

# Spondylolisthesis de haut grade : biomécanique et proposition thérapeutique

## High grade spondylolisthesis in children: biomechanical and therapeutic proposition

G Bollini, B Blondel, F Launay, E Viehweger, S Jacopin, J-L Jouve

Université de la Méditerranée, service de chirurgie infantile et orthopédique, Hôpital Timone-Enfants, Marseille

### Mots clés

- ◆ Spondylolisthésis
- ◆ Haut grade
- ◆ Fusion circonférentielle
- ◆ Enfant
- ◆ Rachis
- ◆ Chirurgie

### Résumé

**Objectif.** Rapporter notre expérience dans la prise en charge des spondylolisthésis (SPL) de haut grade chez l'enfant par réalisation d'une arthrodèse circonférentielle et une fixation trans-sacro-lombaire.

**Matériel et méthodes.** Sept patients porteurs de SPL de haut grade (stade III et IV de Meyerding) ont été opérés selon cette technique avec une approche uniquement postérieure. Après repérage des racines S2 et S3, une vis sur mesure est insérée sur une broche guide, du bord postérieur de S2 jusqu'au coin antéro-supérieur de L5, suivie d'une mise en compression par un bouchon spécifique de diamètre plus important. Une fois la fixation effectuée, le dôme sacré est retirée et une fusion inter-somatique puis postérolatérale bilatérale est réalisée. En postopératoire, un corset hémiculotte est prescrit pendant 3 mois, suivi du port d'un lombostat pendant 3 mois.

**Résultats.** Une complication neurologique a été notée. Tous les patients ont été levés au cinquième jour postopératoire avec reprise de la marche. Au dernier recul, aucun des patients ne présente de symptômes douloureux résiduels. Les examens radiologiques montraient une amélioration de l'équilibre sagittale dans tous les cas.

**Conclusion.** Chez les enfants porteurs d'un spondylolisthésis de haut grade, le rachis lombaire s'adapte aux nouvelles conditions mécaniques. Le principal but du traitement est donc d'obtenir une fusion solide. Notre philosophie de traitement repose sur le concept d'une double instabilité : générale (responsable de la survenue du spondylolisthésis) et locorégionale (qu'il faut neutraliser par fusion circonférentielle). Les résultats à distance ont mis en évidence que la posture pré-opératoire n'avait pas un déterminisme purement mécanique chez l'enfant et chez l'adolescent mais que cette posture répondait aussi à une recherche d'antalgie.

### Keywords

- ◆ Spondylolisthesis
- ◆ High grade
- ◆ Circumferential fusion
- ◆ Child
- ◆ Spine
- ◆ Surgery

### Abstract

**Objective.** To report our experience in the management of high grade spondylolisthesis in children, using a custom trans-sacro-lumbar screw to obtain a circumferential fusion.

**Methods.** 7 patients with high grade spondy (Meyerding grade III and IV) were treated with this technique via a unique posterior approach. After dissection of S2 and S3 nerve roots, a custom-made screw is inserted on a K-wire from the posterior part of S2 to the antero-superior corner of L5, and compressed using a specifically designed cap. Once fixation done a removal of the sacral some is done and a circumferential fusion is performed. During postoperative course, a lumbar brace including a thigh is prescribed for 3 months and then a lombostat for 3 more months.

**Results.** One neurologic complication was noted. All patients were allowed to stand at day 5. At last follow-up, none of them had persistent back pain. Radiographic evaluations showed a postural adaptation in all the cases.

**Conclusion.** In children with high grade spondy, the lumbar spine shows adaption to the new mechanical conditions. The main goal of the surgery is therefore to obtain a solid fusion. Our philosophy is based on a double instability: a general instability (responsible for the slippage) and a regional instability (fixed by the arthrodesis). Mid-term results showed that preoperative posture was not only due to mechanical conditions but was also related to a strategy to reduce pain.

Le spondylolisthésis se définit comme un glissement d'une vertèbre par rapport à la vertèbre sous-jacente lié soit à une lyse isthmique, soit à une dysplasie de la *pars interarticularis*. Ces anomalies responsables d'une instabilité rachidienne siègent le plus fréquemment au niveau de la charnière lombo-sacrée chez l'enfant et l'adolescent.

Depuis leur description par Herbiniaux (1), la classification la plus communément utilisée pour décrire les spondylolisthésis

est celle de Meyerding (2), décrivant quatre grades en fonction de l'importance du déplacement. Les formes à grand déplacement (grade 3 et 4) de spondylolisthésis chez l'enfant (fig. 1) restent toutefois rares et font encore l'objet de controverses à l'heure actuelle au niveau thérapeutique. En effet, dans ces formes pouvant devenir symptomatiques, l'objectif est d'obtenir une arthrodèse lombo-sacrée définitive, mais les avis restent partagés sur la manière de l'obtenir.

### Correspondance :

Pr Gérard Bollini, Service de Chirurgie Orthopédique, Hôpital Timone Enfants  
264 rue St-Pierre, 13385 Marseille cedex 5  
E-mail : gerard.bollini@ap-hm.fr

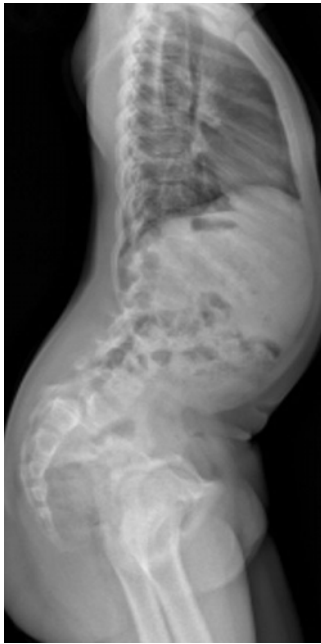


Figure 1. Spondylolisthesis de haut grade avec projection en avant du tronc et grande lordose thoraco-lombaire.  
*High grade spondy with anterior projection of the trunk and a big thoraco-lumbar lordosis.*

Figure 3. Schéma opératoire montrant la vis insérée après mobilisation des racines (gauche) et vue de profil montrant le trajet de la vis (droite) (Bollini et al. Maitrise orthopédique Avril 2010).  
*Operative drawing showing insertion of the screw after nerve roots mobilization (left) and lateral view showing the ideal positioning of the screw (right) (Bollini et al. Maitrise orthopédique Avril 2010).*

L'analyse biomécanique « classique » des spondylolisthésis de haut grade souligne l'existence d'une cyphose lombo-sacrée surmontée d'une lordose compensatrice. La déduction thérapeutique qui en découle est la nécessité, en cas d'indication thérapeutique, de corriger cette cyphose lombo-sacrée pour restaurer un équilibre sagittal correct. En fait, ces deux notions doivent être relativisées. L'analyse de l'équilibre sagittal de ces patients montrent effectivement une amorce de lordose sus-jacente à la cyphose lombo-sacrée mais cette lordose n'a pas l'importance que l'on pourrait attendre si elle n'était que compensatoire de la cyphose lombo-sacrée. Il existe donc, selon nous, une double instabilité dans ces spondylolisthésis à grand déplacement. La première est générale et est à l'origine du glissement en rapport avec une rupture isthmique ou un allongement des isthmes dans les formes dysplasiques. La deuxième est locorégionale, liée à une mobilité dans l'espace L5-S1, responsable des douleurs et des éventuelles radiculalgies, elles-mêmes à l'origine de la partie symptomatique de la grande lordose thoraco-lombaire avec projection en avant du tronc.

Nous rapportons dans ce travail une série continue de sept patients pris en charge pour spondylolisthésis de haut grade. L'ensemble de ces patients ont été opérés selon une technique originale avec réalisation d'un abord postérieur unique, réalisation d'une arthrodèse circonférentielle et fixation trans-sacrée par une vis sur mesure.

## Matériels et méthodes

### Critères d'inclusion

Les patients porteurs d'un SPL de haut grade ont été inclus dans ce travail prospectif entre 2004 et 2009. Le bilan préopératoire comprenait un examen clinique et notamment neurologique, un bilan radiologique complet avec réalisation de clichés du rachis entier de face et de profil, et d'une imagerie par résonance magnétique à la recherche de malformations associées du canal médullaire.

### Analyse radiographique

Sur l'ensemble des examens paracliniques réalisés, il était recherché une déformation du plateau supérieur de S1, une anomalie de l'arc postérieur de L5 ou une rupture isthmique.

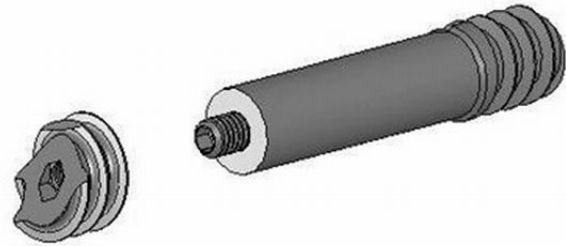
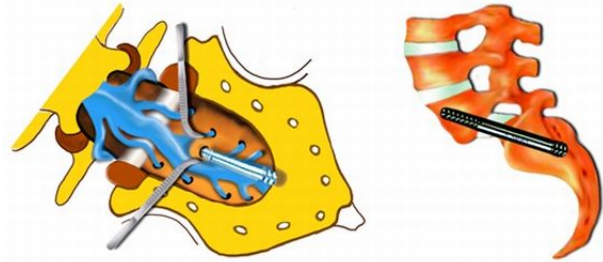


Figure 2. Vis sur mesure utilisée pour la fixation trans-sacro-lombaire.  
*Custom made screw used for trans-sacro-lumbar fixation.*



L'importance du glissement était également notée.

Une série de mesures radiographiques a été réalisée et comprenait :

- la mesure de l'angle de cyphose lombo-sacrée décrit par Boxall et al. (3) ;
- l'étude des paramètres de l'équilibre sagittal du rachis et de pelvis selon les paramètres de Duval-Beaupère et al. (4). La mesure de l'incidence pelvienne n'étant pas fiable en cas de déformation du plateau supérieur de S1 (5), les angles de néo-incidence pelvienne entre la perpendiculaire au milieu du plateau supérieur de L4 et L5 et le centre des têtes fémorales ont été mesurés.

Finalement, la longueur de la vis trans-sacro-lombaire était mesurée à partir des radiographies pré-opératoires en position debout.

### Procédure chirurgicale

Elle était systématiquement réalisée sous anesthésie générale, en décubitus ventral, avec des billots permettant la mise en lordose de la charnière lombo-sacrée et ainsi la réduction partielle du glissement lombo-sacré du fait du relâchement musculaire complet.

La procédure est schématiquement décomposée ainsi :

- abord médian centré sur l'espace L5-S1 et ouverture du canal rachidien avec réalisation de l'ablation de l'arc postérieur de L5 et de S1/S2 permettant de disséquer les racines L5 et S1 puis des racines S2 et S3 ;
- après exposition de la face postérieure de S2, une broche guide est mise en place, sous contrôle scopique, partant de la face postérieure de S2 pour arriver à l'angle antéro-supérieur de L5 ;
- méchage sur la broche guide, à l'aide d'une mèche canulée dédiée sous contrôle radiographique ;
- insertion de la vis canulée de 10 mm (Medicalex, Bagneux, France) mise en place sans son bouchon de compression (fig. 2 et 3) ;
- le dôme sacré est ensuite régularisé par l'utilisation d'un ciseau à frapper et une discectomie L5-S1 réalisée avec avivement du plateau inférieur de L5 et supérieur de S1 ;
- une fusion inter-somatique est ensuite réalisée par des greffons cortico-spongieux iliaques avec mise en compression de l'espace intervertébral par l'intermédiaire du bouchon de la vis d'un diamètre supérieur ;
- finalement, une greffe postéro-latérale bilatérale est effectuée afin d'obtenir une fusion circonférentielle.

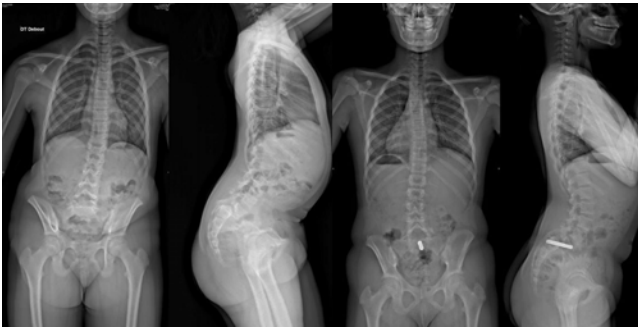


Figure 4. Modification sagittale obtenues après réalisation de l'arthrodèse circonférentielle. Le cliché postopératoire montre une disparition de l'hyperlordose et de la projection antérieure du tronc avec une correction de la gîte sagittale de T9 et une disparition du syndrome des ischio-jambiers (Bollini et al. OTSR Avril 2011).

*Sagittal changes after circumferential fusion. The postoperative X-ray is showing a regression of the hyperlordosis and a correction of the anterior translation of the trunk. A regression of the hips flexum is also noticed (Bollini et al. OTSR Avril 2011).*

## Période postopératoire

Une immobilisation systématique de la charnière lombosacrée était réalisée par un corset hémiculotte pour une période de 3 mois, suivie du port d'un lombostat pendant 3 mois.

Le bilan radiographique postopératoire vérifiait la bonne position de l'implant ainsi que le degré de correction du glissement lombo-sacré. L'ensemble des patients a ensuite été suivi avec des contrôles radiocliniques jusqu'à obtention d'une fusion radiographique. Une fois acquise, des clichés du rachis entier de face et de profil étaient réalisés afin de mesurer l'équilibre sagittal rachidien dans les nouvelles conditions d'équilibre.

## Résultats

### Données cliniques

Sept patients (cinq filles et deux garçons) ont été inclus avec un âge moyen de 14,5 ans (12 à 18 ans). Tous présentaient un spondylolisthésis sévère, de grade 3 de Meyerding pour trois patients et de grade 4 pour les autres. Lors de l'examen initial, tous avaient des lombalgies sévères et rebelles à un traitement médical bien conduit depuis plus de un an. Trois patients avaient par ailleurs une symptomatologie radiculaire à type de sciatique.

### Analyse radiographique pré-opératoire

L'analyse radiologique pré-opératoire retrouvait un angle moyen de cyphose lombo-sacrée de 73,6° (42 à 92°). La pente sacrée moyenne était de 40,3° (26-50°) et l'étude de la lordose lombaire montrait une longue lordose thoraco-lombaire (31,8° en moyenne) avec une perte de cyphose thoracique (14° en moyenne), une vertèbre neutre le plus souvent située en L1 et un point d'inflexion de courbure situé en T11. Quatre patients présentaient une lyse isthmique visible à la radiographie.

Dans tous les cas, sur l'imagerie par résonance magnétique, en position couchée le degré de glissement était systématiquement un grade inférieur à celui mesuré en position de fonction témoignant du caractère visco-élastique du disque lombosacré.

### Données opératoires

Sur l'ensemble des interventions, un cas de brèche durale pendant la dissection a nécessité une simple fermeture sans conséquences cliniques.

Par ailleurs, chez un patient une modification morphologique de la racine nerveuse S1 droite (de forme quadrilatère, adhérente à la lame et non réactive à la stimulation) a été à l'origine d'une non reconnaissance et d'une section de celle-ci, responsable d'un déficit neurologique postopératoire définitif. Il s'agissait d'une forme sévère de spondylolisthésis sans lyse isthmique et avec une déformation progressive des racines S1 bilatérales, aplatis sous forme de bandelettes du fait du glissement progressif vertébral.

La durée opératoire moyenne était de 285 minutes (240 à 370 min), avec des pertes sanguines faibles ne nécessitant aucune transfusion sanguine per ou postopératoire. La taille moyenne de la vis utilisée était de 69 mm (50 à 85 mm), dans les sept cas une immobilisation postopératoire par corset hémiculotte fut mise en place.

### Analyse radiographique postopératoire

Le bon positionnement de l'implant était vérifié dans tous les cas lors des examens radiographiques de contrôle précoce. Dans les sept cas la fusion radiologique a été acquise au sixième mois postopératoire. Une fois cette arthrodèse fusionnée, la cyphose lombo-sacrée était en moyenne de 75,5° (55 à 90°), la pente sacrée moyenne était de 41° (30 à 48°). Une harmonisation des courbures sagittales était également visible avec :

- une lombalisation de la lordose (42° en moyenne) et une vertèbre neutre le plus souvent en L2 et un point d'inflexion en T12-L1 ;
- la cyphose thoracique était également plus prononcée (25° en moyenne) ;
- il existait, par ailleurs, une régression du flessum de hanches (fig. 4) et une disparition de la translation en avant du tronc par rapport au bassin avec une modification moyenne de la gîte sagittale de T9 passant de -4° en pré-opératoire (-8 à 0) à 9° au dernier recul (4 à 12).

### Suivi postopératoire

Le premier lever était autorisé au cinquième jour postopératoire sous couvert du corset hémiculotte, qui a été porté pendant 3 mois en moyenne et relayé par un lombostat pour 3 mois supplémentaires. La durée moyenne d'hospitalisation était de 11 jours (6 à 16 jours).

Les patients ont été suivis régulièrement en consultation avec un recul moyen de 30 mois (12 à 44 mois).

Sur l'ensemble de la série, aucun cas d'infection n'a été noté.

Un patient a en revanche nécessité une reprise chirurgicale après acquisition de la fusion pour ablation du bouchon de la vis qui entraînait un conflit douloureux sous-cutané, sans qu'il ne soit constaté d'adhérences au contact de la vis et autorisant une manipulation durale sans difficulté.

Lors des évaluations cliniques de suivi et jusqu'au dernier recul, aucun des patients sauf un (section de la racine) n'avait de douleurs radiculaires ou de complications neurologiques.

## Discussion

La prise en charge chirurgicale optimale des spondylolisthésis de haut grade reste controversée et difficile. Il est également utile de rappeler que tous les SPL à grand déplacement ne sont pas d'indication chirurgicale comme rapporté par Harris et Weinstein (6) sur une série de 11 cas non opérés pour les-

quels 10 patients restent pas ou peu symptomatiques à 18 ans de recul.

Seuls les patients lombalgiques depuis plus de un an dont les douleurs s'atténuent sans disparaître complètement par le repos et le traitement médical mais dont les symptômes réapparaissent dès la reprise de la moindre activité physique et ceux qui ont des radiculalgies caractérisées sont pour nous des indications chirurgicales à discuter. Dans ces situations rares, la réalisation d'une arthrodèse lombosacrée doit être envisagée du fait du caractère obligatoirement lésé du disque intervertébral L5-S1 (7).

Le but du traitement est donc d'obtenir une arthrodèse limitée en niveaux et solide tout en restaurant un équilibre rachidien satisfaisant. Une fois l'indication chirurgicale établie, de nombreuses questions persistent sur la nécessité de réaliser une fusion instrumentée ou non, sur la réduction du glissement et son importance, ainsi que sur la décompression des éléments neurologiques.

Il existe, selon nous, une double instabilité dans les SPL de haut grade :

- l'instabilité générale. Elle est à l'origine du spondylolisthésis que celui-ci soit en rapport avec une rupture isthmique ou avec un allongement des isthmes (forme dysplasique). Il n'a pas pu être clairement démontré aujourd'hui quels étaient les facteurs mécaniques et/ou biologiques à l'origine du glissement en dehors de la constatation que les SPL intéressent plutôt des patients à forte incidence. Du fait du risque de glissement sus-jacent en cas de réduction totale du glissement et du risque neurologique du fait de la mise en tension des racines L5 lors de la réduction, il n'existe pas, selon nous, d'indication à corriger le glissement au-delà de ce que la position sur la table d'opération en relâchement musculaire complet autorise, au risque d'exposer le matériel à d'importantes contraintes avec un risque de rupture ;
- l'instabilité locorégionale. Elle est liée à une mobilité dans l'espace L5 S1 dont l'importance est variable mais constante, ce qui est bien mis en évidence dans notre série par l'évaluation du grade de Meyerding sur l'IRM couchée préopératoire, grade qui est systématiquement inférieur à celui mesuré sur les radiographies en charge. Cette mobilité est à l'origine des douleurs et des éventuelles radiculalgies elles-mêmes étant à l'origine de la partie symptomatique de la grande lordose thoraco-lombaire avec projection en avant du tronc qui disparaît après neutralisation de cette instabilité. Ce dernier point est également à l'origine de l'absence de réduction de la cyphose lombo-sacrée dans notre technique.
- Cette double instabilité est la base de notre traitement :
- décompression des éléments neurologiques. Dans notre expérience, la décompression du canal vertébral et des foramina L5-S1 a été systématique, par résection de l'arc postérieur et des éléments compressifs du foramen selon la technique de Gill (8). Du fait de l'instabilité majorée par la décompression, une arthrodèse doit donc y être systématiquement associée ;
- réduction du glissement et de la cyphose lombosacrée. Il convient de différencier la réduction du glissement et celle de la cyphose lombo-sacrée, cette dernière visant à horizontaliser le sacrum. Sur le plan biomécanique, une réduction partielle du glissement est obtenue par une déformation visco-élastique liée à la pesanteur et à la relative mobilité du disque L5-S1 chez l'enfant. La réduction de la cyphose lombo-sacrée ne peut se faire que par l'intermédiaire de manœuvres chirurgicales instrumentales due à l'incongruence des pièces osseuses et notamment la déformation en dôme du sacrum. Dans notre technique, une simple réduction par installation sur table opératoire suivie d'une résection du dôme sacré ont été utilisées avec comme principal avantage une relative sécurité neurologique.
- La réduction partielle par manœuvres externes peut être

progressive avec utilisation d'un hamac avec mise en lordose avant confection d'un plâtre fenêtré à travers lequel une arthrodèse lombo-sacrée non instrumentée est réalisée (9, 10).

- Les techniques de réduction instrumentales sont nombreuses (11-14), toujours associées à une décompression radiculaire, éventuellement une résection du dôme saillant sacré et pour certains un double bord postérieur et antérieur. Les résultats de ces différentes techniques sont globalement bons mais avec des risques d'atteintes neurologiques en postopératoire ;
- arthrodèse instrumentée. L'arthrodèse vertébrale peut être réalisée avec ou sans instrumentation, par voie postérieure, antérieure ou combinée. Nous utilisons comme seule instrumentation dans notre technique la vis de fixation trans-sacro-lombaire.
- L'arthrodèse non instrumentée (15) peut donner de bons résultats mais expose dans la littérature à un risque de 25 % de pseudarthroses, avec une progression fréquente du glissement. D'autres auteurs ont proposé la réalisation d'une arthrodèse intersomatique par voie postérieure permettant l'association d'une décompression et d'une bonne fusion mais avec des risques neurologiques estimés entre 4 et 5 % des cas (16, 17).

De nombreuses autres stratégies ont également été décrites témoignant de l'absence de consensus dans la prise en charge de cette pathologie (18-20).

## Conclusion

La procédure utilisée dans cette étude est dérivée de la technique de Smith et Bohlman (21) qui consiste à réaliser une arthrodèse circonférentielle avec enchevillement trans-sacré par voie postérieure unique qui donne de meilleurs résultats fonctionnels à long terme (22).

Il s'agit donc pour nous, non pas d'obtenir une réduction parfaite du glissement, mais de mettre le rachis en position favorable pour obtenir une fusion solide en limitant au maximum les risques neurologiques. Cette vis d'arthrodèse circonférentielle constitue donc pour nous une technique supplémentaire dans l'arsenal thérapeutique de la prise en charge des spondylolisthésis de haut grade. Chez ces patients jeunes avec un rachis souple, les mécanismes de compensation semblent s'effectuer par eux-mêmes une fois la fusion acquise. Elle présente l'avantage d'un abord unique pour la stabilisation rachidienne mais impose comme toute nouvelle technique une courbe d'apprentissage, les principales difficultés étant l'individualisation des racines étirées par le haut grade de déplacement et la nécessité de port d'une contention en postopératoire.

Conflit d'intérêt : aucun

## Références

1. Herbiniaux G. Traité sur divers accouchements laborieux et sur les polypes de la matrice. Bruxelles : De Boubiers ; 1782.
2. Meyerding HW. Spondylolisthesis. Surg Gynecol Obstet 1932 ; 54 : 371-7.
3. Boxall D, Bradford DS, Winter RB, Moe JH. Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. J Bone Joint Surg Am 1979 ; 61 : 479-95.
4. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. Ann Biomed En 1992 ; 20 : 451-62.
5. Blondel B, Jouve JL, Panuel M, Adalian P, Solari C, et al. Étude de la fiabilité des mesures de l'incidence pelvienne dans l'analyse de l'équilibre sagittal du bassin. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 2008 ; 94 : 321-6.
6. Harris IE, Weinstein SL. Long-term follow-up of patients with grade-III and IV spondylolisthesis. Treatment with and without

- posterior fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1987 ; 69 : 960-9.
7. Jouve JL. Spondylolyse et spondylolisthésis lombosacré de l'enfant et de l'adolescent. In : Conférences d'enseignement 2001 (Cahiers d'enseignement de la Sofcot n°78). Paris : Elsevier ed. ; 2001 : 171-92.
  8. Gill GC, Manning JG, White HL. Surgical treatment of spondylolisthesis without spine fusion: excision of the loose lamina with decompression of the nerve roots. *J Bone Joint Surg* 1955 ; 37 : 393-420.
  9. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 1997 ; 337 : 77-85.
  10. Vialle R, Miladi L, Wicart P, Dubousset J. Le traitement chirurgical du spondylolisthésis lombo-sacré à grand déplacement de l'enfant et de l'adolescent. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005 ; 91 : 5-14.
  11. Louis R, Tropiano P, Nazarian S. Traitement chirurgical des spondylolisthésis à grand déplacement par la technique de la réduction-fusion par double abord. *Rachis* 1990 ; 2 : 449-60.
  12. Jackson RP, McManus AC. The iliac buttress. A computed tomographic study of sacral anatomy. *Spine* 1993 ; 18 : 1318-28.
  13. Ilharreborde B, Fitoussi F, Morel E, Bensahel H, Penneçot GF, Mazda K. Jackson's intrasacral fixation in the management of high-grade isthmic spondylolisthesis. *J Pediatr Orthop B* 2007 ; 16 : 16-8.
  14. Hu SS, Bradford DS, Transfeldt EE, Cohen M. Reduction of high-grade spondylolisthesis using Edwards instrumentation. *Spine* 1996 ; 21 : 367-71.
  15. Grzegorzewski A, Kumar SJ. In situ posterolateral spine arthrodesis for grades III, IV, and V spondylolisthesis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 2000 ; 20 : 506-11.
  16. Cloward RB. Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1981 ; 154 : 74-82.
  17. Lerat JL, Rubini J, Vincent P, Besse JL, Moyen B. Résultat de l'arthrodèse lombaire intersomatique par voie postérieure dans le traitement du spondylolisthésis isthmique. A propos de 27 cas revus avec un recul de plus de 10 ans. *Rev Chir Orthop Rep Appar Mot* 1996 ; 82 : 475-89.
  18. Smith JA, Deviren V, Berven S, Kleinstueck F, Bradford DS. Clinical outcome of trans-sacral interbody fusion after partial reduction for high-grade l5-s1 spondylolisthesis. *Spine* 2001 ; 26 : 2227-34.
  19. Boachie-Adjei O, Do T, Rawlins BA. Partial lumbosacral kyphosis reduction, decompression, and posterior lumbosacral transfixation in high-grade isthmic spondylolisthesis: clinical and radiographic results in six patients. *Spine* 2002 ; 27 : 161-8.
  20. Ruf M, Koch H, Melcher RP, Harms J. Anatomic reduction and monosegmental fusion in high-grade developmental spondylolisthesis. *Spine* 2006 ; 31 : 269-74.
  21. Smith MD, Bohlman HH. Spondylolisthesis treated by a single-stage operation combining decompression with in situ posterolateral and anterior fusion. An analysis of eleven patients who had long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 1990 ; 72 : 415-21.
  22. Lamberg T, Remes V, Helenius I, Schlenzka D, Seitsalo S, Poussa M. Uninstrumented in situ fusion for high-grade childhood and adolescent isthmic spondylolisthesis: long-term outcome. *J Bone Joint Surg Am* 2007 ; 89 : 512-8.