

Biomécanique des articulations sacro-iliaques

E. VIEL

Docteur ès Sciences, Directeur, École de Cadres « Bois-Larris, B.P. 12, F 60260 Lamorlaye

Généralités sur l'arthrologie

Les articulations sacro-iliaques comprenant une membrane synoviale, il s'agit d'articulations vraies douées de mobilité. Mais la mobilité extrêmement réduite, combinée à l'aspect tourmenté des surfaces articulaires en présence qui sont orientées dans les trois plans de l'espace, rend quasi-impossible une analyse systématique des mouvements qui puissent satisfaire l'esprit rationnel. De plus, les très petits échantillons associés à bien des recherches sur l'humain contribuent à pérenniser l'incertitude.

Nous ne reprendrons pas les descriptions traditionnelles, ni l'énumération fastidieuse des différents théories quant à la localisation du ou des centres de rotation. Les travaux postérieurs à ceux de Weisl (1955) confirment le bien-fondé des idées émises par cet auteur. L'idée d'un centre immuable va faire place à celle de centres instantanés de rotation, mais la localisation générale ne nous paraît pas devoir changer.

Les nombreux autres centres de rotation proposés par des anatomistes ont été détaillés par Bardot et Bardot (1983), à qui nous renvoyons le lecteur. D'autre part, Paparemborde (1984) a fait le point de la bibliographie existante.

MOUVEMENTS POSSIBLES

Le problème épineux de l'objectivation du mouvement chez le sujet vivant a été partiellement

résolu par Grieve (1983) qui a pu repérer sur un échantillon de sujets des déplacements de l'épine iliaque postéro-supérieure de valeur contenue entre 1 et 16 mm. Death (1982) a enregistré les mêmes chiffres, à partir de clichés radiographiques sous contrainte.

Lavignolle et collaborateurs (1983) ont observé des mouvements symétriques et dissymétriques des ailes iliaques par rapport au sacrum, les amplitudes variant suivant les sujets et la direction restant constante.

Ce travail récent sur le vivant a permis de donner la position des centres instantanés de rotation, placés près de la symphyse pubienne, c'est-à-dire dans une position très antérieure par rapport aux articulations sacro-iliaques. Ce travail confirme donc celui de Weisl, et les axes ne correspondent pas aux plans anatomiques conventionnels.

Il semble que l'on puisse aujourd'hui sans hésitation abandonner le concept des axes de rotation anatomiques qui passaient soit à travers, soit très près des articulations sacro-iliaques elles-mêmes.

Les déplacements sont toujours minimes, quelques deux degrés pour Lavignolle et ses collaborateurs, mais les mouvements sont extrêmement complexes puisqu'ils incluent un déplacement des ailes iliaques que l'on pourrait qualifier de flexion-extension, associé à une ouverture-fermeture de la partie supérieure des ailes iliaques qui basculent en dehors-en dedans, pendant que les ischions basculent en dedans-en dehors (*fig. 1*).

MÉCANIQUE STATIQUE

Certains auteurs avaient considéré le sacrum comme étant la pierre angulaire d'une arche

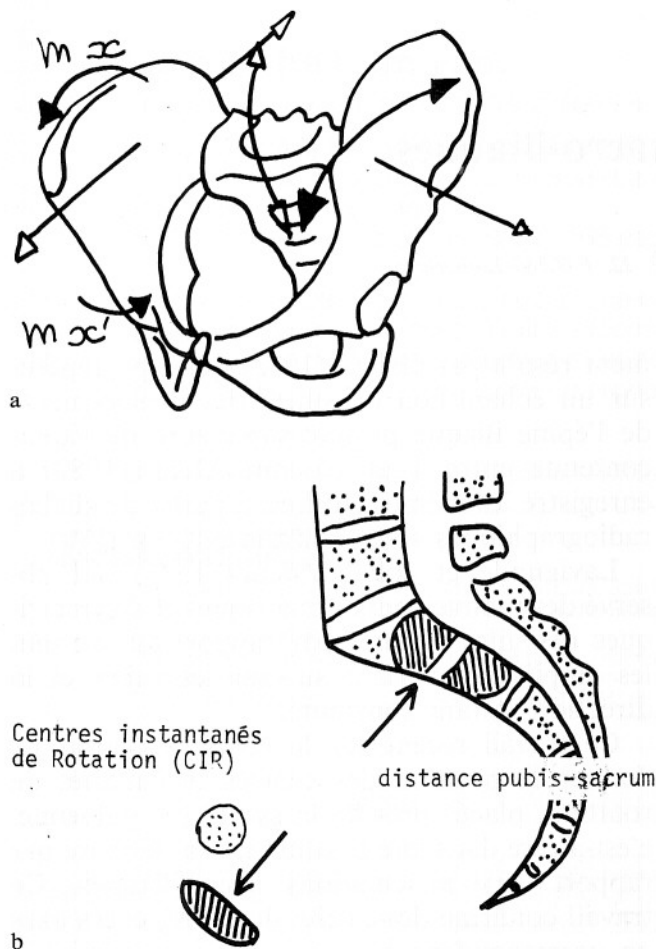


FIG. 1. — Mouvements associés des ailes iliaques dans trois plans de l'espace.

a) Bascule des ailes iliaques : lorsque la crête iliaque bascule vers l'extérieur (mx), la tubérosité ischiatique bascule vers l'intérieur (mx').

b) Localisation des centres instantanés de rotation pour les articulations sacro-iliaques : les centres de rotation migrants sont localisés à environ 10 cm antérieur et inférieur au promontoir sacré.

osseuse ; ceci est impossible, car en fait le poids transmis par la colonne vertébrale au sacrum transforme cette pièce osseuse en un répartiteur de pression suspendu aux deux ailes iliaques par les ligaments sacro-iliaques postérieurs, il s'agit donc beaucoup plus d'un hamac ostéo-fibreux que du sommet d'une arche rigide. Ceci a été observé par Grant (1958) qui fait remarquer que le sacrum a tendance à glisser entre les deux ailes iliaques, en les tirant toutes les deux vers le centre en mettant en tension les ligaments postérieurs. De plus, Chamberlain (1930) fait remarquer que les ligaments postérieurs, de loin

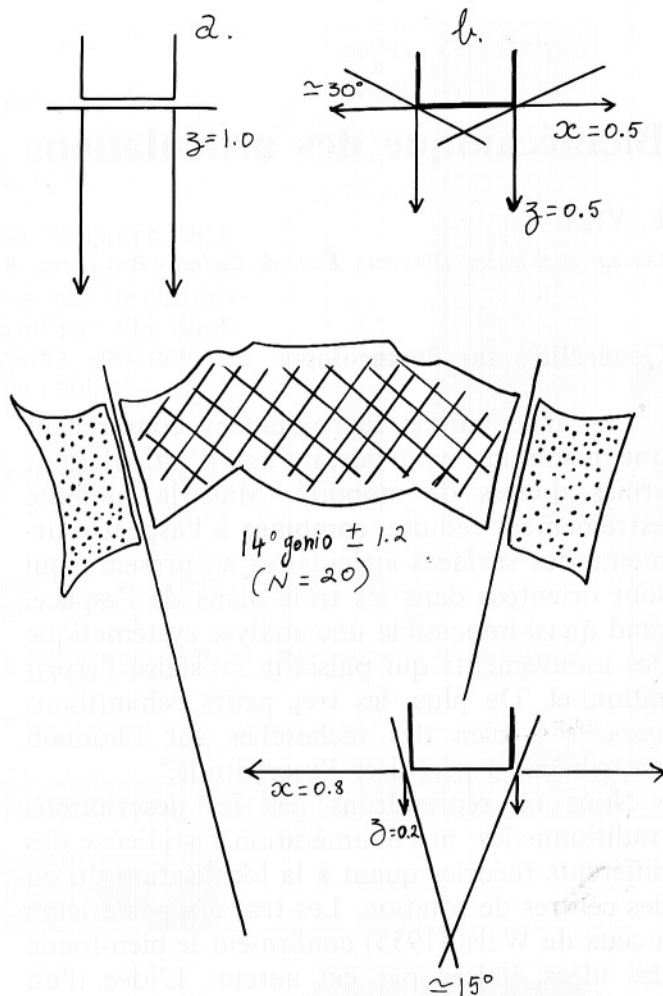


FIG. 2. — Angle d'attaque du sacrum sur la partie inférieure des ailes iliaques (au centre).

a) Transmission des contraintes par deux corps plans.

b) Transmission des contraintes par un corps-plan dans un corps en entonnoir.

c) Transmission des contraintes par un corps-plan dans un entonnoir très marqué.

les plus puissants, sont organisés de telle manière que les fibres se tendent lorsque les ailes iliaques tournent en arrière et se détendent lorsque les ailes iliaques tournent vers l'avant.

L'analyse de statique mécanique est très simple : l'angle d'attaque de la partie inférieure du sacrum sur la partie inférieure des surfaces articulaires iliaques est d'environ 14° goniométriques. L'écrasement de deux surfaces planes crée une contrainte purement verticale (fig. 2 a). Mais si l'angle de la surface qui reçoit les contraintes change pour adopter la forme approximative d'un entonnoir, la contrainte est

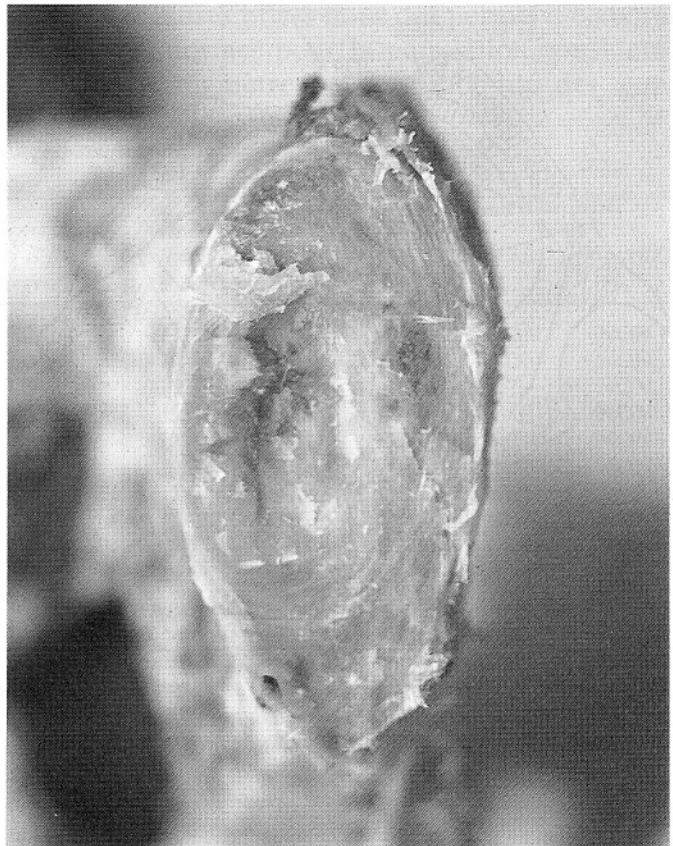
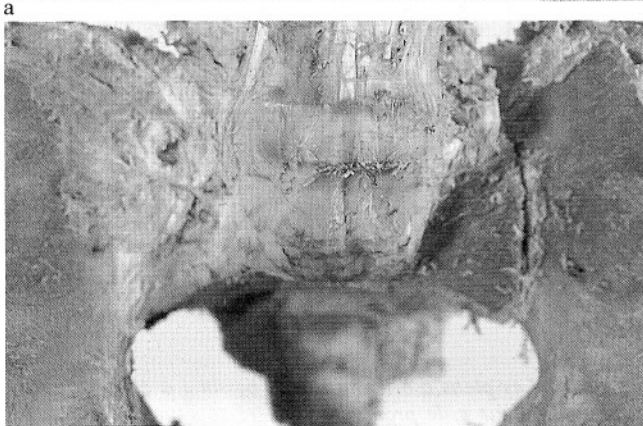
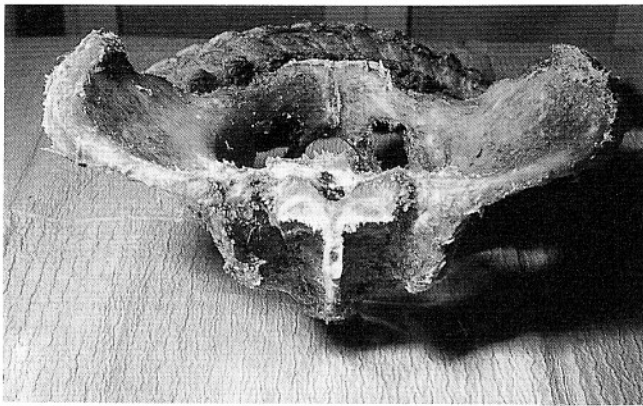


FIG. 3. — Le halo pelvi-pubien : trois pièces osseuses, le sacrum postérieurement, et latéralement les deux ailes iliaques prolongées par les branches pubiennes.

a) Ensemble osseux. — b) Détail de l'articulation sacro-iliaque ouverte en avant (capsule sectionnée). — c) Détail de la surface articulaire entre branches pubiennes.

dissipée à la fois latéralement et verticalement, de manière égale lorsque la valeur angulaire s'approche de 30° (fig. 2 b). Lorsque l'entonnoir se ferme complètement, comme c'est le cas pour les articulations sacro-iliaques, la contrainte est presque entièrement dissipée latéralement, il reste très peu de transmission verticale (fig. 2 c). Ceci nous indique que les articulations sacro-iliaques ne sont pas des articulations porteuses mais des articulations dissipatrices de contraintes.

Squelette fibreux

Le halo pelvi-pubien est constitué de trois os et trois articulations (fig. 3). Le sacrum en arrière, les deux ailes iliaques liées aux branches pubiennes, sont articulées postérieurement par

les deux articulations sacro-iliaques antérieurement par la symphyse pubienne, articulation dont la mobilité est très réduite mais malgré tout existante.

Les pièces osseuses sont tenues entre elles par un squelette fibreux extrêmement puissant et développé : les ligaments sacro-iliaques postérieurs, la capsule articulaire antérieure qui constitue le maillon le plus faible de ce réseau ostéo-fibreux, les ligaments sacro-coccygiens, les ligaments sacro-épineux, les ligaments sacro-ischiatiques (fig. 4). Ces ligaments extrêmement puissants assurent la stabilité des pièces squelettiques lorsque sur elles s'exercent des contraintes verticales, latérales ou en torsion. Nous ne connaissons aucun auteur qui ait eu la curiosité ou la patience d'explorer une mise en tension sélective du squelette fibreux. Le seul élément de certitude consiste à dire que, lorsque l'aile iliaque s'avance par rapport au sacrum les ligaments postérieurs se trouvent détendus et la

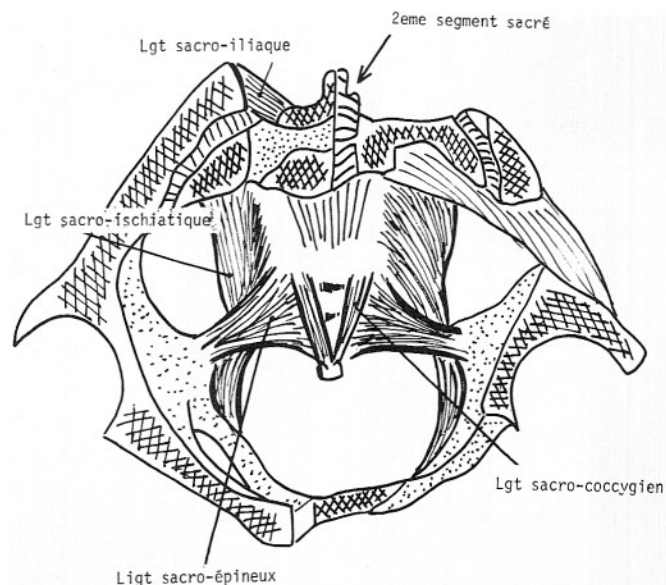


FIG. 4. - Le squelette fibreux : les pièces osseuses sont liées entre elles par les deux articulations sacro-iliaques et la symphyse pubienne, la solidité de l'ensemble est maintenue transversalement par les ligaments sacro-épineux, dans le sens antéro-postérieur par les ligaments sacro-ischiatiques, et l'union entre le sacrum et les ailes iliaques est assurée postérieurement par les ligaments sacro-iliaques.

capsule articulaire antérieure est mise en tension.

Par contre, si l'aile iliaque tente de reculer, la mise en tension des formidables ligaments sacro-iliaques devrait normalement empêcher tout mouvement. Ceci veut dire que l'aile iliaque semble limitée à un seul mouvement, le glissement antérieur, suivi d'un retour à la position d'origine.

Quant à savoir si le sacrum se place par rapport à l'aile iliaque, ou si l'aile iliaque se déplace par rapport au sacrum, la chose nous paraît très peu possible puisque les deux pièces sont mobiles et que l'on mesure le rapport de l'un vers l'autre, la prise mobilisatrice la plus aisée étant bien évidemment appliquée aux ailes iliaques, soit directement sur celles-ci, soit par l'intermédiaire d'une traction appliquée aux membres inférieurs.

MESURES RADIOGRAPHIQUES DE LA MOBILITÉ DES AILES ILIAQUES SUR LE SACRUM

12 sujets ont participé à l'épreuve, souffrant tous de douleurs de la région du bas du dos, rebelles aux

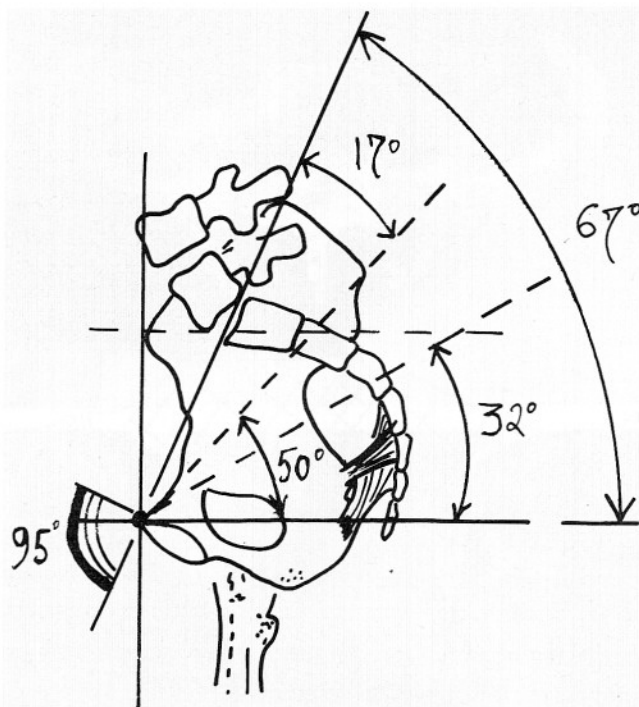


FIG. 5. - Les plans d'orientation du bassin : à partir de l'axe antéro-postérieur y, le promontoire sacré se situe à 67° d'angle, l'épine iliaque postéro-supérieure à 50°, et l'angle entre l'axe d'orientation des symphyses pubiennes et l'axe d'orientation du plateau sacré est de 95° (n = 20).

Un plan de coupe passant par les deux épines iliaques antéro-supérieures et antéro-postérieures coupe à angle droit l'axe z. Ceci permet de repérer l'horizontalité du bassin.

traitements classiques, s'adressant à la colonne lombaire. Nous avons repéré les plans d'orientation du bassin (fig. 5), puis procédé à un examen radiographique à l'aide de repères placés sur le sacrum, les ailes iliaques, et la dernière vertèbre lombaire.

Nous avons mesuré en succession :

- l'horizontalité du pubis ;
- le mouvement d'une branche pubienne par rapport à l'autre en mm ;
- le déplacement dans l'articulation sacro-iliaque (en degré goniométrique) ;
- le diamètre du bassin, mesuré entre le coin antérieur de la première vertèbre sacrée et la symphyse pubienne (en cm).

En ce qui concerne les symptômes, nous avons analysé :

- douleur à la marche ;
- douleur assise ;
- douleur couchée ;
- douleur lors du mouvement de « débrayage », c'est-à-dire position assise, position sur une pédale lestée.

RÉSULTATS

Les résultats sont les suivants :

Les mesures prises nous ont permis d'élaborer quelques normes pour la population considérée (fig. 6) : diamètre pelvien, mobilité des sym-

TABLEAU I. - Mouvements de douleurs chez des sujets souffrant de douleurs sacro-iliaques (N = 12)

Sujet	Horizontalité du bassin	Débattement de la symphyse pubienne en mm	Mouvements de la S.I. en degrés	Diamètre pelvien en cm	Symptômes			
					Marche	Dé-brayage	Assis	Couché
01	OUI	3	9.0	11.2	OUI	NON	NON	NON
12	OUI	2	7.0	10.5	OUI	OUI	NON	NON
13	NON	2	7.0	10.6	OUI	OUI	?	NON
04	OUI	1.5	12.0	13.0	NON	OUI	OUI	NON
05	NON	3	9.5	11.4	OUI	OUI	NON	NON
16	OUI	2	7.0	10.5	NON	OUI	NON	NON
17	OUI	2.5	11.0	12.0	OUI	OUI	NON	NON
18	OUI	2.5	8.5	11.0	OUI	OUI	NON	NON
09	NON	3	6.8	9.8	NON	OUI	NON	NON
010	OUI	1.5	7.8	10.8	OUI	OUI	NON	NON
111	NON	2.5	10.0	11.5	?	OUI	OUI	NON
012	OUI	2	8.0	11.0	OUI	OUI	NON	NON

0 = sujets féminins (N = 12) $\times 2,29$
1 = sujets masculins

$\times 8,63$
s 1,71
= 0,00

$\times 11,10$
s 0,82
= 0,95

8 11 2 0
Rehabilitation Institute of Oregon - 1967

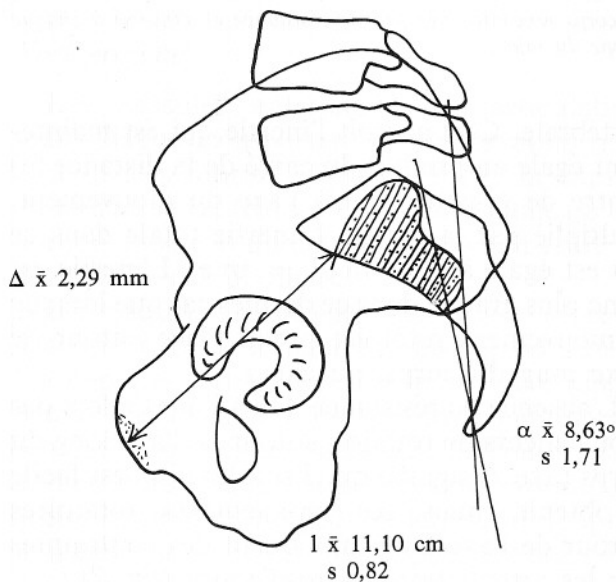


FIG. 6 a

FIG. 6. - a) Corrélation entre le mouvement sacro-iliaque, le diamètre du bassin et la mobilité de la symphyse pubienne : la distance 1 entre le promontoire sacré et la symphyse pubienne est en moyenne de 11,10 cm (n = 12). La mobilité des symphyses est en moyenne de 2,29 mm, la mobilité des sacro-iliaques de 8,63°. Il n'y a pas de corrélation entre la mobilité pubienne et la mobilité sacro-iliaque, par contre, il y a corrélation entre le diamètre pelvien et la mobilité sacro-iliaque.
b) Vue interne montrant la position respective des articulations de l'iliaque avec le sacrum (à gauche) et le pubis opposé (à droite).

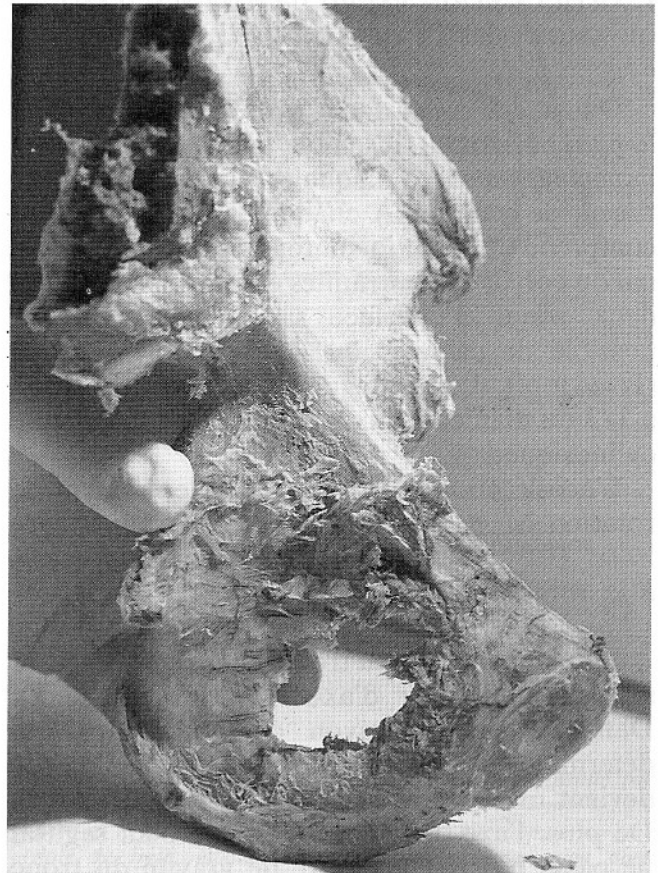


FIG. 6 b

physes pubiennes, mobilité des surfaces articulaires sacro-iliaques. Les corrélations montrent un rapport évident entre la mobilité sacro-iliaque et le diamètre pelvien, mais il est curieux de constater que nous n'avons pas retrouvé de corrélation positive entre la mobilité sacro-iliaque et la mobilité des symphyses pubiennes.

LES ARTICULATIONS SACRO-ILIAQUES EN TANT QU'AMORTISSEURS DE VIBRATIONS

Au cours de la marche, la frappe alternée des talons ébranle le corps entier : l'onde de choc se propage le long du squelette du membre inférieur, atteint l'articulation de hanches, retransmet par les ailes iliaques et arrive à l'articulation sacro-iliaque qui se comporte comme un amortisseur de vibrations (élimination de quelques g's) et de choc vertical (*fig. 7*).

L'ARTICULATION SACRO-ILIAQUE EN TANT QU'AMORTISSEUR DE ROTATION

Du fait de sa surface déployée surtout dans le plan horizontal, il semble possible de postuler l'articulation sacro-iliaque est un efficace amortisseur de rotation. A chaque pas, le pas pelvien comprend une rotation autour de l'axe longitudinal du corps, les contraintes étant transmises aux deux zones d'interface sacro-iliaques. Il est possible de calculer *inertie* = moment de p^2 ($I = m\rho^2$). Le rayon de giration ρ est estimé à 1/3 du diamètre du corps ramené à une forme cylindrique.

L'accélération (a) produite par le moment de rotation M est proportionnellement supérieure

$$\text{à la rotation } a = \frac{M}{I}$$

Les mouvements du tronc dans le plan sagittal s'exécutent autour d'axes transverses (axe x). Dans ce cas, le rayon de giration (ρ) qui détermine la quantité de résistance à l'inertie devient maintenant 1/3 de l'axe long du corps. De plus, l'axe de rotation dans le plan sagittal ne passe pas par le centre de gravité du tronc mais par l'extrémité inférieure de la colonne

$$I = m\rho^2$$

ρ Rayon rotat.
= 1/3 diam.corps

$$a = \frac{M}{I}$$

$$I = m\rho^2 + me^2$$

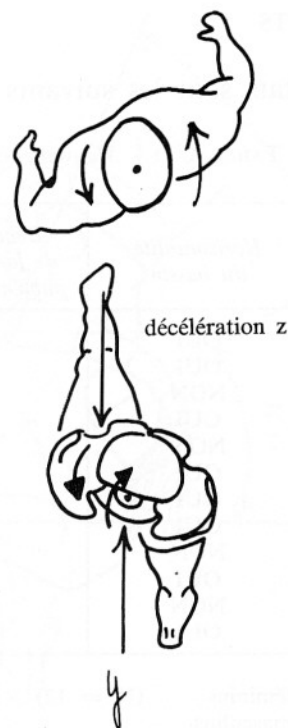


FIG. 7. - Rotation. L'articulation sacro-iliaque est un amortisseur de rotation : l'accélération rotatoire autour de l'axe le long du corps rencontre très peu de résistance et s'inverse à chaque frappe du talon.

vertébrale. Ceci accroît l'inertie qui est maintenant égale au produit du carré de la distance (e) centre de gravité jusqu'à l'axe du mouvement, multiplié par la masse. L'inertie totale dans ce cas est égale à $I = m\rho^2 + me^2$. L'inertie est donc plus grande dans ce dernier cas que lorsque le mouvement rotatoire prend place autour de l'axe long du corps, ou axe z .

L'absence de résistance due à l'inertie lors des mouvements de rotation autour de l'axe long du corps (axe z) signifie que l'accélération est facile à obtenir, mais ces mouvements rotatoires autour de l'axe long impliquent des contraintes sur les articulations sacro-iliaques (*fig. 7*).

INNERVATION NOCICEPTIVE DES ARTICULATIONS SACRO-ILIAQUES

Les douleurs le plus souvent diffuses qui prennent leur origine autour de l'articulation sacro-iliaque peuvent, suivant l'anatomie de l'innervation nociceptive, avoir au moins cinq origines possibles.

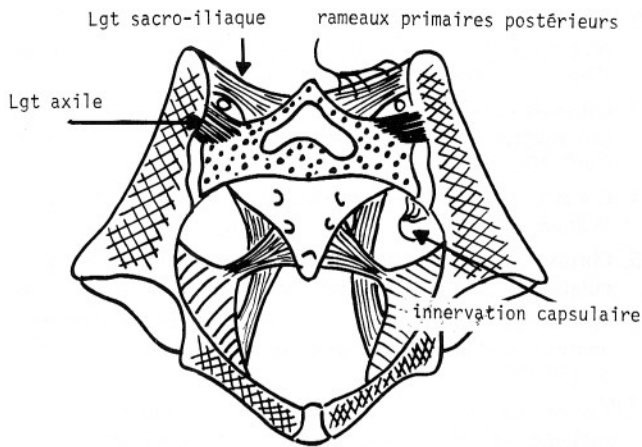


FIG. 8. - L'innervation de la région sacro-iliaque :

a) En vue supérieure, les branches latérales des rameaux primaires postérieurs, puis le paquet vasculo-nerveux compris entre le ligament iliaque postérieur et le ligament axile, puis l'innervation nociceptive de la partie antérieure de la capsule articulaire.

b) En vue postérieure, deux branches latérales des rameaux primaires postérieurs, celle d'origine D12-L1 qui innerve la partie postéro-supérieure et latérale de l'aile iliaque, celle d'origine S1 et S2 qui innervent les téguments immédiatement susjacentes à la partie postérieure de l'articulation sacro-iliaque.

Nerf profond

Les capsules antérieures des articulations sacro-iliaques comportent une innervation nociceptive très fournie (Wyke, 1982) ; la capsule est très mince et très serrée, ce qui signifie qu'une tension même millimétrique est en mesure de déclencher des douleurs.

Un paquet vasculo-nerveux passe entre le ligament axile et le ligament iliaque postérieur. Un déplacement même mineur de l'aile iliaque risque d'amener les masses ligamentaires au contact du nerf et des vaisseaux. La compression du nerf serait responsable de sentiments vagues, fourmillements et douleurs référées, la compression des artères et des veines pourrait créer une douleur directe in situ (fig. 8).

Innervation superficielle

La cause de douleur la plus évidente serait l'innervation nociceptive par les branches latérales des rameaux primaires postérieurs (Lazorthes 1972 ; Orsini 1972). Les rameaux issus des trous de conjugaison S1 et S2 fournissent les rameaux sensitifs qui innervent les tissus immédiatement susjacentes à l'articulation sacro-ilia-

que ; leur irritation donne une localisation de douleur qui peut singer la douleur articulaire.

Un rameau issu du trou de conjugaison D12-L1 descend le long de la colonne lombaire pour venir innerver la face postérieure de l'aile iliaque, site très fréquent de douleurs dans les lombalgies.

Conclusion

Aucun des travaux passés en revue ne peut être considéré comme définitif, de très nombreuses questions subsistent.

Notre expérience avec une population réduite nous permet de dire que le mouvement d'appuyer sur une pédale de débrayage ou de frein réveille très aisément les douleurs sacro-iliaques par une mise en tension sélective : répulsion de

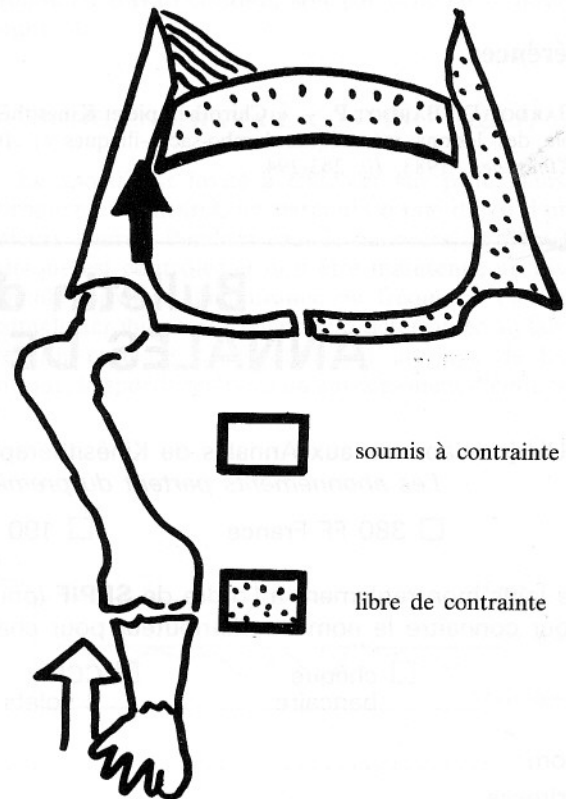


FIG. 9. - Cisaillement entre l'iliaque et le sacrum, limité par les ligaments postérieurs : cette vue schématique représente le halo pelvien et le membre inférieur droit ; ce dernier appuie sur une pédale de frein, et transmet donc une contre-réaction dans l'articulation sacro-iliaque droite, la contrainte ressentie douloureusement par l'intermédiaire des ligaments sacro-iliaques.

l'aile iliaque du côté de l'appui avec cisaillement entre l'iliaque et le sacrum limité par les ligaments postérieurs, ressenti douloureusement de ce fait si les ligaments postérieurs sont irrités (fig. 9).

Il nous semble, au terme d'une étude biomécanique, que l'articulation sacro-iliaque ne reçoit pratiquement pas de charges mais distribue des contraintes sur un berceau ostéo-fibreux, avec pour résultat de solliciter perpétuellement les ligaments sacro-iliaques et le squelette fibreux du halo-pelvien.

Il nous semble également que la sacro-iliaque contribue à absorber les chocs ressentis pendant la marche, la course et le saut, au moyen d'un effort de cisaillement perpétuellement appliqué à cette articulation.

Il est à noter que Steindler (1964) avait signalé des « entorses sacro-iliaques » chez des parachutistes qui s'étaient reçus de préférence sur un pied plutôt que l'autre.

Références

1. BARDOT D., BARDOT P. - « Chirothérapie et Kinésithérapie des lésions mécaniques lombo-sacro-iliaques ». *Ann. Kinésithér.*, 1983, 10, 263-294.
2. DEATH A. B., KIRBY R. L., McMILLAN C. L. - « Pelvic ring mobility : assessment by stress radiography ». *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 1982, 63, 204-206.
3. CHAMBERLAIN E. - « The symphysis pubis in the roentgen examination of the sacro-iliac joint ». *Am. J. Roent. Rad. Ther.*, 1930, 24, 621-625.
4. GRANT J. C. B. - « *A method of anatomy* ». Baltimore Williams et Wilkins, 1958 (6^e édition).
5. GRIEVE E. - « Dysfonctionnement mécanique de l'articulation sacro-iliaque ». *Ann. Kinésithér.*, 1983, 10, 259-262.
6. LAVIGNOLLE B. et coll. - « An approach to the functional anatomy of the sacro-iliac joints in vivo ». *Anat. Clin.*, 1983, 5, 159-176.
7. LAZORTHES G. - « Les branches postérieures des nerfs rachidiens et le plan articulaire vertébral postérieur ». *Ann. Med. Phys.*, 1972, 15, 192-202.
8. ORSINI A. - « Recherches anatomiques sur l'innervation de la fonction sacro-iliaque ». *Ann. Med. Phys.*, 1972, 15, 257-261.
9. PAPAREMBORDE M. - « Recherche bibliographique sur les axes et plans de mouvement de l'articulation sacro-iliaque ». Mémoire, AEU de Biomécanique, UER de Grange-Blanche (Lyon), 1984.
10. STEINDLER A. - « *Kinesiology of the human body* ». Springfield, CC Thomas, 1964.
11. WEISL H. - « Movements of the sacro-iliac joint ». *Acta Anat.*, 1955, 23, 80-91.
12. WYKE B. - « Receptor system in lumbosacral tissues in relation to the production of low-back pain », pp. 97-107. In : *Symposium on idiopathic low-back pain*. Saint-Louis, Mosby, 1982.



Bulletin d'abonnement ANNALES DE KINÉSITHÉRAPIE

OUI ! je m'abonne aux Annales de Kinésithérapie 1989.

Les abonnements partent du premier numéro de l'année - 8 fascicules par an

☐ 380 FF France

☐ 190 FF Étudiants

☐ 88 US \$ Étranger

Sur justificatif

Je joins mon règlement à l'ordre de **SPPIF** (pour les pays étrangers, consulter la page 2 de couverture pour connaître le nom du distributeur pour chacun de ces pays).

☐ chèque
bancaire

☐ CCP
2 volets

☐ prélèvement automatique * :
envoyez-moi un formulaire.

Nom : Prénom :

Adresse :

Code Postal : Ville : Pays :

Spécialité :

Bulletin d'abonnement à retourner à : S.P.P.I.F., B.P. 22, 41353 VINEUIL