTIONNEL**

**MEMOIRE REALISE dans le cadre du CERTIFICAT d'ANATOMIE,  
d'IMAGERIE et de MORPHOGENESE**

**2004-2005**

UNIVERSITE DE NANTES

**ROLE BIOMECHANIQUE DES LIGAMENTS SACRO-EPINEUX  
ET SACRO-TUBERAL SUR LA STABILITE DE  
L'ARTICULATION SACRO-ILIAQUE**

**Par**

**Jean-Marie PHILIPPEAU**

LABORATOIRE D'ANATOMIE DE LA FACULTE DE MEDECINE DE NANTES

Président du jury : Pr. J. LE BORGNE

Vice-Président : Pr. J.M. ROGEZ

Enseignants :

- Pr. O. ARMSTRONG
- Dr. O. BARON
- Pr. C. BEAUVILLAIN
- Dr F. CAILLON
- Pr. P. COSTIOU
- Pr. D. CROCHET
- Dr J. DELECRIN
- Dr. H. DESAL
- Pr. B. DUPAS
- Dr E. FRAMPAS
- Dr A. HAMEL
- Pr. Y. HELOURY
- Dr M.D. LECLAIR
- Pr. P.A. LEHUR
- Pr. N. PASSUTI
- Pr. R. ROBERT
- Pr. O. RODAT
- Dr VALETTE

Laboratoire : S. LAGIER et Y. BLIN - Collaboration Technique

## **REMERCIEMENTS**

A nos Maîtres d'Anatomie,

Messieurs les Professeurs J. LEBORGNE, J-M. ROGEZ, R. ROBERT, O. ARMSTRONG, et P. PATRA,

A Monsieur le Professeur R. ROBERT qui m'a donné la chance et l'honneur de conduire ce travail,

Au personnel du Laboratoire d'Anatomie de la faculté de Médecine de Nantes,

- Monsieur S. LAGIER
- Monsieur Y. BLIN

pour leurs remarquables compétences notamment informatiques, leur gentillesse et leur patience.

## SOMMAIRE

I – INTRODUCTION .....	4
II – ANATOMIE DES ARTICULATIONS SACRO-ILIAQUES .....	5
II .1 – Les articulations sacro-iliaques.....	5
II .2 – Le développement des articulations sacro-iliaques .....	5
II .3 – Les surfaces articulaires.....	5
II .3.1 - La surface auriculaire du sacrum.....	5
II .3.2 – La surface auriculaire de l’os iliaque.....	6
II .4 – Les moyens d’union de l’articulation sacro-iliaque.....	8
II .4.1 – La capsule articulaire.....	8
II .4.2 – Le ligament sacro-iliaque antérieur .....	8
II .4.3 – Le ligament sacro-iliaque postérieur .....	9
II .4.3.1 – Le plan superficiel .....	10
II .4.3.2 – Le plan profond .....	10
II .4.4 – Le ligament ilio-lombaire .....	11
II .4.5 – Ligaments à distance .....	12
II .4.5.1 – Le ligament sacro-tubéral .....	12
II .4.5.2 – Le ligament sacro-épineux.....	13
II .5 – Rapports de l’articulation sacro-iliaque.....	15
III – BIOMECHANIQUE DE L’ARTICULATION SACRO-ILIAQUE .....	16
III .1 - Rôle statique.....	16
III .2 – Rôle dynamique. Les mouvements de nutation et de contre-nutation. ....	20
III .2.1 – Le mouvement de nutation.....	20
III .2.2 – Le mouvement de contre nutation .....	20
III .2.3 – Travaux de F. Bonnel [1 ;8] .....	22
IV – MATERIEL - METHODES .....	23
IV .1 - Objectifs.....	23
IV .2 - Matériel.....	23
IV .3 - Méthodes.....	25
V - RESULTATS .....	29
V .1 - Difficultés techniques .....	29
V .2 – Résultats définitifs.....	29
VI – CONCLUSION .....	31
VII – DISCUSSION.....	32
VII .1 – De la méthodologie.....	32
VII .2 – Des résultats.....	32
ANNEXES .....	33
BIBLIOGRAPHIE .....	35

## I – INTRODUCTION

La chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne, indiquée chez les patients présentant des algies pudendales résistant au traitement médical, telle qu'elle est réalisée par le Pr. ROBERT, consiste, par une voie transglutéale, à libérer le nerf pudendal interne au sein de la pince ligamentaire que constituent les ligaments sacro-épineux et sacro-tubéral.

Ce nerf peut en effet être le siège d'une compression chronique au sein de cette pince ligamentaire, qui réalise ainsi un réel syndrome canalaire tout comme le syndrome du canal carpien au poignet.

Cette chirurgie va donc consister à sectionner les ligaments sacro-iliaque et sacro-tubéral afin de libérer le nerf pudendal interne.

Le suivi des observations cliniques réalisées auprès du millier de patients ayant bénéficié d'une telle chirurgie n'a révélé l'apparition, à distance du geste, d'aucune douleur mécanique à la marche et à la station debout prolongée pouvant être imputée à l'articulation sacro-iliaque.

Cependant le rôle biomécanique des ligaments sacrifiés à l'occasion de cette chirurgie n'a jamais été clairement établi dans la littérature.

En effet les ligaments sacro-iliaque et sacro-tubéral possèdent-ils un rôle biomécanique tel que leur section ait un effet déstabilisateur sur l'articulation sacro-iliaque ?

Il devenait ainsi judicieux d'étudier l'effet de ces ligaments sur la stabilité de l'articulation sacro-iliaque afin de pouvoir justifier de l'innocuité de leur sacrifice lors de la chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne.

## **II – ANATOMIE DES ARTICULATIONS SACRO-ILIAQUES**

### **II .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) [17]. 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 diarthro-amphiarthrose, en accord avec Paturet et Testut [14].

### **II .2 – Le développement des articulations sacro-iliaques**

Il a été particulièrement étudié par Costes et Valée [2]. 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 et 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.

### **II .3 – Les surfaces articulaires**

Les surfaces articulaires sont les surfaces auriculaires ou auricules du sacrum et de l'os iliaque car leur forme est comparée à un pavillon d'oreille.

#### II .3.1 - La surface auriculaire du sacrum

Elle est située sur la partie supérieure du bord latéral du sacrum. Elle correspond aux deux premières pièces sacrées et à la partie la plus supérieure de la troisième dont elle représente la portion transversaire. Elle regarde en dehors, et un peu en bas et en arrière. Elle présente soit la forme d'un croissant, soit celle d'une équerre. Cette surface est excavée sur toute sa longueur, plus spécialement au niveau des deux branches de l'équerre. Faraboeuf l'avait comparée à un « rail creux ». A la périphérie de l'auricule sacré on retrouve un bord saillant disposé en forme de crête rugueuse en bas et en arrière. En avant le sillon pré-auriculaire constitue le lieu d'insertion de la capsule.

L'analyse de cette surface articulaire permet de décrire un angle antérieur avec une portion crâniale ou corne supérieure oblique en haut et en arrière terminée par le sommet, une portion caudale ou corne inférieure se terminant par le pied. La zone d'insertion des ligaments interosseux et sacro-iliaques postérieur est située entre les cornes.

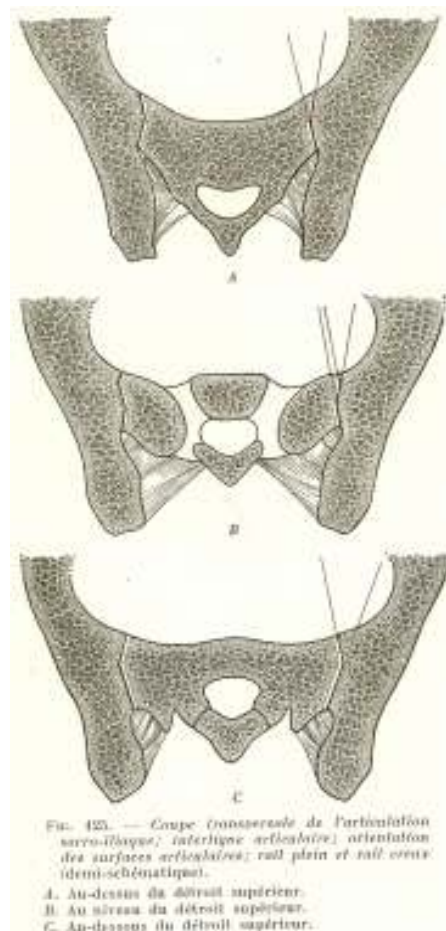
### II.3.2 – La surface auriculaire de l'os iliaque

Elle est située sur la face interne de l'aile iliaque en arrière de la fosse iliaque interne, au-dessous de la grande échancrure sciatique. Sa configuration en « rail plein » lui permet de s'adapter à l'auricule sacré. Elle présente un tubercule arrondi appelé tubercule de Bonnaire situé à l'union des deux portions de l'équerre.

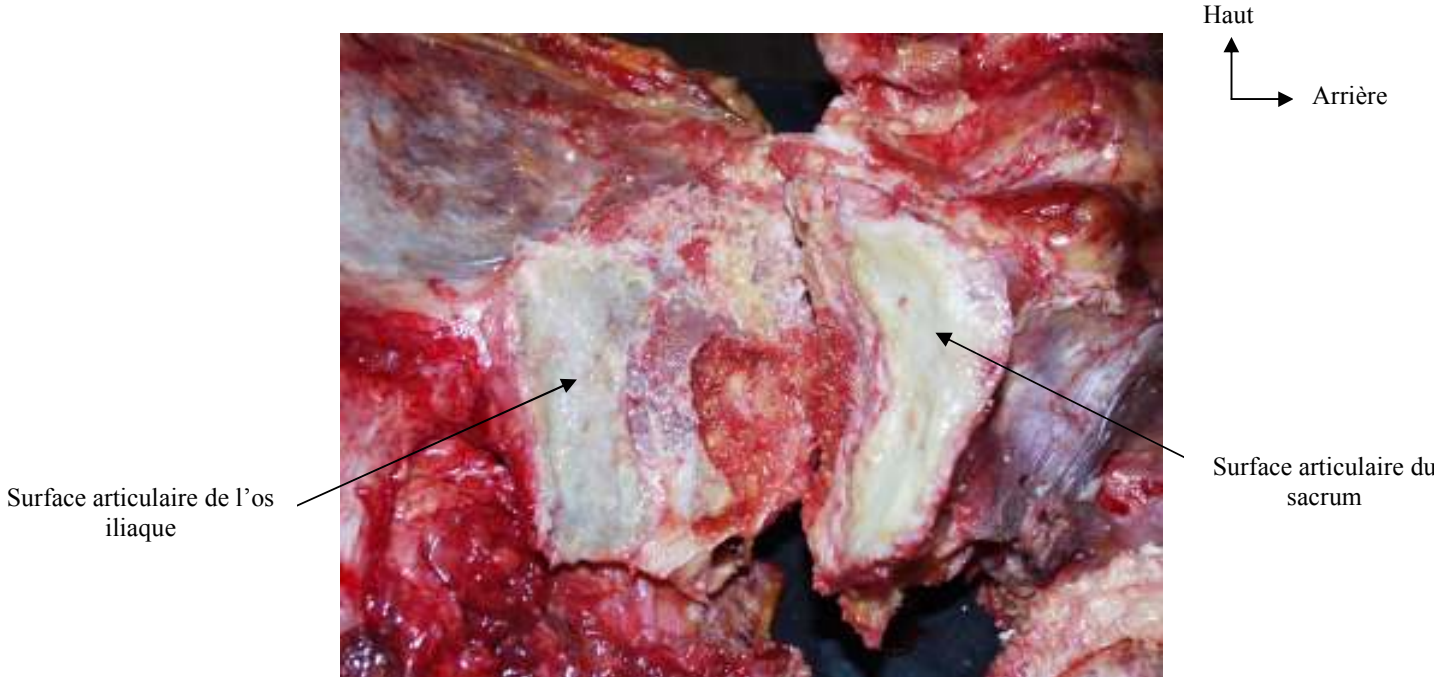
Delmas [3] retient pour sa part deux variétés d'auricules sacrés. Tout d'abord un type excavé en gouttière qui correspond à la description classique et d'autre part un type plat qui se rencontre au cours des sacrum peu inclinés.

Au total les deux surfaces auriculaires s'adaptent l'une à l'autre par emboîtement réciproque. Le plan de l'interligne articulaire est différent suivant qu'on envisage au-dessus, au niveau ou au-dessous du détroit supérieur (Paturet [14]) :

- au-dessus du détroit supérieur, l'interligne est oblique en arrière et en dedans dans sa portion antérieure et oblique en arrière, et en dehors dans sa portion postérieure ;
- au niveau du détroit supérieur, l'interligne a la forme d'une ligne brisée d'abord oblique en arrière et en dehors, puis en dedans et enfin en dehors et en arrière ;
- au-dessous du détroit supérieur, l'interligne est d'abord oblique en arrière et en dehors puis en dedans.



Les surfaces articulaires sont recouvertes en profondeur d'une couche de cartilage hyalin et en superficie de fibrocartilage. Ce revêtement est plus épais sur le sacrum (3mm) que sur l'os iliaque (1/2 mm).



## II .4 – Les moyens d’union de l’articulation sacro-iliaque

### II .4.1 – La capsule articulaire

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

### II .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.

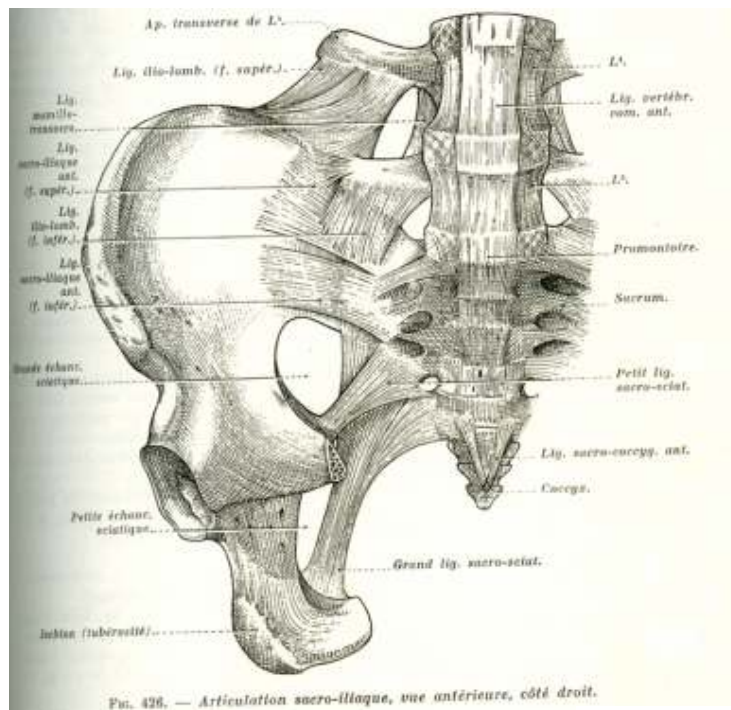


FIG. 426. — Articulation sacro-iliaque, vue antérieure, côté droit.

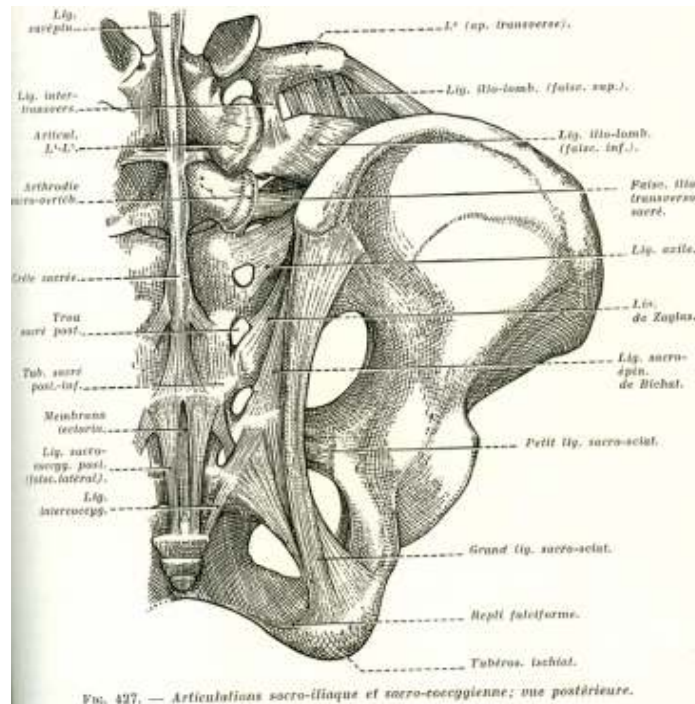
Paturet [14]



## II .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.

On distingue un plan superficiel et un plan profond.

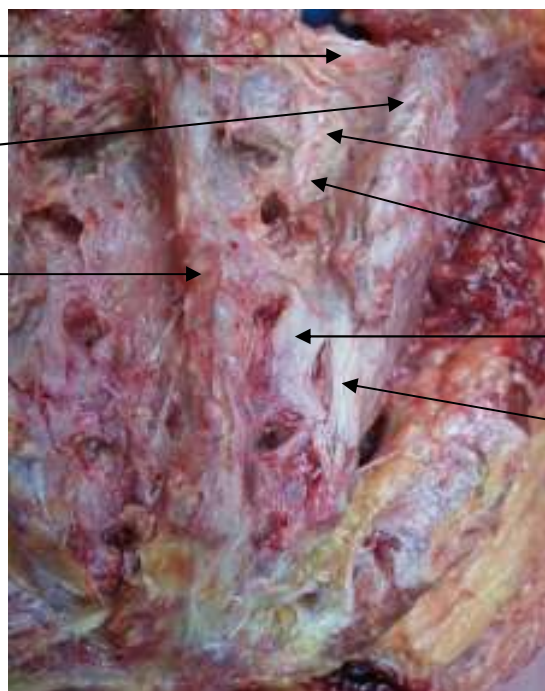


Paturet [14]

Lig. ilio-lombaire (fx inf.)

Crête iliaque postérieure

Crête sacrée



Haut



Dehors



Fx ilio-transverso-sacré

Lig. axile

Lig. de Zaaglas

Lig. sacro-épin. de Bichat

#### II .4.3.1 – Le plan superficiel

Il s'étend des deux épines iliaques postérieures et de l'échancrure inter épineuse jusqu'à la face postérieure du sacrum.

Il est composé de quatre faisceaux étagés de haut en bas qui sont appelés par Faraboeuf faisceaux ilio-transverso-conjugués [8].

- Le premier faisceau ou ligament ilio-transverso-sacré unit l'extrémité postérieure de la crête iliaque à la branche de division supérieure de la première apophyse transverse sacrée.

- Le deuxième faisceau ou ligament axile s'étend de la pyramide de la tubérosité iliaque au premier tubercule conjugué. C'est le plus puissant des quatre faisceaux du ligament sacro-iliaque postérieur superficiel. Son insertion correspond à l'axe de nutation, d'où son nom de ligament axile.

- Le troisième faisceau ou ligament de Zaaglas s'étend de la tubérosité iliaque au deuxième tubercule conjugué.

- Le quatrième faisceau ou ligament sacro-épineux de Bichat est presque vertical et s'étend depuis les troisième et quatrième tubercules conjugués jusqu'aux deux épines iliaques postérieures.

#### II .4.3.2 – Le plan profond

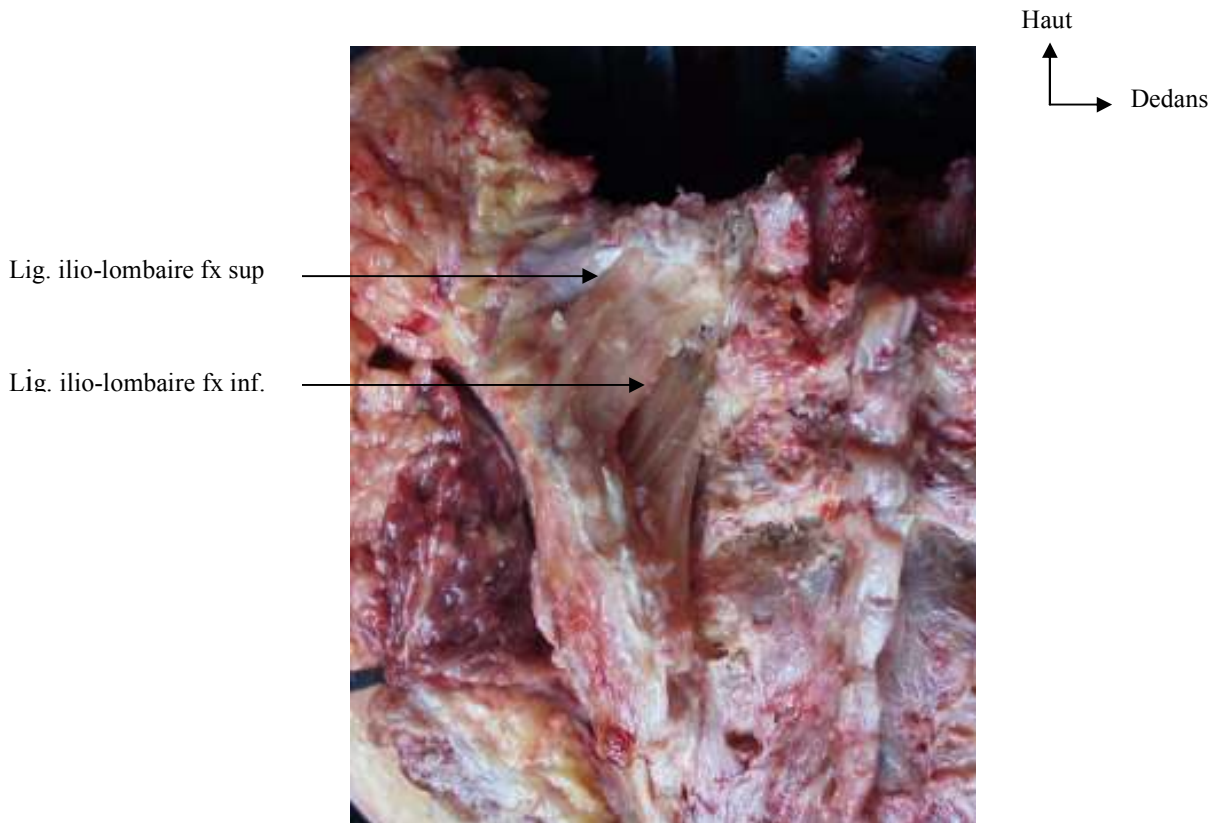
Il est représenté par le ligament interosseux qui est le plus puissant moyen d'union des deux os du bassin. Il occupe l'interstice qui sépare le sacrum de l'aile iliaque. Il est très épais, difficile à voir et son étude n'est possible que sur des coupes transversales de l'articulation.

## II .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 verrouiller 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.

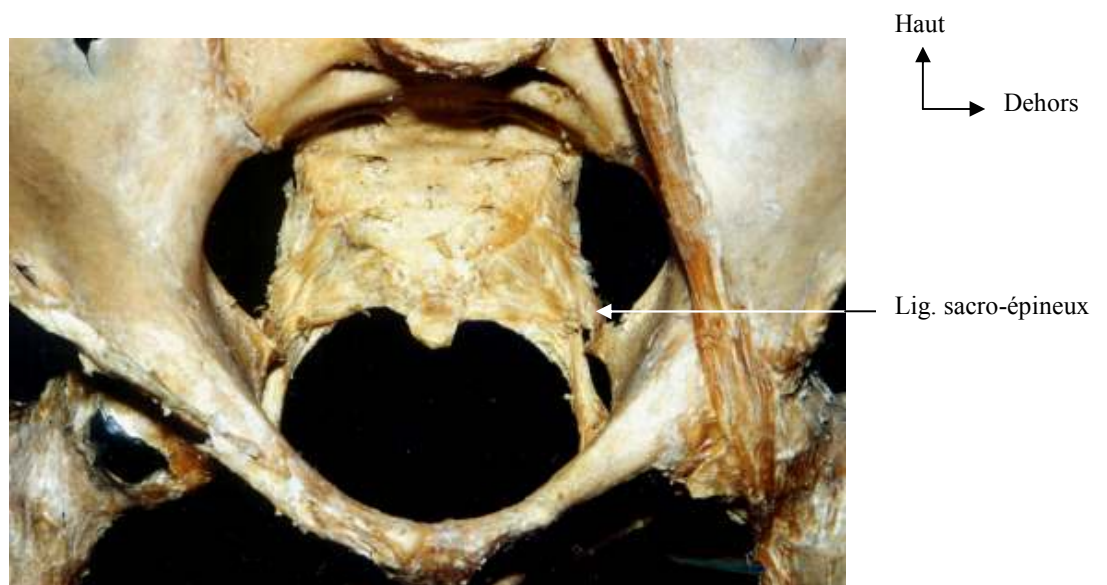




#### II .4.5.2 – Le ligament sacro-épineux

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.



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 ovale. 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.



Vue postéro-latérale du bassin

## **II .5 – Rapports de l'articulation sacro-iliaque**

L'articulation sacro-iliaque est profondément située et ceci explique en partie les difficultés de son exploration [12].

En avant, au dessus du détroit supérieur, l'articulation entre en rapport avec le muscle psoas-iliaque, les nerfs crural et fémoro-cutané, uretère, vaisseaux spermatiques ou utéro-ovariens. Au-dessous du détroit supérieur, l'articulation est proche du muscle pyramidal, des branches du plexus sacré et plus spécialement les branches antérieures des premier et deuxième nerfs sacrés. Ceci explique la difficulté de l'abord antérieur de l'articulation (12).

En arrière l'articulation est située sous la masse sacro-lombaire.

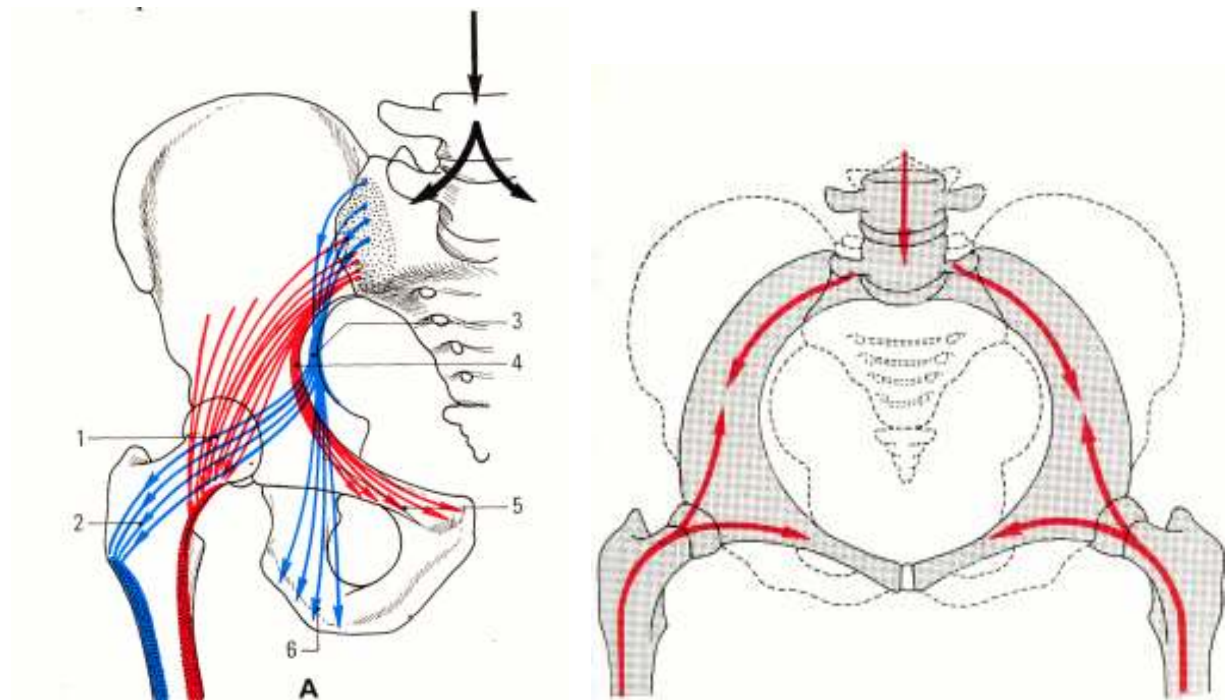
### III – BIOMECANIQUE DE L'ARTICULATION SACRO-ILIAQUE

Il est unanimement reconnu que les articulations sacro-iliaques ne sont, sauf lors de l'accouchement, douées que d'une faible mobilité [1 ;3 ;4 ;5 ;8 ;9 ;10].

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

#### III .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 sautillerment 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 [9].



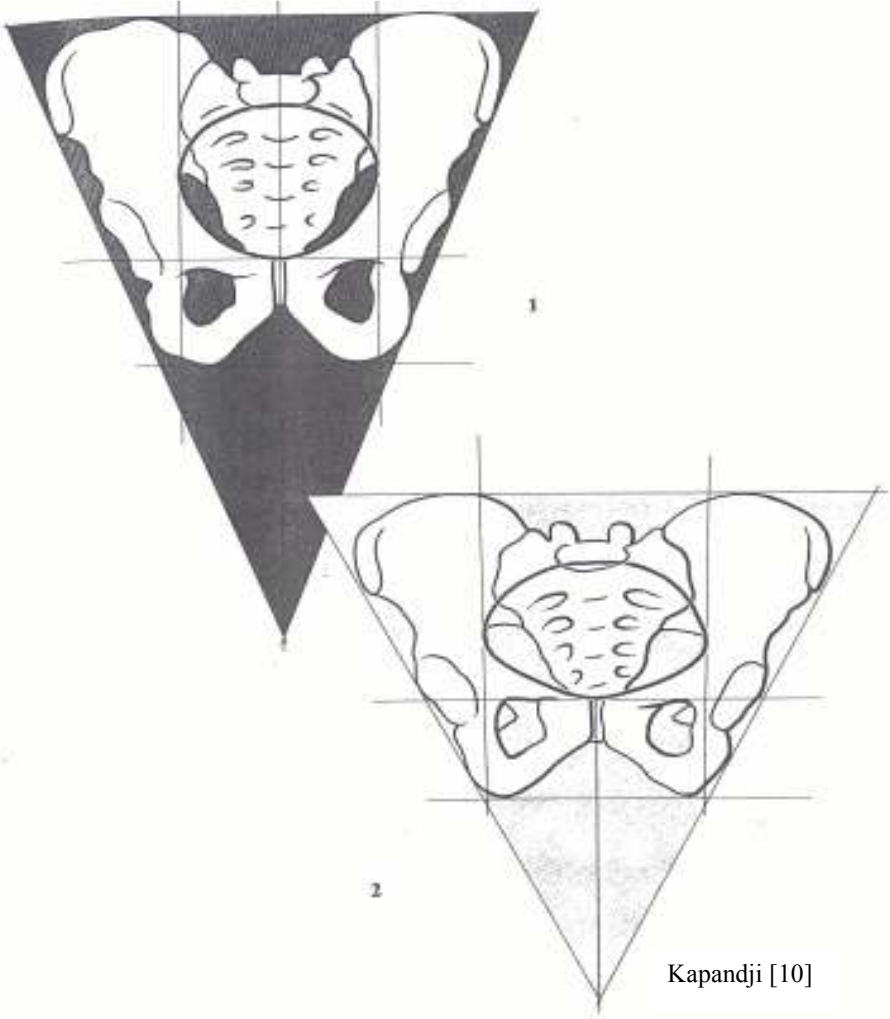
Kamina [9]

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 [10].

La clé de voûte est formée par le sacrum, véritable coin encastré entre les deux os coxaux.



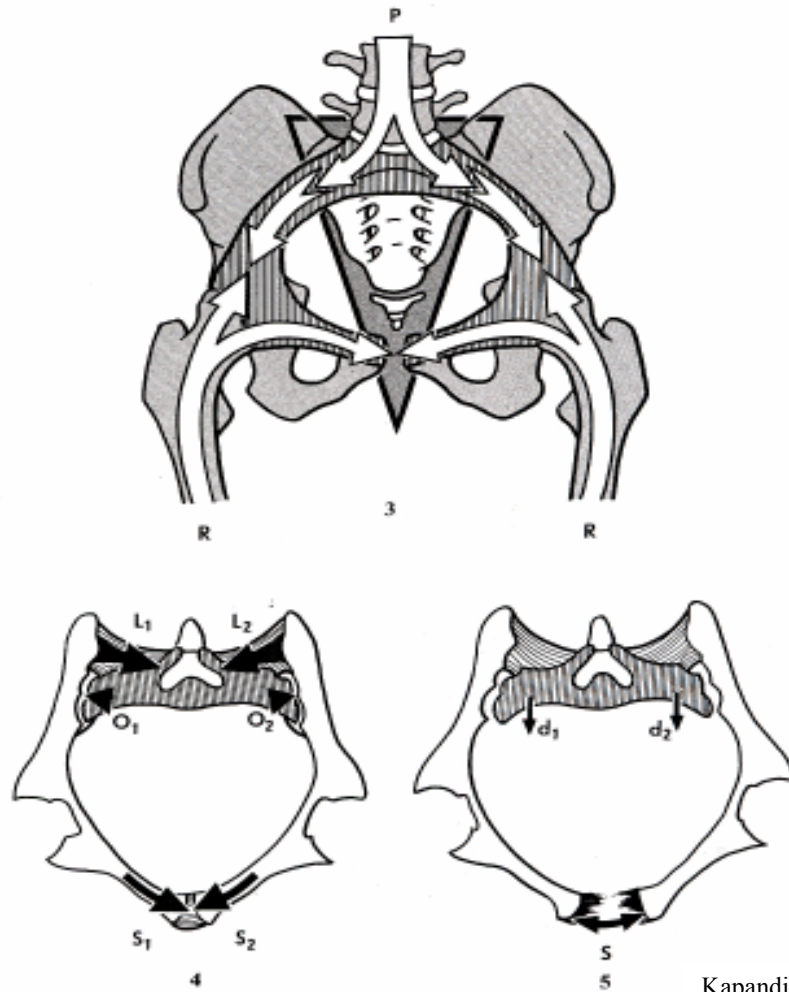
Dans le plan frontal, les facettes articulaires sont obliques en bas et en dedans, et l'os s'enfonce d'autant plus entre les os iliaques que le poids qui s'applique sur lui est important.



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 [10]. 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.



Kapandji [10]

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 [13].

Ce rôle statique découle donc de conditions favorables :

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

### **III .2 – Rôle dynamique. Les mouvements de nutation et de contre-nutation.**

L'articulation sacro-iliaque est réputée peu dynamique par l'ensemble des auteurs [1 ;3 ;4 ;5 ;8 ;9 ;10 ;16].

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.

#### III .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-tubérositaire et sacro-sciatique 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 [9 ;10].

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 [8].

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

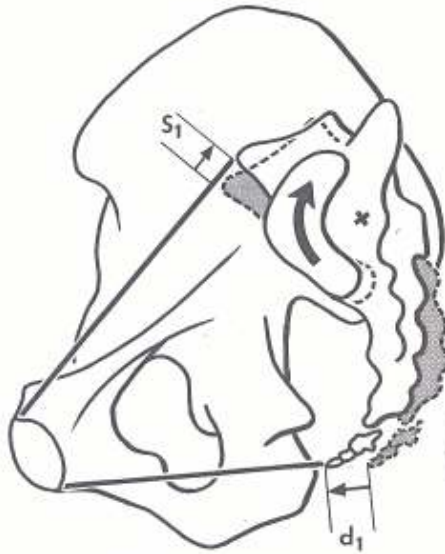
#### III .2.2 – Le mouvement de contre nutation

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.

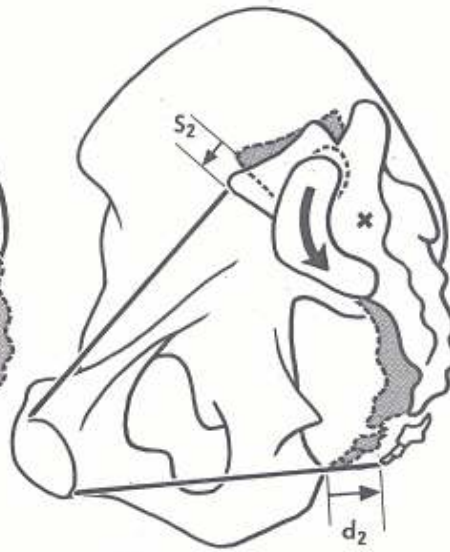
Ce mouvement favorise l'engagement [9 ;10].

Contre nutation

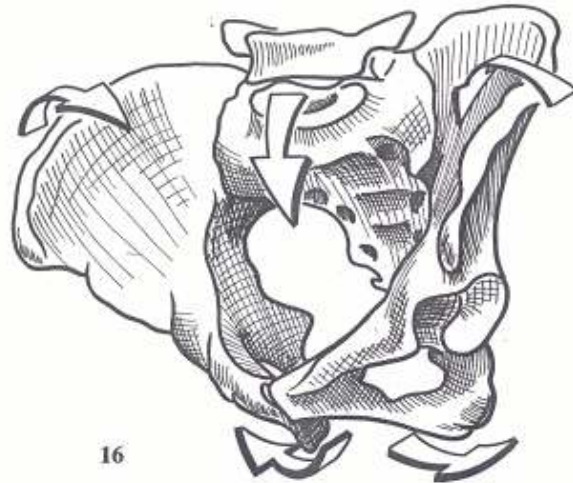


14

Nutation



15



16

Kapandji [10]

### III .2.3 – Travaux de F. Bonnel [1 ;8]

Pour ce dernier l'articulation sacro-iliaque s'intègre mécaniquement dans l'anneau pelvien. Si la transmission entre rachis et fémur avait lieu par l'intermédiaire d'un anneau fermé continu, le risque de rupture serait important.

Lors de la marche ou du saut, la tête du fémur s'impacte en force dans le cotyle qui se déforme par élargissement de son pourtour osseux qui n'est pas totalement fermé. La face endo-pelvienne du cotyle travaille en élongation. Ces forces de distraction se propagent au niveau des branches ilio et ischio-pubiennes ainsi qu'à l'échancrure sacro-sciatique. Les articulations du pubis et sacro-iliaques subissent des contraintes de cisaillement considérables et seraient rapidement en rupture de continuité si des structures fibreuses solides et musculaires ne rétablissaient pas l'équilibre.

Pour Bonnel l'équilibre statique est ligamentaire et les ligaments sacro-tubérositaire et sacro-sciatique empêchent la grande échancrure et l'ischion de s'éloigner du sacrum et par conséquent maintiennent en coaptation l'articulation sacro-iliaque.

Il a expérimentalement mis en compression statique jusqu'à une charge de 60 kg ce qui lui a permis de déterminer sur la face endo-pelvienne le sens de la déformation osseuse ainsi que son intensité. Le maximum de déformation enregistré était situé au niveau de l'articulation sacro-iliaque et de l'interligne pubien.

Ces deux interlignes articulaires épongeaient donc le maximum de contraintes et justifiaient ainsi leur existence propre.

Enfin pour Tile [13], dans les fractures de l'anneau pelvien, en ce qui concerne la stabilité, « le rôle fondamental est dévolu au complexe ligamentaire sacro-iliaque postérieur par le ligament interosseux, les ligaments intertuberculaires et sacro-sciatiques ». Ces derniers ligaments s'opposeraient au mouvement de rotation externe de l'hémibassin, les forces rotatoires et de cisaillement vertical étant du aux ligaments intertuberculaires.

## **IV – MATERIEL - METHODES**

L'articulation sacro-iliaque est donc unanimement reconnue comme étant une articulation peu mobile [1 ;3 ;4 ;5 ;8 ;9 ;10 ;16].

### **IV .1 - Objectifs**

Ce travail biomécanique a été motivé par une interrogation quant à l'innocuité de la section des ligaments à distance de l'articulation sacro-iliaque que sont les ligaments sacro-épineux et sacro-tubéral. Il faut en effet pouvoir en justifier auprès de patients.

Le but de ce travail a été de déterminer si les ligaments sacro-tubérositaire et sacro-épineux, sacrifiés à l'occasion de la chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne, avaient un rôle stabilisateur sur l'articulation sacro-iliaque et surtout si leur section occasionnait une mobilité plus importante de cette articulation.

Les douleurs relatives à l'articulation sacro-iliaque sont occasionnées lors de la marche ou d'une station debout prolongée [8], les articulations sacro-iliaques ont donc été testées par compression axiale du fémur en position neutre, avec puis sans ligaments.

### **IV .2 - Matériel**

Il s'agit d'une étude biomécanique cadavérique menée sur cadavres frais non formolés.

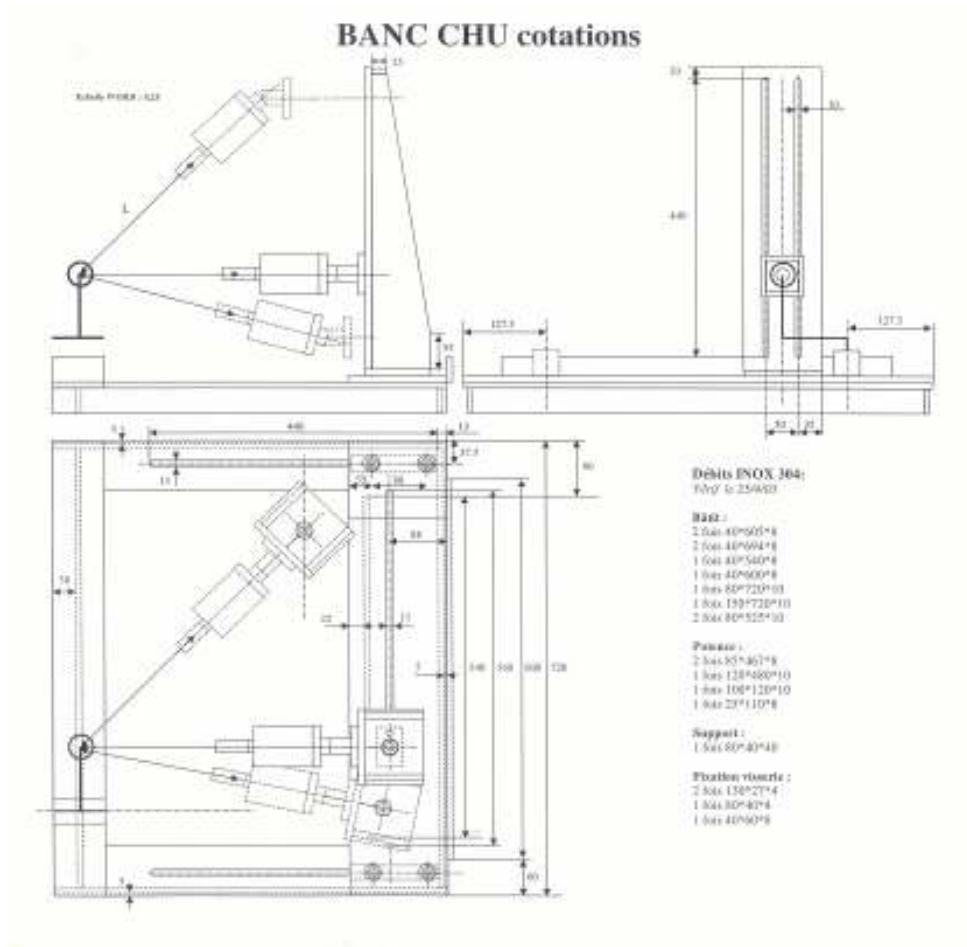
Elle a concerné 8 articulations sacro-iliaques non formolées, dont les résultats n'ont été que pour 6 d'entre elles interprétables pour diverses raisons qui seront développées ultérieurement.

Il s'agissait de 4 articulations d'hommes et 2 de femmes.

Les sujets avaient un âge moyen de 72 ans et 8 mois avec des extrêmes allant de 58 ans et 8 mois à 82 ans et 11 mois.

Nous avons étudié 3 côtés droits et 3 gauches.

Les articulations ont été testées sur un banc d'essai développé à cet usage par l'école des mines de Nantes [15].



Les résultats ont été interprétés à partir de photographies numériques à l'aide d'un logiciel développé par l'école des mines de Nantes (Médai®) [15].

Ce logiciel permet, à partir de 2 points d'une couleur spécifiquement repérée par l'ordinateur, et dont l'écartement a été préalablement mesuré, de détecter un déplacement des 2 points l'un par rapport à l'autre, au 100ème de millimètre près, de calculer ce déplacement ainsi que d'en donner le sens de déplacement en degré trigonométrique.

Ces points de couleur sont matérialisés par deux petits bâtonnets ("mires") qui peuvent être placés à notre guise sur le sujet, ils portent chacun à leur extrémité la couleur repérée automatiquement par le logiciel. Il s'agit d'une couleur verte de forte luminance, couleur la plus aisément identifiable au sein de tissus cadavériques.

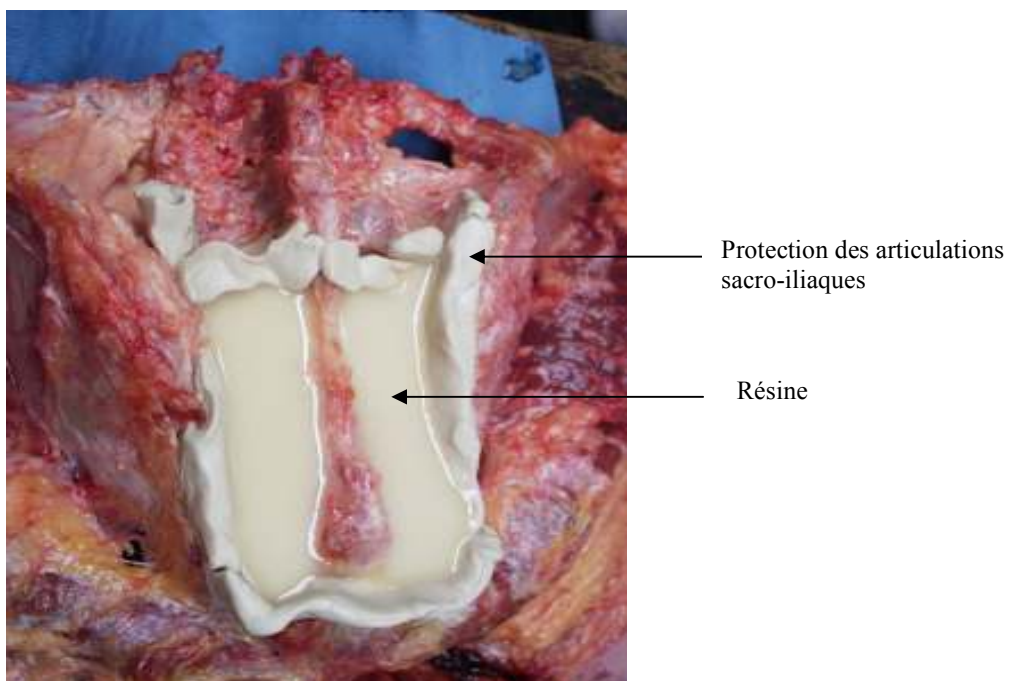


### IV .3 - Méthodes

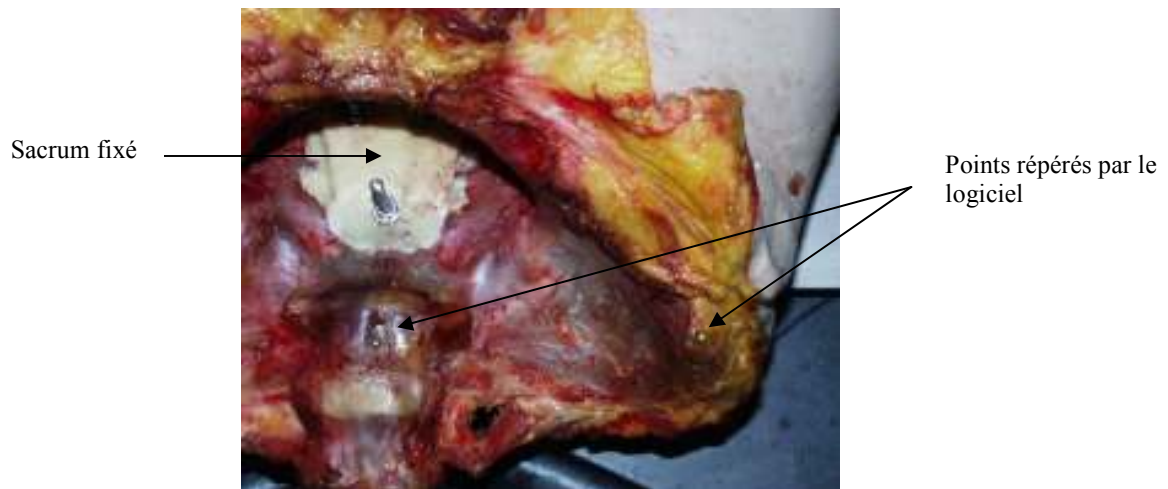
Notre but était d'étudier la variation éventuelle de mobilité entre une articulation sacro-iliaque mobilisée avec ses ligaments sacro-tubérositaire et sacro-épineux intacts et cette même articulation après section élective de ces deux ligaments.

La procédure technique a donc été la suivante :

- Le bassin cadavérique a été prélevé frais emportant en monobloc le bassin, les deux articulations coxo-fémorales, les deux fémurs sur une longueur d'au moins 20 cm, et le rachis lombaire jusqu'en L3 au minimum.
- La pièce a été éviscérée.
- Le sacrum a été préparé, puis moulé de part et d'autre en respectant les articulations sacro-iliaques et leurs ligaments propres, à l'aide d'une résine polymérique,



- ainsi la pièce sacrée était méchée et vissée au banc d'essai sur le socle prévu à cet effet. Le sacrum et uniquement ce dernier était solidairement vissé au banc d'essai, les deux articulations sacro-iliaques étant libres.



- Le fémur recevait en centromédullaire et verrouillé, une tige reliée à un système de pression hydraulique.



La pression exercée était parfaitement contrôlée par un système gradué en Bars. L'articulation coxo-fémorale était laissée en position neutre dans les deux plans de l'espace.

- Les deux points de référence étaient placés, l'un sur l'épine iliaque antéro-supérieure, l'autre sur la face antérieure du corps vertébral de L5.

Le point fixe était sur le corps de L5 et non sur celui de S1 afin d'éviter de prendre en compte les mouvements parasites inévitables du sacrum sur son socle. L'articulation L5 – S1 n'était absolument pas mobilisée, parfaitement libre et immobile donc ne pouvant pas être responsable de biais de mesure. L'écartement des deux points était précisément mesuré en millimètres.

- Un appareil photographique numérique a été placé au-dessus de la pièce sur un support stable prévu à cet effet, et n'a pas été bougé tout au long des tests, les photos étant prises à distance à l'aide d'une télécommande.

Système de vérin hydraulique exerçant une pression dans l'axe du fémur

Contrôle précis des pressions exercées



Bassin fixé au banc

Ensuite commençait une série de photographies.

Tout d'abord la pièce était photographiée en position neutre sans exercer aucune pression dans l'axe du fémur.

Ensuite une pression de 1 bar était exercée dans l'axe du fémur en position neutre, et une nouvelle photo était prise dans cette nouvelle position. La même manœuvre était réalisée à 1,5 puis 2 bars. Ceci correspond à une force exercée de 40 Kg pour 2 Bar. Un Bar équivaut à 1000 Newton par m<sup>2</sup>.

Cette force de 2 Bar était la force critique pouvant être exercée avant d'obtenir soit une fracture du sacrum solidarisé au banc d'essai, soit une fracture du col fémoral.

Les ligaments sacro-tubérositaire et sacro-épineux ont ensuite été sectionnés de la même façon qu'ils le sont dans une chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne.

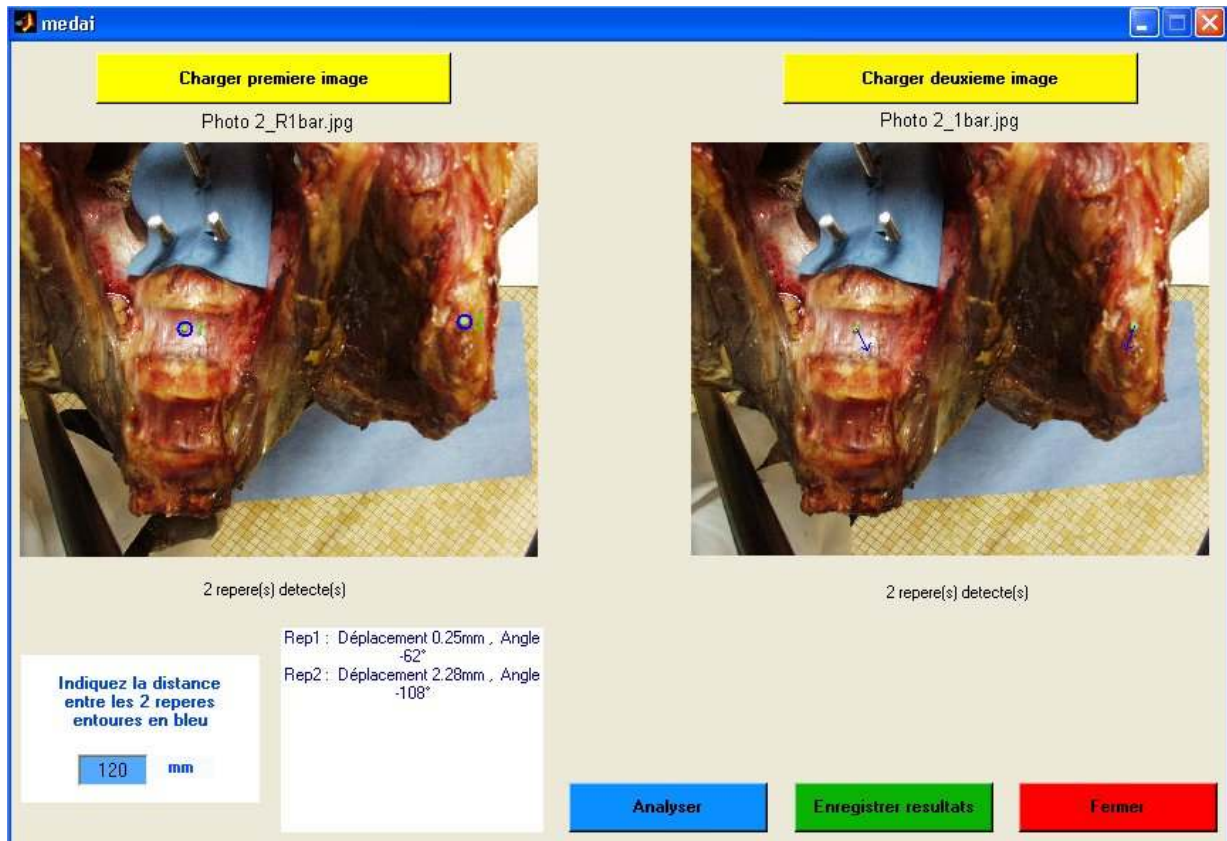
Une nouvelle photographie en position neutre sans pression était réalisée.

Puis les mêmes pressions de 1; 1,5; et 2 Bars étaient exercées dans l'axe du fémur après section des ligaments, et une photographie était prise à chaque variation de pression.

L'ensemble des photographies était enregistré sur informatique et analysées à l'aide du logiciel prévu à cet effet (Médai®) [15], permettant de comparer le déplacement des deux points de référence avant puis après section des ligaments sacro-tubérositaire et sacro-épineux, et ce pour chaque variation de pression exercée de 1 à 2 Bars.

Ce logiciel a été développé par l'école des mines de Nantes.

Nous avons ainsi pu étudier le déplacement de l'articulation sacro-iliaque dans le plan frontal, essentiellement en translation.



## V - RESULTATS

### V.1 - Difficultés techniques

Sur l'ensemble des sujets étudiés, seul les résultats de 6 d'entre eux ont été interprétables.

En effet nous avons été confrontés à plusieurs problèmes techniques successifs.

Tout d'abord quant au choix des sujets, qui, en raison du guide fémoral centro-médullaire, ne devaient pas être porteur d'arthroplastie totale de hanche, ce qui s'est avéré fréquent sur les sujets disponibles.

De plus les sujets étaient âgés et ostéoporotiques. Le premier sujet a été testé en compression, sacrum fixé, jusqu'à une pression de 2.5 Bars, où nous avons assisté à une fracture du sacrum autour de sa fixation, avant même de n'avoir pu le tester ligaments sectionnés. Nous avons donc au vu de ce résultat, décidé de ne pas tester les sujets à plus de 2 Bars. Nous avons également assisté également à une fracture du col fémoral.

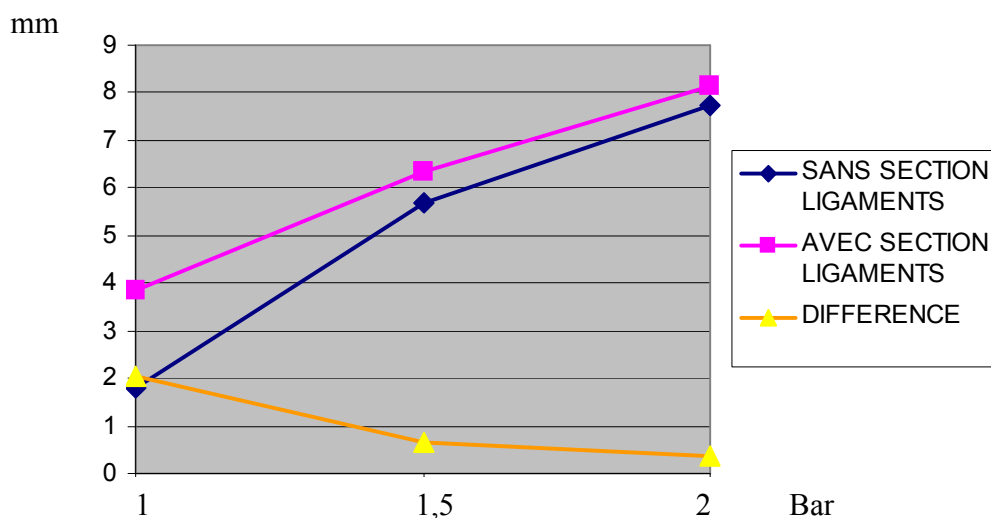
Ensuite, une fois la série de photographies réalisée sans problème technique, ces dernières ont été analysées par informatique. Nous avons alors été confrontés à un problème de reconnaissance des points repères par le logiciel avec des données devenues par conséquent inexploitable.

### V.2 – Résultats définitifs

L'analyse informatique des résultats a permis de constater que l'articulation sacro-iliaque était une articulation **mobile**. Ces mobilités étaient cependant réduites avec des mobilités quasi nulles, mesurées à 0.01 mm de moyenne lorsqu'elle était soumise à une pression de 1 Bar, mais avec des mobilités qui augmentaient jusqu'à presque 8 mm pour des pressions de 2 Bars.

De plus l'articulation sacro-iliaque est une articulation **plus mobile chez le sujet jeune**. En effet des mobilités pouvant atteindre 11.82 mm et 13.75 mm à 2 Bars ont été constatées chez un sujet de 58 ans et 8 mois de la série, soit plus du double des mobilités mesurées chez des sujets plus âgés. Chez le sujet âgé cette articulation était macroscopiquement le siège d'une arthrose tout comme l'étaient les articulations vertébrales lombaires sus-jacentes. Chez ce sujet jeune, l'articulation semblait bien mieux conservée.

L'analyse globale des données nous a permis de constater une petite différence de mobilité entre une articulation avec ligaments sacro-épineux et sacro-tubéral intacts et la même articulation après section de ces deux ligaments. La moyenne des différences était de 2.055 mm à 1 Bar puis tendait à diminuer pour devenir presque nulle avec 0.65 mm à 1.5 Bar et 0.385 mm de différence de mobilité à 2 Bar.



Une analyse statistique de ces résultats a été réalisée, elle a consisté à utiliser un test de comparaison de deux moyennes expérimentales sur données appariées avec petits échantillons ( $n=6$ ).

Nous avons donc appliqué un test t de Student apparié [18].

Les  $t_{exp}$  obtenus sont respectivement de 1.739 à un Bar, 1.35699 à 1.5 Bar et 0.746456 à 2 Bars.

**Les résultats obtenus permettent donc de conclure à l'absence de différence significative à 5 et même à 1% entre les mesures observées sur les articulations avec et sans ligaments sacro-épineux et sacro-tubéral.**

Les variations de mesures sont donc statistiquement non significatives.

## VI – CONCLUSION

Ce travail a donc permis de tester expérimentalement le rôle des ligaments sacro-tubéral et sacro-épineux sur la stabilité de l'articulation sacro-iliaque.

Nous pouvons donc conclure que l'articulation sacro-iliaque est une articulation aux mobilités réduites mais non nulles. Elle est plus mobile chez le sujet jeune.

**De plus les ligaments sacro-tubéral et sacro-épineux n'ont pas, au vue de notre étude, de rôle stabilisateur sur l'articulation sacro-iliaque.**

La section de ces deux ligaments n'a en effet été expérimentalement responsable d'aucune modification de mobilité de l'articulation sacro-iliaque.

Les éléments de stabilité de l'articulation sacro-iliaque sont représentés par les surfaces articulaires et les ligaments non à distance de cette articulation, à savoir les plans superficiels et profonds des ligaments sacro-iliaque postérieur ainsi que les puissants ligaments ilio-lombaires.

Ceci confirme notre impression clinique avec l'absence d'apparition de douleur sacro-iliaque objectivée à distance de la chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne mais permet de l'objectiver expérimentalement.

## **VII – DISCUSSION**

### **VII .1 – De la méthodologie**

Notre étude comporte un certain nombre de limites.

Tout d'abord, il s'agit d'une étude cadavérique, menée de surcroît sur des sujets d'âge moyen important.

Le nombre de sujets étudiés reste limité du fait de manipulations techniques lourdes et des restrictions concernant les sujets, déjà exposées au-dessus.

Notre étude a étudié l'articulation sacro-iliaque en ne respectant que l'appareil ostéo-ligamentaire et en sacrifiant le système musculo-aponévrotique péri-articulaire. Ceci supprime donc certainement une partie des éléments de stabilité de l'articulation.

Cependant les articulations ont été testées électivement, en respectant l'ensemble de l'appareil ostéo-ligamentaire et en ne sectionnant que les deux ligaments sacro-épineux et sacro-tubéral. De plus l'étude des mobilités articulaires n'a été étudiée qu'en deux dimensions avec le logiciel utilisé. Il est de ce fait difficile d'étudier tout mouvement en rotation. De nombreux modèles biomécaniques beaucoup plus fins de bassin ont été développés pour l'étude biomécanique de la hanche prothésée ou non.

Il serait bien évidemment très intéressant de réaliser ce travail en trois dimensions. Une telle étude serait menée idéalement sur le sujet vivant avant puis après une chirurgie de neurolyse du nerf pudendal.

### **VII .2 – Des résultats**

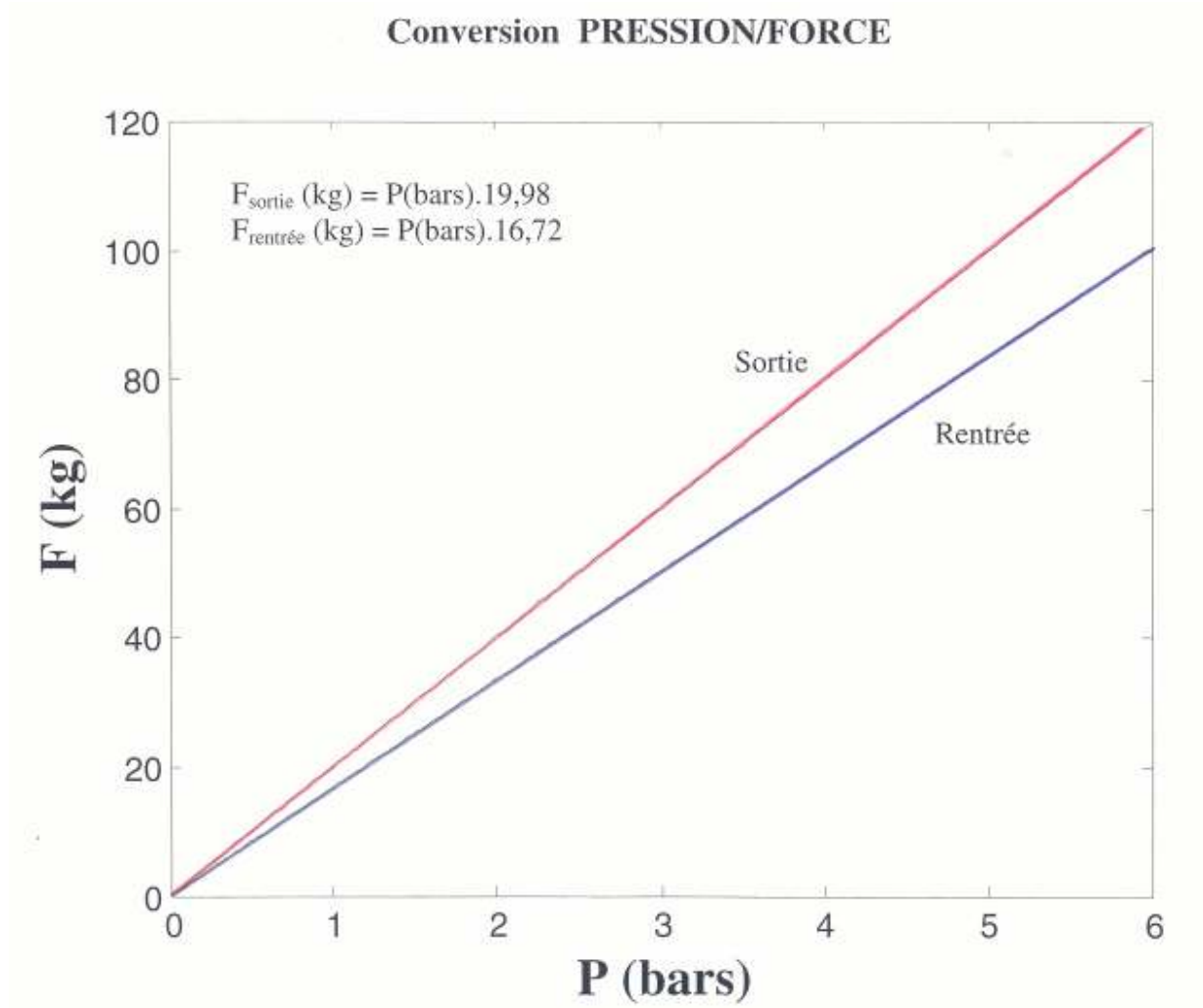
L'ensemble des résultats obtenus est cohérent avec des mobilités augmentant avec la force exercée dans l'axe du fémur. Nous n'avons obtenu aucun résultat aberrant ce qui permet de valider la qualité du logiciel Médai ® développé par l'Ecole des Mines de Nantes [15].

Les résultats obtenus confortent notre impression clinique avec l'absence différence de mobilité entre les articulations avec et sans ligaments. Il n'a ainsi été observé aucune douleur sacro-iliaque à distance de la chirurgie de neurolyse du nerf pudendal interne.



## ANNEXES

### I - Conversion PRESSION / FORCE





## **BIBLIOGRAPHIE**

**1 - BONNEL F. :**

Abrégé d'anatomie fonctionnelle et biomécanique  
*Appareil locomoteur – Tome III Sauramps médical*

**2 – COSTES F., VALLEE G. :**

Aspects radiographiques des articulations sacro-iliaques chez l'adolescent  
*Sem. Hôp. Paris, 1957, 33, 1264-1270.*

**3 – DELMAS A. :**

Jonction sacro-iliaque et statique du corps.  
*Rev. Rhum., 1950, 17, 475-481.*

**4 – DUJARDIN**

Experimental study on sacro-iliac joint.  
*Journal Orthop.Trauma. 2002 Feb; 16(2); 99-103.*

**5 - GARY L. :**

Sacro-iliac motion for extreme hip positions. A fresh cadaver study.  
*Spine; 1997; Sep 15; 22(18);2073-82.*

**6 - GREEN J. :**

Manuel d'anatomie humaine

**7 – HAKIM M. :**

Recherches sur l'articulation sacro-iliaque chez l'homme et chez les anthropoïdes.  
*Thèse Méd., Paris, 1937.*

**8 - HERISSON C. :**

Pathologie de l'articulation sacro-iliaque  
*Masson 1992*

**9 - KAMINA P. :**

Arthrologie des membres.  
*Maloine, 2<sup>ème</sup> édition.*

**10 - KAPANDJI :**

Physiologie articulaire  
*Maloine 1975*

**11 – LAVIGNOLLE**

An approach on sacro-iliac joint.  
*Anat.Clinic 1983; 5(3); 169-76.*

**12 - NABIL A. :**

Anatomic consideration in the anterior approach to the sacro-iliac joint  
*Spine; 1994; Mar 15; 19(6); 721-5.*

**13 - NORDIN J-Y. :**

Fractures de l'anneau pelvien.

*Conférence d'enseignement. SOFCOT 1990, 187-204.*

**14 - PATURET G. :**

Traité d'anatomie humaine – Tome I

*Masson, 1951, Paris.*

**15 - PECOT J. :**

Développement d'un système de contrôle du déplacement relatif des os de la jonction sacro-iliaque par analyse d'images fixes. Rapport de stage.

*Ecole des mines de Nantes. Juin 2003.*

**16 – POOL**

The ilio-lombar ligament.

*Clin. Biomech. (Bristol Am) ; 2003 Feb ; 18(2) 99-105.*

**17 - ROUVIERE H. ; DELMAS A. :**

Anatomie humaine descriptive topographique et fonctionnelle

*Masson 2002.*

**18 - SCHWARTZ – LELOUCH**

Méthodes statistiques appliquées à la médecine et à la biologie.

**19 –TESTUT L. & LATARGET A. :**

Traité d'anatomie humaine, 9ème édition

*Douin & cie, 1948, Paris.*