



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2017

**THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE**

**Évaluation en scintigraphie osseuse TEMP/TDM des facteurs prédictifs de la
reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale rigide**

Présentée et soutenue publiquement le 09/10/2017 à 14h
Au Pôle Recherche
Par Florent HIVES

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Damien Huglo

Asseseurs :

Monsieur le Professeur Richard Assaker

Madame le Docteur Claude Hossein-Foucher

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Bruno Sutter

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations :

ALIF : anterior lumbar interbody fusion

ACDF : anterior cervical discectomy with fusion

BMP : protéines morphogéniques osseuses

HMDP : hydroxy-méthylène-bisphosphate

IAP : interarticulaire postérieur

IRM : imagerie par résonance magnétique

IS : intersomatique

OR : odds-ratio

PEEK : polyétherethercétone

PLIF : posterior lumbar interbody fusion

PL : postéro-latéral

TDM : tomodensitométrie

TEMP : tomographie par émission monophotonique

TLIF : transforaminal lumbar interbody fusion

SMA : surcharge mécanique adjacente

Sommaire :

1. Problématique :	12
1.1. Arthrodèse vertébrale :	15
1.1.1 Arthrodèse postéro-latérale sans ostéosynthèse :	16
1.1.2. Arthrodèse postéro-latérale avec ostéosynthèse :	16
1.1.3. Arthrodèse intersomatique :	16
1.1.4. Arthrodèse postéro-latérale et intersomatique (ou arthrodèse circonférentielle) :	17
1.1.5. Les discectomies cervicales antérieures avec fusion :	18
1.2. Les voies d'abord :	20
1.2.1. Abord postérieur (PLIF) :	21
1.2.2. Abord transforaminal (TLIF) :	22
1.2.3. Abord antérieur (ALIF) :	23
1.2.4 Chirurgie mini-invasive :	24
1.3. Le matériel :	25
1.3.1. Vis :	25
1.3.2. Cages intersomatiques :	28
1.3.2.1. Les métaux :	29
1.3.2.2. Le polyéthylène téréphthalate (PEEK) :	30
1.3.3. Tige / Plaque (ou dominos) :	32
1.3.4. Greffe osseuse / substitut osseux :	34
1.3.5. Inducteurs osseux : protéines morphogéniques osseuses (BMP) :	36
1.4. Indications opératoires :	37
1.4.1. Quels patients doivent bénéficier de l'arthrodèse ?	37
1.4.2. Les indications :	39
1.4.2.1. Spondylolisthésis :	39
1.4.2.2. Scoliose :	46
1.4.2.3. Fracture :	51
1.4.2.4. Canal lombaire étroit ou rétréci :	55
1.4.2.5. Radiculopathie :	56
1.4.3. Examens d'imagerie préopératoires :	56
1.5. Complications post-opératoires :	59
1.5.1. Pseudarthrose :	59
1.5.2. Surcharge mécanique adjacente :	60
1.5.3. La migration du matériel intersomatique :	61
1.5.4. Infection :	62

1.5.5. Lésions nerveuses :	63
1.5.6. Brèches dures :	63
1.5.7. Lésions vasculaires :	64
1.5.8 Le syndrome douloureux régional complexe (SDRC) :	65
1.6. Scintigraphie osseuse :	66
1.6.1. État de la littérature :	67
1.6.1.1. Scintigraphie osseuse planaire :	67
1.6.1.2. Scintigraphie osseuse TEMP :	68
1.6.1.3. Scintigraphie osseuse TEMP/TDM :	70
2. Matériels et méthodes :	73
2.1. Population :	73
2.2. Scintigraphie osseuse :	73
2.3. Critères d'interprétation :	74
2.3.1. Sur le plan scintigraphique :	74
2.3.2. Sur le plan scanographique :	75
2.4. Groupes :	76
2.5. Statistiques :	77
3. Résultats :	78
3.1. Population :	78
3.2. Les facteurs prédictifs de la reprise chirurgicale :	79
3.2.1. Évaluation de la fusion postéro-latérale :	81
3.2.2. Évaluation des espaces intersomatiques :	85
3.2.3. Évaluation des hyperfixations au contact du matériel et des bris de matériel :	89
3.2.4. Évaluation des chambres de mobilisation :	89
3.2.5. Évaluation des surcharges mécaniques sus et sous-jacentes :	93
3.2.6. Ablation du matériel :	95
3.2.7. Rapport des côtes des critères d'interprétation :	99
3.3. Corrélation entre les critères d'interprétations :	103
3.4. Effet du délai post-opératoire sur les critères d'interprétation :	107
4. Cas Cliniques :	111
4.1. Cas clinique 1 :	111
4.2. Cas clinique 2 :	112
4.3. Cas clinique 3 :	113
4.4. Cas clinique 4 :	114
5. Discussion :	115
5.1. Pseudarthrose et reprise chirurgicale :	115

5.2. Association des critères d'interprétations :	118
5.3. Surcharges mécaniques adjacentes :	120
5.4. Ablation du matériel :	121
5.5. Apport du TDM :	122
5.6. Critères d'interprétation selon le délai post-opératoire de la scintigraphie :	123
5.7. Limites de l'étude :	125
6. Conclusion :	127
Bibliographie.....	127

1. Problématique :

L'arthrodèse vertébrale est une technique chirurgicale dont l'objectif est la fusion définitive d'au moins deux corps vertébraux, le plus souvent à l'aide d'une ostéosynthèse (antérieure et/ou postéro-latérale (PL)) associée à une greffe osseuse. Initialement indiquée pour stabiliser le rachis dans le cadre de tuberculose osseuse rachidienne, de traumatisme ou de tumeur, son indication principale est désormais est la prise en charge des discopathies dégénératives dans un contexte de trouble statique (scoliose) ou de spondylolisthésis. L'imagerie est essentielle dans la prise en charge des patients ; son intérêt est pré- et post-chirurgical.

Avant l'intervention, les techniques d'imageries permettent de diagnostiquer l'origine des douleurs et d'éventuellement poser l'indication chirurgicale. L'imagerie conventionnelle par radiographie, tomodensitométrie (TDM) et imagerie par résonance magnétique (IRM) ont prouvé leur efficacité et suffisent, en association à la clinique, à sélectionner les patients qui pourraient bénéficier d'une prise en charge chirurgicale.

Après l'intervention, deux types de complications peuvent survenir : les complications aiguës et chroniques. Les complications aiguës peuvent justifier une réintervention rapide ; l'examen clinique, les radiographies, la TDM et/ou l'IRM suffisent pour décider de l'intérêt de la reprise chirurgicale. Les complications chroniques sont fréquentes. Entre 10 et 30% des patients présentent des douleurs post-opératoires chroniques (1–3). Ces douleurs peuvent être la conséquence entre autre d'un échec de la fusion (pseudarthrose), d'une surcharge mécanique adjacente (SMA), d'une sténose résiduelle ou d'une radiculopathie (4–9). En raison des artefacts liés au matériel d'ostéosynthèse, dans une moindre mesure des possibles

remaniements dégénératifs multi-étagés parfois importants et du retard radio-clinique, l'IRM et la TDM n'ont pas la même efficacité qu'en préopératoire (9,10).

La scintigraphie osseuse au bisphosphonate (hydroxy-méthylène-bisphosphonate (HMDP) ou méthylène-bisphosphonate (MDP)), imagerie fonctionnelle, ne possède pas les contraintes de l'imagerie conventionnelle (11). En effet la scintigraphie osseuse n'est pas sensible aux artefacts métalliques ; elle permet de localiser les sites présentant une hyperactivité ostéoblastique et ostéoclastique, possible reflet d'une fracture récente ou semi-récente, d'une absence de fusion en cours de consolidation, de remaniements dégénératifs ou de matériel mobile au contact. Sa précision anatomique peut être nettement améliorée par une acquisition tomographique couplée à une TDM (11,12). En effet, sur les caméras dites « hybrides », il est possible de coupler l'imagerie fonctionnelle à l'imagerie morphologique permettant une augmentation majeure de l'information donnée par l'examen.

Parmi les possibilités thérapeutiques des douleurs chroniques post-arthrodèse, il est possible d'effectuer une reprise chirurgicale afin de changer le matériel et/ou d'étendre l'arthrodèse. Avant d'intervenir, il convient pour le chirurgien de comprendre l'origine des douleurs afin d'intervenir efficacement. Mais, la pseudarthrose comme la SMA peuvent être asymptomatiques (7–9,13). De plus, les différents examens d'imagerie, dont la radiographie dynamique et la TDM, ne sont pas optimales pour l'évaluation de l'arthrodèse vertébrale et des douleurs post-chirurgicales chroniques (14). C'est pourquoi, l'évaluation de la douleur post-arthrodèse vertébrale est basée sur la clinique, dont son évolution, et sur plusieurs examens paracliniques, dont possiblement la scintigraphie osseuse.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les différentes anomalies observables sur la scintigraphie osseuse et leur impact dans le choix du chirurgien de réintervenir chirurgicalement. Les objectifs secondaires dans cette étude observationnelle sont de déterminer les associations entre ces critères d'interprétations TEMP et TDM, et leur délai de fixation selon le délai post-chirurgical.

1.1. Arthrodèse vertébrale :

L'arthrodèse est la fusion d'une articulation dans le but d'éliminer sa mobilité. Pour le rachis, la fusion peut être initiée par l'arthrodèse intersomatique (IS), ou postéro-latérale (PL) (des massifs articulaires postérieurs).

Les arthrodèses dynamiques (prothèses discales, cales interépineuses et les techniques apparentées) qui n'ont pas pour objectif d'obtenir la fusion entre les vertèbres, ne sont pas des matériels d'arthrodèse à proprement parler, ils ne seront donc pas traités dans cette étude.

Le nombre de fusion vertébrale est en augmentation ces dernières années. De récentes études ont mis en évidence une augmentation des arthrodèses vertébrales. Aux États-Unis, le nombre d'arthrodèse vertébrale est passé de 0,3/1000 en 1992 à 1,1/1000 en 2002 ; dans le même temps, le nombre de discectomies (traitement des hernies discales) et de laminectomies (traitement du canal lombaire étroit) était globalement stable (15). Cette tendance est confirmée outre-Atlantique dans une seconde étude entre 1998 et 2008 avec une augmentation de 137% d'arthrodèse vertébrale par an (16).

Une évaluation effectuée par la Haute Autorité de Santé (HAS) sur les pratiques françaises des poses d'implants rachidiens (cages IS, coussinets et cales interépineuses) a mis en évidence une augmentation de 27% du volume de pose entre 2009 et 2011 (26855 dont 21876 cages IS en 2009 vs 34025 dont 28132 cages IS en 2011) et de 30% des facturations (de 11 à 14 millions d'euros) (17).

Les techniques d'arthrodèse vertébrale sont nombreuses et il n'existe pas de consensus ; son choix est multifactoriel : il dépend principalement du chirurgien, de l'indication et de la statique rachidienne. Il existe deux grands types d'arthrodèses :

antérieure (matériel IS) et postéro-latérale (matériel dans les massifs articulaires postérieurs (PL)). Ces deux techniques peuvent être utilisées seules ou combinées. La fusion IS associée à la fusion PL est appelée arthrodèse circonférentielle.

1.1.1 Arthrodèse postéro-latérale sans ostéosynthèse :

Cette technique consiste en un avidement des apophyses transverses, puis la mise en place d'un greffon osseux. Le taux de complication est faible. Ses indications comprennent en particulier les spondylolisthésis de bas grade, notamment chez l'adolescent. Le taux de pseudarthrose est relativement élevé chez l'adulte, c'est pourquoi son utilisation est marginale (4).

1.1.2. Arthrodèse postéro-latérale avec ostéosynthèse :

L'ostéosynthèse correspond au maintien de deux structures osseuses par du matériel (vis pédiculaires, crochets, tiges). Comparativement à l'arthrodèse sans ostéosynthèse, le taux de complication est plus important. Mais cette technique permet une rigidification immédiate et diminue le taux de pseudarthrose.

En cas d'arthrodèse PL, seul l'abord chirurgical postérieur peut être réalisé.

1.1.3. Arthrodèse intersomatique :

L'arthrodèse IS est la fusion intervertébrale par la fusion des corps vertébraux.

A l'étage cervical et thoracique, seul un abord antérieur peut être envisagé. L'abord postérieur et latéral ne peut être envisagé qu'à l'étage lombaire, c'est-à-dire en dessous du cordon médullaire.

Les méthodes d'abord chirurgicales sont nombreuses : l'abord postérieur (PLIF ou posterior lumbar interbody fusion), antérieur (ALIF ou anterior lumbar interbody fusion), transforaminal (TLIF ou transforaminal lumbar interbody fusion) et latéral rétropéritonéal transpsoas (DLIF / LLIF ou direct- extreme lateral interbody fusion).

Les indications principales de l'arthrodèse IS sont les : -dégénérescences scoliotiques afin de restaurer l'équilibre sagittal et coronal et de faciliter la fusion -les spondylolisthésis pour diminuer la compression foraminale et rétablir l'équilibre sagittal. Enfin elle peut être envisagée dans la prise en charge de la hernie discale récurrente.

1.1.4. Arthrodèse postéro-latérale et intersomatique (ou arthrodèse circonférentielle) :

L'arthrodèse circonférentielle est l'association d'une arthrodèse PL et IS. Le taux de fusion serait plus important avec l'arthrodèse circonférentielle qu'avec l'arthrodèse PL seule. Lors d'une méta-analyse en 2009 comprenant 4 études comparant l'arthrodèse PL avec ostéosynthèse à l'arthrodèse circonférentielle dans les douleurs chroniques lombaires, Han *et al.* ont montré que les deux techniques améliorent cliniquement les douleurs lombaires ; l'arthrodèse circonférentielle permet un taux de fusion plus important (OR = 2,11 [1,06-4,19]), moins de réintervention (OR = 0,44 [0,25-0,77]), mais un taux plus important de complications (OR = 1,89 [1,14-3,14]) (18).

1.1.5. Les discectomies cervicales antérieures avec fusion :

Autrement appelés ACDF (pour *anterior cervical discectomy with fusion*), les discectomies cervicales antérieures avec fusion sont utilisées pour la prise en charge des discopathies dégénératives cervicales.

D'après les recommandations américaines (American Association of Neurological Surgeons en 2009 et North American Spine Society en 2010) (19), il n'y a pas une plus grande efficacité à long terme de l'ACDF comparativement à la discectomie cervicale antérieure sans fusion (ACD). Mais la fusion accélère la réduction des douleurs du cou et du bras, et évite la cyphose post-opératoire (20,21).

Toute pathologie avec atteinte de l'espace intervertébral cervical peut justifier une ACDF ; ses indications principales sont (19,22):

- les hernies discales
- les spondylolyses
- l'ossification du ligament longitudinal postérieur
- les traumatismes (subluxation, luxation et fracture)
- les tumeurs primitives ou secondaires
- les spondylodiscites
- les pathologies inflammatoires dont les polyarthrites rhumatoïdes.

En revanche, cette technique ne doit pas être utilisée si la compression des structures nerveuses est principalement postérieure, ou en cas de traumatisme avec lésions des éléments postérieurs vertébraux (22).

Les trois temps de la prise en charge chirurgicale sont : la décompression nerveuse, le rétablissement de la lordose cervicale puis la stabilisation rachidienne.

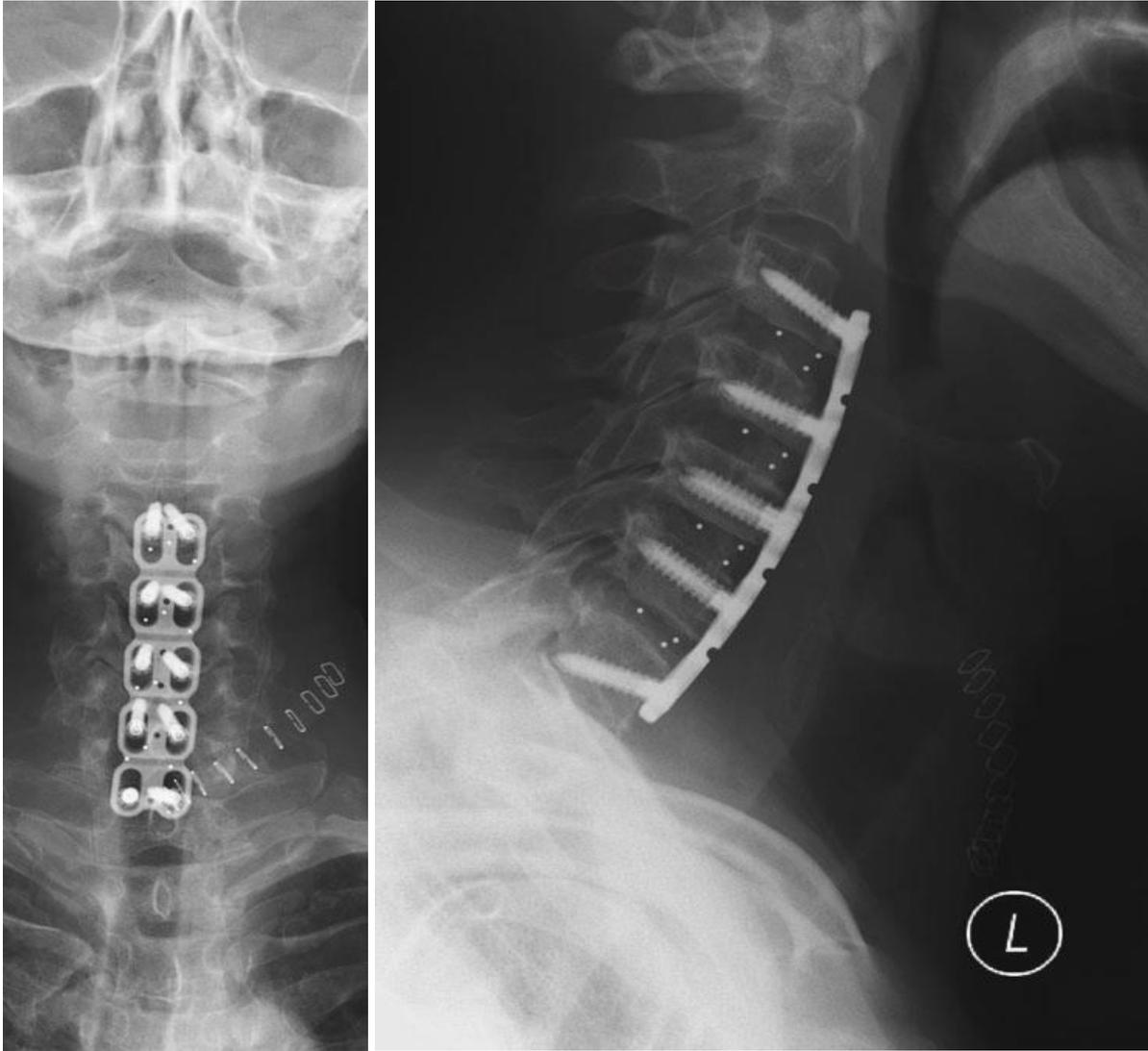


Figure 1 : Radiographies de face et profil d'une ACDF C3-C7 avec plaque (19).

1.2. Les voies d'abord :

Quand l'indication d'une arthrodeuse vertébrale avec ostéosynthèse est posée, deux types d'abord classiques peuvent être envisagés : antérieur et postérieur. Ce choix dépend principalement de l'étage opéré, de l'indication, de l'anatomie rachidienne. Les deux abords peuvent être combinés lors de la même intervention, ou être réalisés en deux temps à quelques semaines d'intervalle.

A l'étage thoracique et lombaire, l'abord postérieur est le plus utilisé en raison de l'absence d'organe viscéral sur le trajet chirurgical. En revanche, en cas de reprise, les remaniements fibreux peuvent compliquer l'intervention, et un abord antérieur est le plus souvent envisagé.

La voie antérieure est la plus utilisée concernant le rachis cervical. Elle possède l'avantage de ne pas léser les muscles paravertébraux. A l'étage lombaire, une intervention par coelioscopie peut être réalisée.

L'abord antérieur respecte la musculature postérieure, elle est plus « anatomique », permet une meilleure correction de l'équilibre sagittale par la pose de cage plus lordosante. Les risques vasculaire et nerveux sont rares, mais sont potentiellement graves. C'est pourquoi cette prise en charge nécessite un plateau technique adapté, avec notamment un angioscanner disponible. Les suites post-opératoires sont également plus lourdes et plus longues.

L'abord postérieur a comme principaux avantages de moindres complications et de possibles libérations nerveuses, mais, en raison de la désinsertion des muscles paravertébraux postérieurs, un taux plus important de douleurs post-opératoires et possiblement des difficultés posturales. Les montages longs sont possibles uniquement par voie postérieure.

1.2.1. Abord postérieur (PLIF) :

En 1953, Cloward fut le premier à décrire les PLIF. Ces résultats fut très encourageants, avec une fusion réussie chez plus de 85% des 321 patients, et une faible taux de complication (23).

Cette voie est la plus utilisée à l'étage lombaire. Elle consiste en une laminectomie partielle suivie d'une discectomie. Une cage discale cernée de greffons osseux ou de substituts est ensuite positionnée dans l'espace IS libéré. Une instrumentation postérieure peut être associée afin de rigidifier immédiatement le rachis ; elle correspond le plus souvent à un vissage pédiculaire.

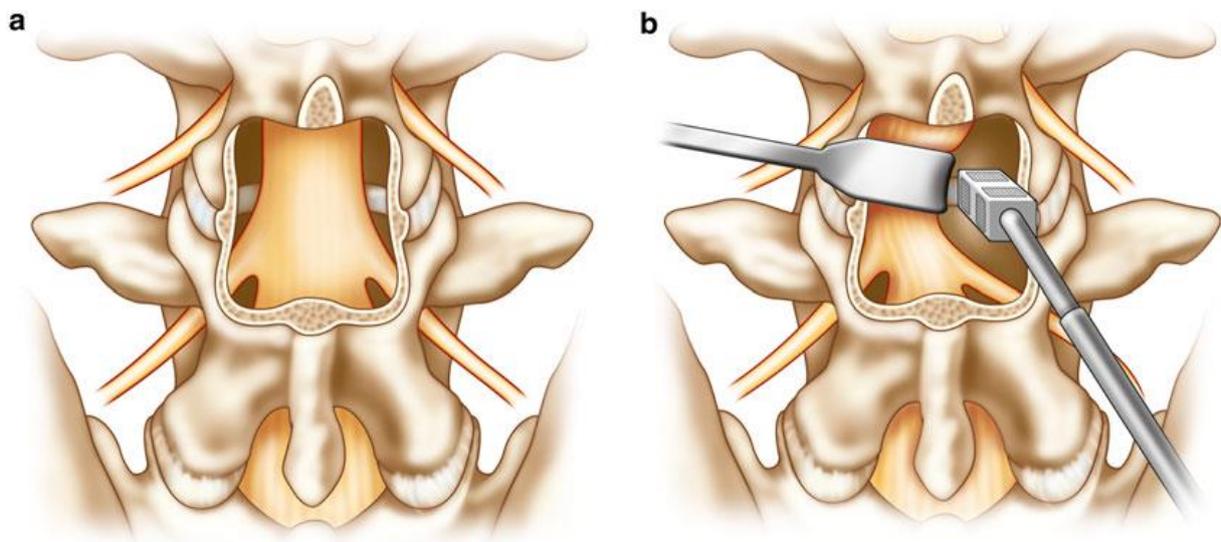


Figure 2 : Vue postérieure d'un exemple de PLIF L4-L5. Le premier temps est la réalisation d'une laminectomie (a). Dans un second temps, le sac dural est rétracté, maintenu, puis le chirurgien réalise une discectomie complète. Puis, une cage avec possible greffons osseux est mise en place (b) (24).

1.2.2. Abord transforaminal (TLIF) :

La procédure opératoire est proche de la PLIF, mais la voie d'abord est plus latérale. Cette technique préserve les structures osseuses postéromédianes, mais une résection des articulations inter-apophysaires postérieures (IAP) doit être réalisée pour avoir accès à l'espace discal. Ensuite, les cages IS, le plus souvent en forme de croissant, sont placées au travers des trous de conjugaison.

Cette approche peut être unilatérale.

En raison de la résection des IAP, cette technique est le plus souvent combinée à une instrumentation par vis (25).

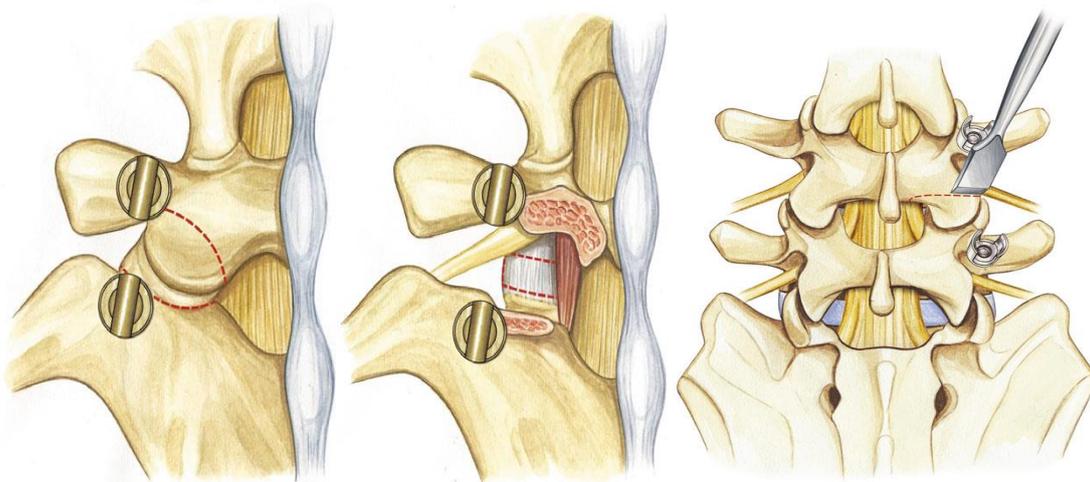


Figure 3 : Illustrations d'une TLIF, avant (a et c) et après la résection des IAP (b) (25).

Comparativement à la PLIF, la rétraction du sac dural et les remaniements fibreux post-chirurgicaux sont moins importants. En revanche, une décompression foraminale controlatérale à l'abord est complexe. Contrairement à la PLIF, seule une cage peut être posée ; le risque de migration de la cage est plus grand (25).

1.2.3. Abord antérieur (ALIF) :

Cette procédure varie selon l'étage opéré. En effet les obstacles situés en avant du rachis cervical ne seront pas ceux rencontrés en avant du rachis lombaire. Classiquement, l'intervention sur le rachis cervicale correspond à une discectomie cervicales antérieures avec fusion.

Elle possède les avantages d'accéder directement au disque intervertébral, de préserver les structures musculaires postérieures et de diminuer le risque de lésion nerveuse lors de l'intervention.

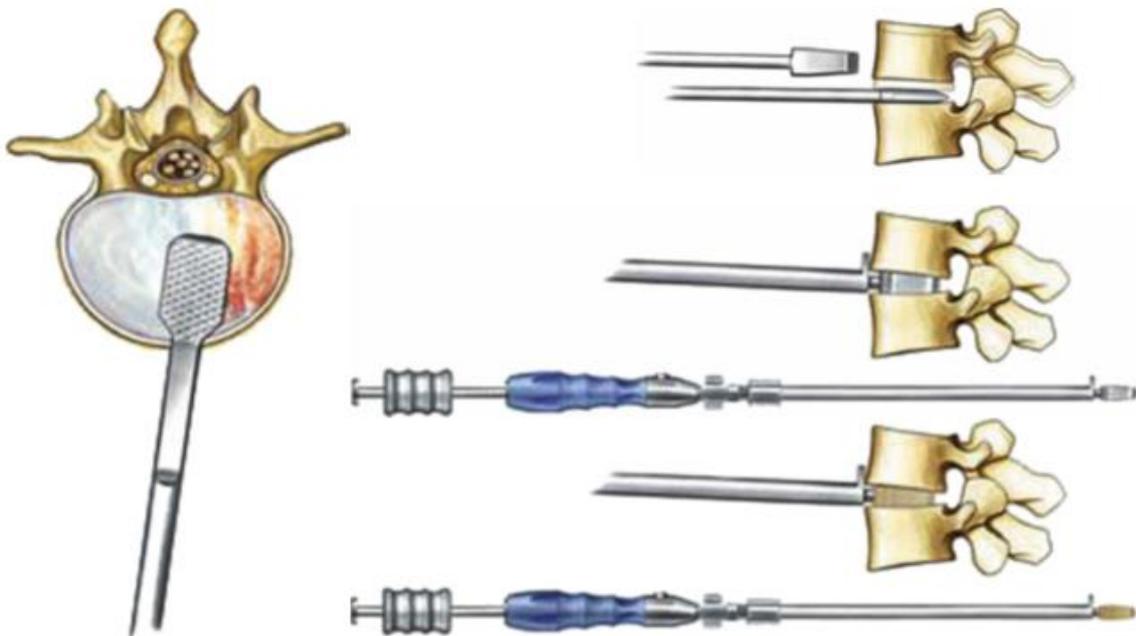


Figure 4 : Illustrations d'une pose de cage IS par ALIF. A : discectomie en utilisant curettes et lames. B : mise en place d'un écarteur (d'abord horizontal puis vertical par rotation) ; C : détermination de la taille de l'implant IS ; D : mise en place de la cage IS (26).

1.2.4 Chirurgie mini-invasive :

Depuis le milieu des années 1990, la chirurgie mini-invasive s'est développée sur la base des techniques endoscopiques chirurgicales, avec pour objectifs une diminution des douleurs et de la morbidité post-opératoires. L'abord est latéral et antérieur. Ses indications principales sont les discopathies (secondaire ou non à un spondylolisthésis) et les reconstructions vertébrales (post-fracturaire traumatique ou néoplasique). En revanche, elle ne peut être envisagée en cas d'intervention à risque hémorragique important ou en cas de déformation sévère (27,28).

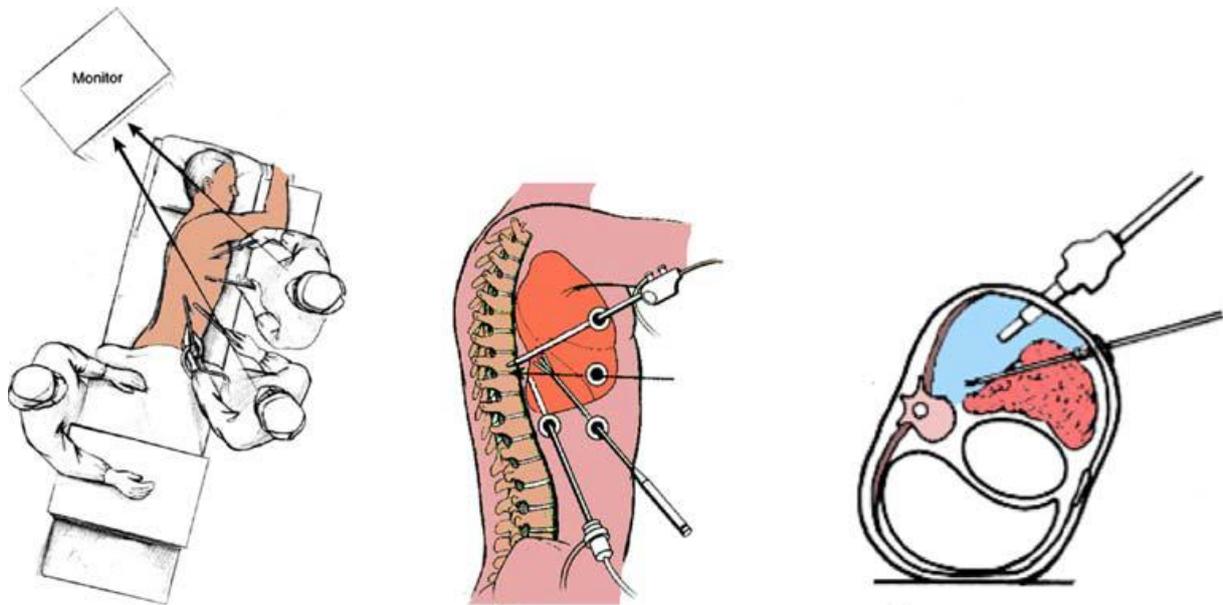


Figure 5 : Illustrations d'un abord latéral pour une mini-TLIF (27)

Dans une étude rétrospective, Zairi *et al.* ont montré que, tout en diminuant la morbidité per-opératoire, les conséquences clinique et radiologique à deux ans n'étaient pas différentes entre la TLIF et la mini-TLIF pour la prise en charge des spondylolisthésis de bas grade et des discopathies dégénératives (29).

1.3. Le matériel :

1.3.1. Vis :

Les vis sont fixées dans les pédicules et les corps vertébraux. Selon le type d'opération leur localisation sera différente. Le plus souvent, lors de l'abord postérieur, les vis traverseront les pédicules vertébraux. Lors de l'abord antérieur, les vis seront directement dans le corps vertébral.

Les vis pédiculaires sont composées de deux parties : une partie filetée (conique et cylindrique) introduite dans la structure osseuse, et à l'extrémité un système de connexion pour l'assemblage avec la tige et la plaque.

Les vis transpédiculaires doivent avoir un trajet strictement intrapédiculaire, avec une extrémité situé environ au niveau du tiers antérieur du corps vertébral, sans passage de la ligne médiane, sans rupture de la corticale antérieure (à l'exception du sacrum où elle peut être recherchée afin de s'assurer de l'ancrage maximal) (10,30).

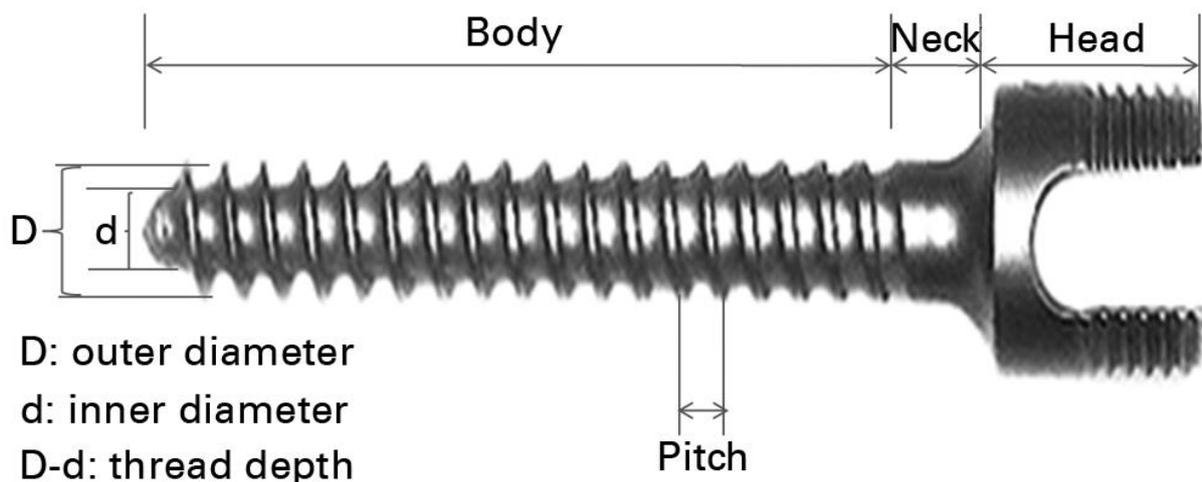


Figure 6 : Photographie d'une vis pédiculaire mono-axiale: la mèche correspondant à la partie filetée (Body), et la tête permettant la connexion avec la tige (Head) (31).

Les vis polyaxiales se distinguent des vis monoaxiales par la mobilité de l'étrier de fixation de la tige.



Figure 7 : Photographie d'une vis polyaxiale (PC 002, Parshwa corporation™).

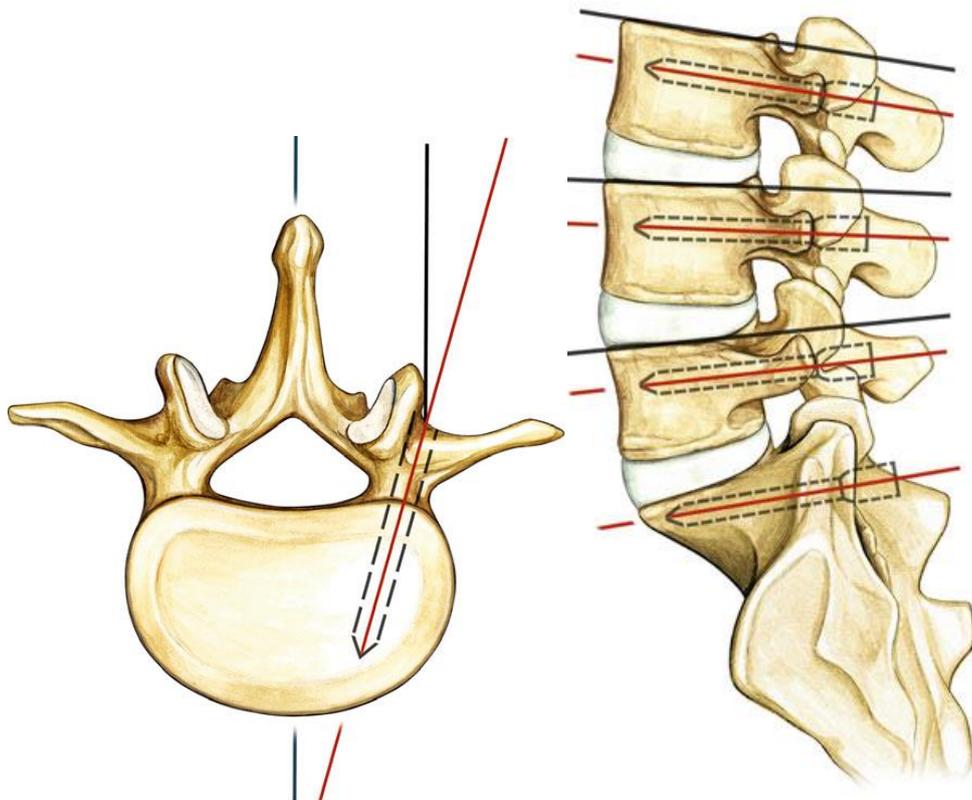


Figure 8 : Illustration du trajet des vis pédiculaires en vue axiale (a) et sagittale (b) (32).

A l'étage thoracique, deux façons de placer les vis sont possibles : la technique anatomique passant par le massif articulaire supérieur, le pédicule et le corps vertébral vers le bas et l'avant, nécessitant une vis poly-axiale ; et la technique directe passant directement dans le pédicule puis le corps vertébral de manière horizontale (33).

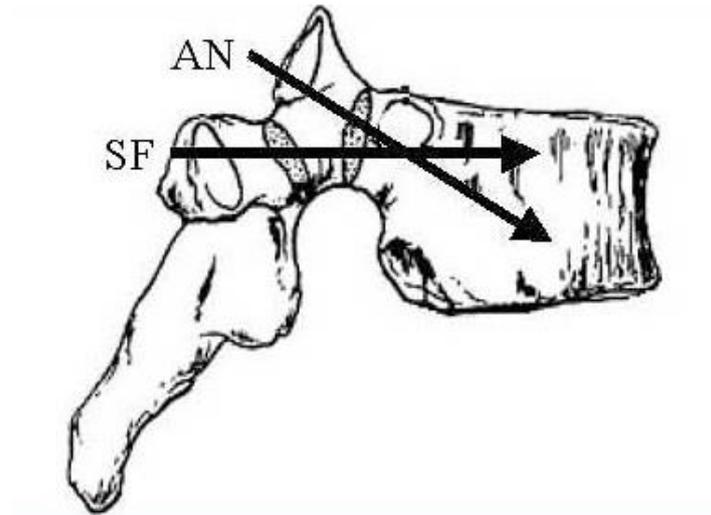


Figure 9 : Illustration des techniques anatomique (AN pour anatomical) et directe (SF pour straight-forward) de pose des vis pédiculaires à l'étage thoracique (33).

La partie la plus fragile de la vis, et donc la plus fréquemment impliquée dans les bris de matériel, sont le col dans les vis monoaxiales (34) et la partie articulée des vis polyaxiales (35).

Plus rarement, les vis peuvent être installées en translaminaire, sans s'étendre jusqu'au corps vertébral. En 1984, Margerl *et al.* ont décrit pour la première fois, la variante de la technique utilisée aujourd'hui : la vis traversant la lame avant les massifs articulaires, vers l'avant, le bas et l'extérieur (36). Les résultats de cette procédure sont bons, mais présente comme risque principal des lésions nerveuses car l'extrémité de la vis se situe dans le foramen intervertébral (37,38).

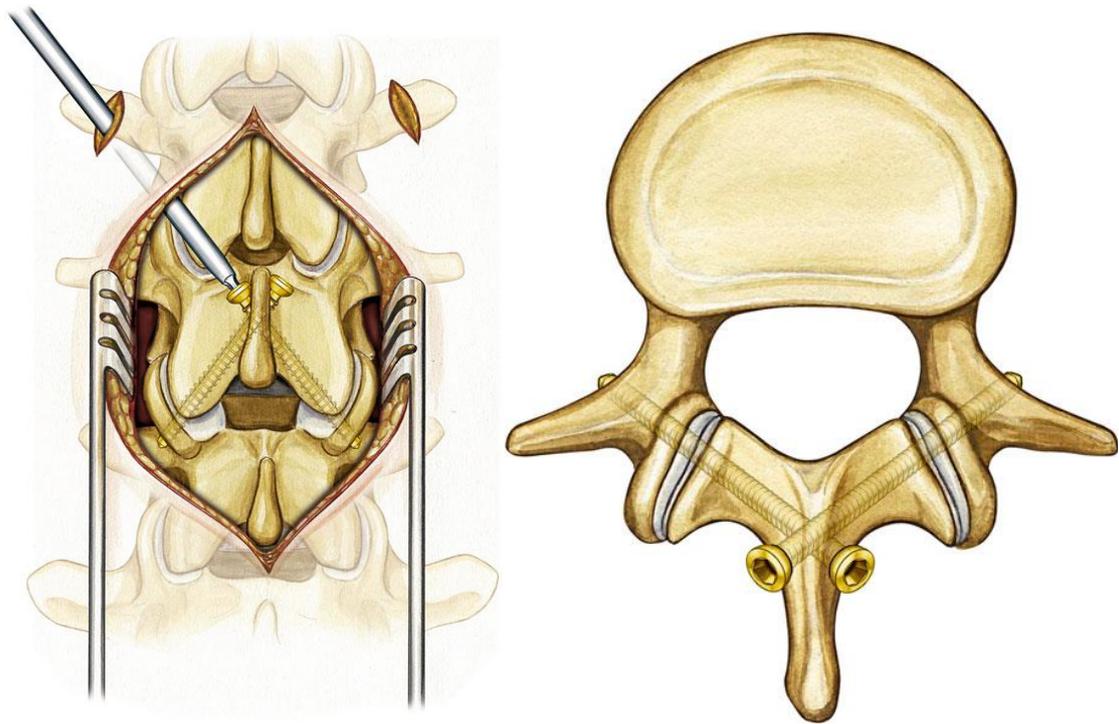


Figure 10 : Illustrations d'une vue postérieure et axiale d'une arthrodesè lombaire par des vis translamaires.

1.3.2. Cages intersomatiques :

Le rôle de la cage est de conserver la hauteur discale et d'assurer la stabilité après la discectomie, dans l'attente de la fusion vertébrale par la greffe. Elle permet de conserver ou de rétablir la lordose ou cyphose selon l'étage.

Le choix de la cage dépend principalement du chirurgien. De nombreux matériels ont été utilisés pour faciliter la fusion IS. On distingue 3 grands types d'implants IS : les métaux, les cages en composite de polymère (PEEK, PEKK, PEKEKK), et les cages en céramique. Les deux principaux matériaux de cages utilisés ces dernières années sont les cages en titane et en PEEK.

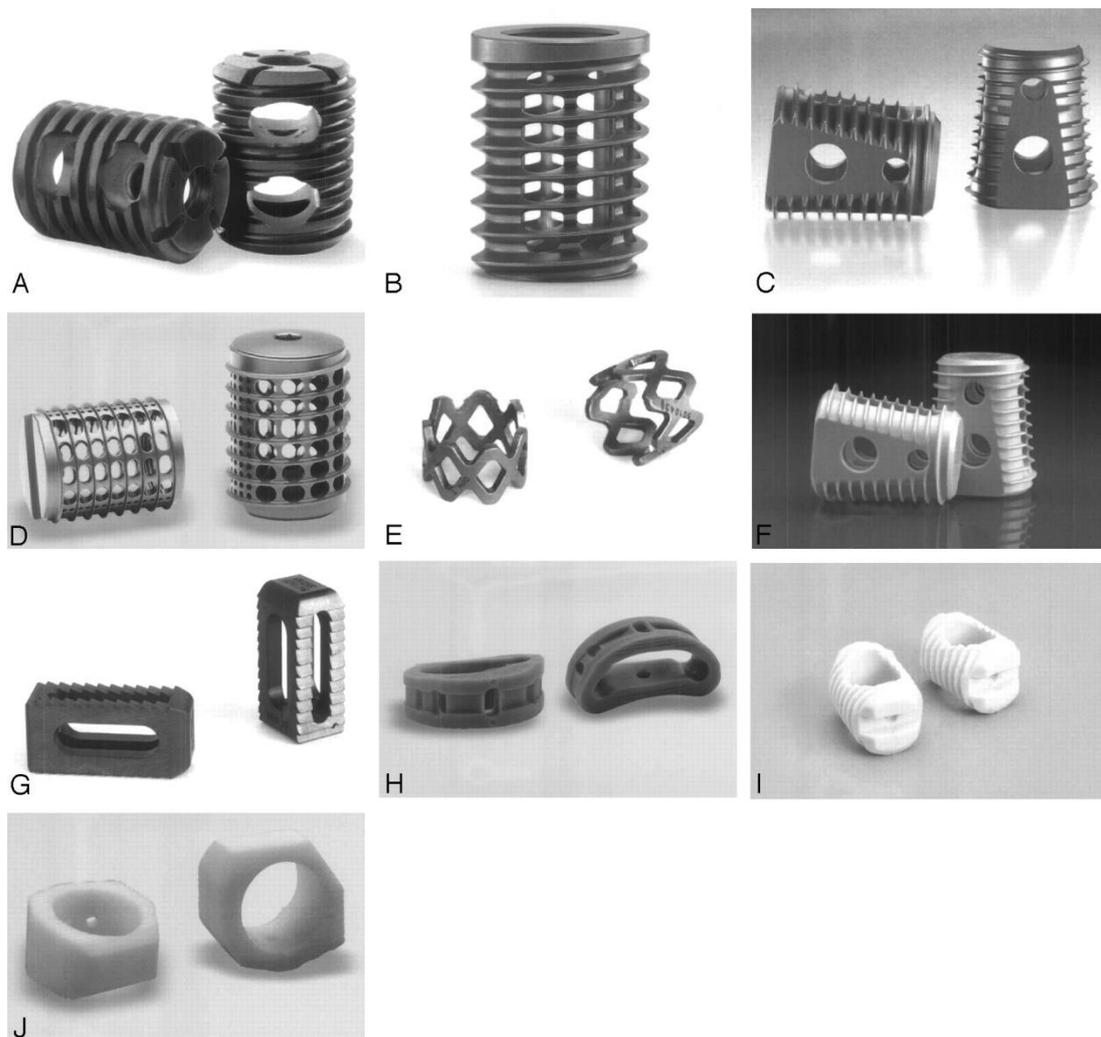


Figure 11 : Exemples des différents types de cages. A: cage BAK; B: Ray threaded fusion cage; C: LT-CAGE; D: INTER FIX device; E: Harms cage; F: cage PEEK; G: JAGUAR I/F CAGE (Brantigan); H: BOOMERANG; I: Bone Dowel; J: Femoral ring (39).

1.3.2.1. Les métaux :

Ils composent la majorité des implants utilisés dans l'instrumentation rachidienne : vis, tiges, crochets, les remplacements de corps vertébraux...

-Acier inoxydable :

L'acier inoxydable (fer, carbone, chrome, nickel) est utilisé pour les plaques et les vis, mais tend à être remplacé par les implants en titane en raison de leur meilleure biocompatibilité. Leur utilisation reste majoritaire car leur coût est bien inférieur aux implants en titane.

-Alliage de cobalt et chrome :

Les alliages de cobalt et chrome (CoNiCrMo ou CoCrMo) sont résistants et de longue durée (le chrome est anticorrosif, et le molybdène augmente la force et la résistance). C'est pourquoi ils sont utilisés dans la stabilisation des fractures et les remplacements articulaires. Mais les alliages à base nickel présentent un risque de toxicité.

-Alliages en titanes ou titanes pures :

Le film d'oxyde entourant l'implant lui confère une meilleure biocompatibilité et une plus grande résistance que les autres implants métalliques. Car ils sont moins résistants à l'usure que les alliages de cobalt et de chrome, ils ne sont pas ou peu utilisés comme matériel porteur. La surface des cages peut être modifiée afin de faciliter leur ostéointégration (40). Enfin, ils possèdent comme avantage de produire moins d'artéfact en TDM et en IRM.

1.3.2.2. Le polyétherethercétone (PEEK) :

L'utilisation des cages PEEK est plus récente que les cages en titane. Elles ont été introduites durant les années 1990 comme alternative avec comme avantages d'être radio-transparente et d'avoir une élasticité proche de celle de l'os, évitant les phénomènes de stress-shielding (41).

Dans une méta-analyse publiée en 2017 comparant les cages en titane et en PEEK comprenant 6 études et 410 patients (228 patients avec cages en titane, 182

patients avec cage PEEK), les taux de fusion n'étaient pas significativement différents (82,5% pour le groupe titanium et 89,3% pour le groupe PEEK). Seul le risque d'effondrement des plateaux vertébraux était plus significativement plus important avec les cages titanium (22% contre 10,8%, $p=0,015$) (42).



Figure 12 : Photographies d'une cage IS PEEK et d'une cage en titane (40).

La cage est remplie d'un matériau de comblement pour effectuer la greffe. Ce matériau peut être de l'autogreffe, de l'allogreffe, synthétique composé d'hydroxyapatite parfois associé au β -TCP (tricalcium phosphate) et/ou du matériel ostéoinducteur (ex : BMP (bone morphogenetic protein)).



Figure 13 : Dessin et photographie d'une cage PEEK avec matériau de comblement composé d'hydroxyapatite et de β -TCP (PEEK-OSTEON™, Genoss).

Les cages peuvent également bénéficier d'un traitement de surface à base d'hydroxyapatite ou de titane pour faciliter la greffe.

La cage doit être en matériel radio-opaque afin d'être repéré lors des examens d'imagerie, mais ne doit pas générer d'artefacts (17).

La pose d'une cage doit être impérativement effectuée sur un os sain, afin d'éviter la migration au travers d'un os pathologique (c'est-à-dire fracture comminutive, ostéoporose sévère et pathologie néoplasique).

Une ou deux cages peuvent être installées dans l'espace IS.

Les indications selon les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) de 2013 (17) sont:

-à l'étage cervical : les pathologies dégénératives (hernie discale, uncarthrose avec névralgie ou myélopathie, instabilité vertébrale) et traumatologiques (entorse grave, fracture avec radiculopathie ou séparation du massif articulaire).

-à l'étage thoracique : les pathologies dégénératives (discopathie évoluée), les déformations rachidiennes (scoliose et déséquilibre du rachis) et traumatologiques (si discectomie réalisée lors de la prise en charge).

-à l'étage lombaire : les pathologies dégénératives (discopathie et hernie discale), les spondylolisthésis par lyse isthmique, les déformations rachidiennes, les sténoses canalaires instables et foraminales et traumatologiques (si discectomie réalisée lors de la prise en charge).

1.3.3. Tige / Plaque (ou dominos) :

Les tiges ou plaques servent à unifier la structure en étant fixées aux vis, sous forme d'un implant d'union longitudinal. Les tiges sont préférées aux plaques lors des

instrumentations de grande taille, car elles peuvent être modelées pour correspondre à l'équilibre sagittal.



Figure 14 : Illustration (a), photographie (b) et radiographies de face et profil (c et d) d'une plaque avec vis pédiculaires pour une arthrodèse lombaire L3 et L5 chez un patient avec fracture éclatement (burst-fracture) de L4 (10).



Figure 15 : Illustration (a), photographie (b) et radiographies de face et profil (c et d) d'une tige avec vis pédiculaires pour une arthrodèse L4-L5-S1 (10).

1.3.4. Greffe osseuse / substitut osseux :

La greffe osseuse a pour objectif d'accélérer et d'améliorer la qualité de la fusion vertébrale. Elle peut être obtenue à partir de la crête iliaque ou des épineuses du patient, d'une allogreffe/xénogreffe, ou à partir d'un substitut.

La greffe peut être placée dans l'espace IS, à l'intérieur des cages IS et / ou le long des tiges au contact des IAP.

La source du greffon peut varier :

- Autogreffe : le tissu greffé provient du patient (ex : aile iliaque ou suite aux laminectomies)

- Allogreffe : le greffon provient d'un autre individu (ex : banque d'os)

- Xénogreffe : le greffon provient d'une origine animale (ex : bovin)

- Alloplastique : le greffon est d'origine synthétique. Ils sont composés classiquement d'hydroxyapatite et / ou de phosphate tricalcique (β -TCP). L'association des deux matériaux est appelée céramique biphasée.

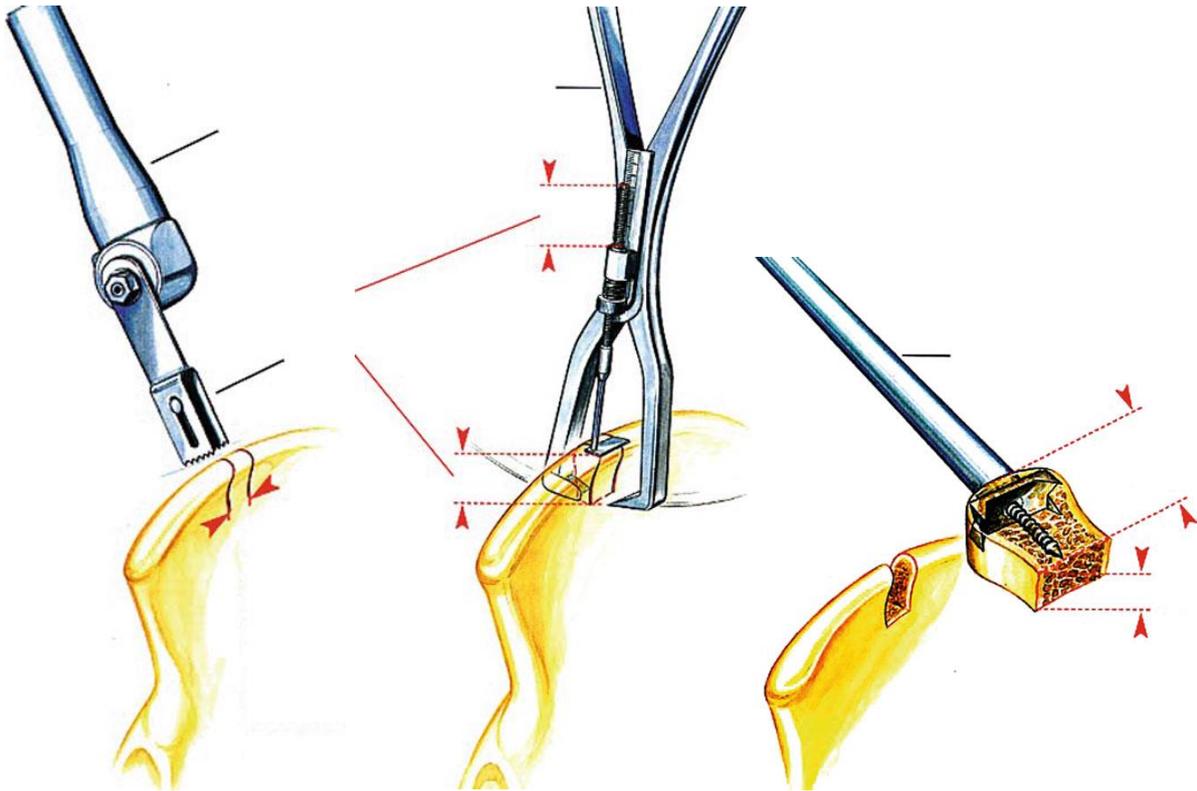


Figure 16 : Illustration d'un prélèvement de greffon osseux sur la crête iliaque. Après mesure de l'espace intervertébral, l'incision en largeur par une scie oscillante est réalisée (a). Puis prélèvement par un coupe-grefe selon la profondeur souhaitée (b et c) (19)

A noter que le prélèvement iliaque du greffon peut donner une hyperfixation en scintigraphie osseuse, parfois persistant plusieurs années après le prélèvement (43).

1.3.5. Inducteurs osseux : protéines morphogéniques osseuses (BMP) :

L'objectif des BMP est d'induire et faciliter la greffe osseuse en stimulant la différenciation des cellules mésenchymateuses en cellules ostéochondroblastiques.

L'apport récent de BMP (sous forme de rhBMP-2) ne semble pas améliorer la prise en charge dans les études : en effet il n'a pas été mis en évidence de supériorité de ce matériau, et le taux de complications est plus important (ostéolyses des plateaux, radiculites, formations osseuses ectopiques) (44).

1.4. Indications opératoires :

1.4.1. Quels patients doivent bénéficier de l'arthrodèse ?

Le motif de consultation initial est le plus souvent la douleur. Les étiologies principales sont la discopathie dégénérative et le syndrome post-discectomie. La prise en charge chirurgicale n'est, bien entendue, pas systématique.

Tout d'abord, il est essentiel d'évaluer cliniquement le patient, et éventuellement d'éliminer une origine extra-rachidienne. Environ 3% des patients qui se présentent chez un chirurgien spécialiste ont une douleur dorsale ou lombaire basse dont l'origine est extra-rachidienne (ulcère gastrique, anévrisme de l'aorte, pancréatite...) (45). Il est nécessaire de détailler les antécédents, d'évaluer la douleur (type, localisation, durée...), les traitements essayés et leur efficacité.

L'examen clinique de la discopathie dégénérative est non spécifique : la douleur est postérieure, parfois associée à des spasmes musculaires. Généralement, on observe une limitation des mouvements de flexion-extensions, rotations et latéraux en raison de la douleur. En l'absence de complication, les déficits moteurs et sensitifs sont absents. Waddell *et al.* ont décrit en 1980 un test permettant de distinguer les douleurs organiques de celles non-organiques (46) (tableau 1).

Tableau 1 : critères de Waddell (46)

Signes	Définitions
Douleurs superficielles ou sans distribution anatomique	Douleurs à la palpation superficielle de la peau, ou diffuse sans trajet anatomique et s'étendant souvent au rachis thoracique, au pelvis ou au sacrum.
Douleurs lors de la charge axiale ou lors de la pseudo-rotation	Douleurs produites lors d'une pression axiale externe sur le crâne en décubitus, ou lors de la rotation passive des épaules ou du bassin également en orthostatisme.
Douleurs non-reproduites lorsque le patient est distrait	Douleurs lors d'une manœuvre de Lasègue non reproduites si la manœuvre est effectuée dans une autre situation : exemple : lors de la flexion passive de la hanche alors que le patient est assis pour réaliser le réflexe plantaire.
Faiblesse régionale	Faiblesse intermittente régionale (exemple : du membre inférieur) ou changement régional sensitif.
Surexpression de la douleur	Réaction exagérée à de légers stimulus, ou non reproduite lorsque le stimulus est de nouveau effectué.

En premier intention, le traitement médical des patients présentant des douleurs liées à une discopathie dégénérative sont les antalgiques / anti-inflammatoires non stéroïdiens, les infiltrations, la rééducation rachidienne (école du dos) et l'activité musculaire avec renforcement des muscles du tronc.

Avant l'intervention, il est important d'évaluer la probabilité de réussite de la fusion. En effet, le succès dépend de la motivation du patient, des comorbidités, du tabac et de l'utilisation de stupéfiants. Le profil psychologique a également des conséquences sur le résultat chirurgical (5,47,48).

Une indication chirurgicale avec fusion vertébrale doit être posée après avoir étudié les antécédents du patient de manière exhaustive, effectué une évaluation clinique complète et doit être complété par une étude d'imagerie morphologique. Les anomalies doivent concorder vers un diagnostic justifiant la prise en charge.

1.4.2. Les indications :

1.4.2.1. Spondylolisthésis :

Le spondylolisthésis correspond au glissement antérieur du corps vertébral, et peut être la conséquence soit d'une lyse isthmique bilatérale soit d'une origine dégénérative.

Spondylolisthésis dégénératif :

Le mécanisme des spondylolisthésis dégénératifs n'est pas encore entièrement élucidé. Son origine est secondaire aux remaniements dégénératifs intervertébraux, et plus particulièrement des massifs postérieurs, provoquant une instabilité et le glissement intervertébral. C'est une pathologie de la personne âgée, touchant 2-3 femmes pour 1 homme (49,50). Cette prédominance féminine pourrait être la conséquence d'une hyperlaxité ligamentaire et de l'hyperlordose mesurée par l'incidence pelvienne (51,52).

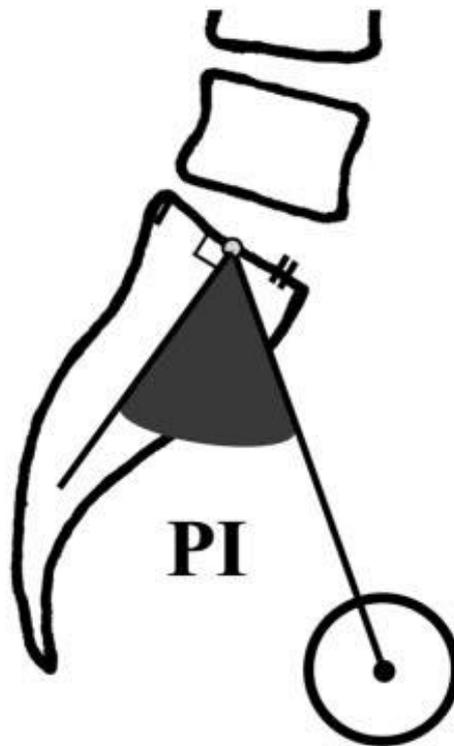


Figure 17 : Représentation de l'incidence pelvienne : angle entre la perpendiculaire du plateau supérieur de la première vertèbre sacrée, passant au milieu de celui-ci, et une droite reliant le milieu du plateau vertébraux au milieu de l'axe coxo-fémoral (valeur moyenne : 52°) (52).

Le principal facteur de risque identifié en imagerie est l'augmentation de l'angle formé par les facettes articulaires des articulations IAP et le plan frontal (figure 18) (53).

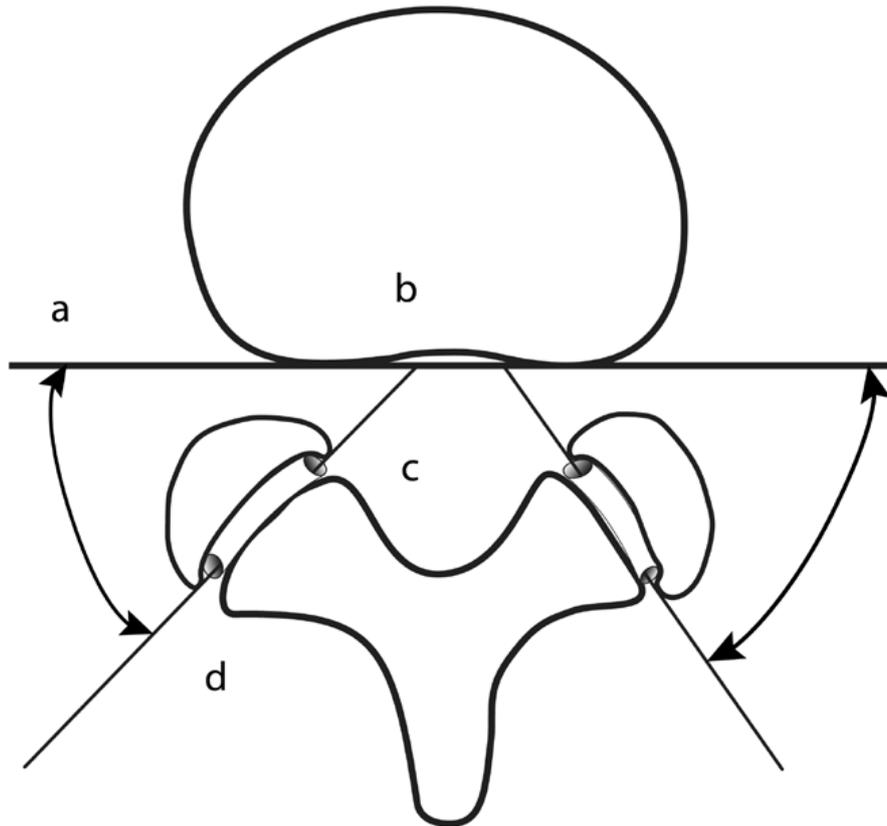


Figure 18 : Représentation schématique de l'angle formé entre les facettes articulaires des massifs postérieurs vertébraux et le plan formé par la partie postérieure du corps vertébral. L'augmentation de cette sagittalisation est l'un des principaux facteurs de risque de spondylolisthésis dégénératif (53).

La douleur peut avoir deux composantes : -tout d'abord mécanique, liée aux atteintes dégénératives -et neuropathique liée à la sténose compressive radiculaire, parfois associé à des signes de compression médullaire (exemple : claudication).

La prise en charge thérapeutique n'est pas standardisée, mais en cas d'atteinte symptomatique, la prise en charge chirurgicale semble présenter de meilleurs résultats à moyen et long terme que la prise en charge conservatrice (54). L'association à la décompression d'une fusion antérieure ou circonférentielle reste débattue (51).

Spondylolisthésis par lyse isthmique :

Les lyses isthmiques (ou spondylolyses) instables sont des affections fréquentes, estimées à environ 5% dans la population de type caucasien, 1-2% de la population noire, et jusqu'à 30 à 60% dans certaines populations telles que les Inuits (55).

La lyse isthmique, comme son nom l'indique, est une rupture de l'isthme vertébral. Cette lyse peut être uni- ou bilatérale. Elle est le plus souvent la complication de fractures de fatigues répétées pendant l'enfance, mais peut compliquer une anomalie congénitale de la formation de l'arc postérieur tels que la spina-bifida ou l'allongement de l'isthme (56).

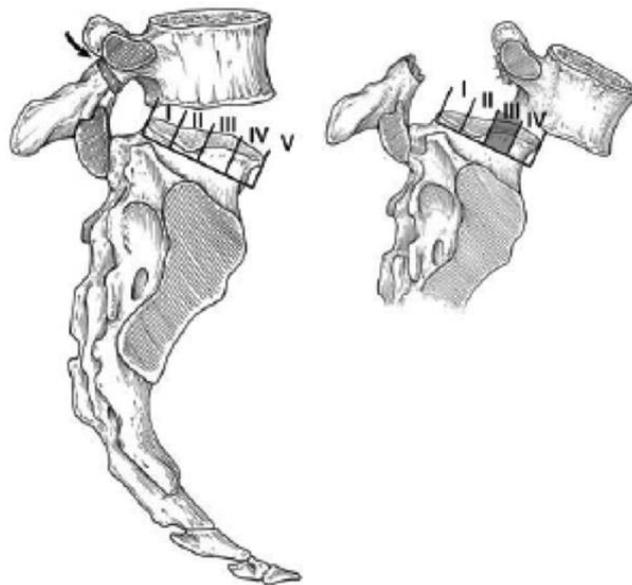


Figure 19 : Illustration d'un spondylolisthésis par lyse isthmique selon la classification de Meyerding : I : < 25% du corps vertébral sous-jacent ; II : 25 à 50% ; III : 50 à 75% ; IV : 75 à 100% ; V : la partie postérieure du corps vertébral sus-jacent est situé en avant de la partie antérieure du corps vertébral sous-jacent (57).

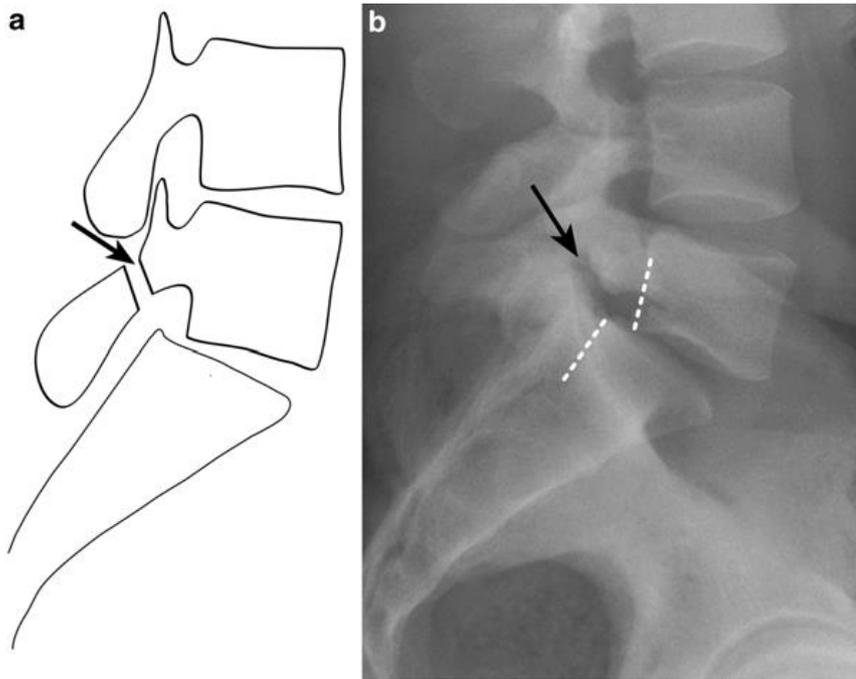


Figure 20 : Spondylolyse (flèche) et spondylolisthésis de L5 sur S1 sur une illustration (a) et sur une radiographie lombaire de profil (b)

Les activités sportives en extension sont un facteur de risque majeur. Dans une étude rétrospective, Rossi et Dragoni ont étudié 4234 athlètes, âgés de 15 à 27 ans, et ayant effectué des radiographies lombaires pour des douleurs lombaires à l'institut des sciences du sport du comité olympique italien. Tous sports confondus, 13,9% des athlètes présentaient une spondylolyse avec une nette prédominance masculine (484 hommes et 106 femmes). Près de la moitié des cas était compliqué d'un spondylolisthésis (280 cas). Les sports les plus à risque étaient la plongée, la lutte et l'haltérophilie (58) (tableau 2).

Tableau 2 : Prévalence de la spondylolyse selon l'activité sportive chez des athlètes de 15 à 27 ans présentant des douleurs lombaires (58).

Sport	No. athletes	Spondylolysis	% with spondylolysis
Diving	57	23	40.35
Wrestling	80	20	25
Weight lifting	112	25	22.32
Modern pentathlon and triathlon	54	11	20.37
Track/field	353	61	17.28
Sailing	128	22	17.18
Gymnastics	673	112	16.64
Football	400	65	16.25
Skiing	154	25	16.23
Judo and martial arts	64	10	15.62
Bobsleighbing	36	5	13.88
Cycling	95	13	13.68
Fencing	143	19	13.28
Tennis	306	36	11.76
Canoeing	69	8	11.59
Water skiing	18	2	11.11
Boxing	27	3	11.11
Water polo, swimming, syncro	307	34	11.07
Rugby	65	7	10.76
Volleyball	150	16	10.66
Shooting	76	8	10.52
Basketball	174	17	9.77
Luge	25	2	8
Rowing	246	19	7.72
Ice and field hockey	170	13	7.64
Handball	42	3	7.5
Ice skating	42	3	7.14
Equestrian	83	5	6.02
Golf	38	2	5.26
Baseball	21	1	4.76
Archery	26	0	0
Motorcycling	8	0	0
Table tennis	1	0	0
Total	4243	590	13.90

Cliniquement, le patient peut présenter des lombalgies aiguës (aggravées à l'extension, non impulsives à la toux), puis chroniques (en barre, mécanique augmentant à l'effort professionnel ou sportif) ; une tension des ischio-jambiers sous la forme d'un faux-Lasègue ; des radiculalgies en cas de compression nerveuse ; déformation en cyphose lombo-sacrée ; une dystocie (difficulté mécanique de l'accouchement) ; et dans les formes graves, des troubles de la marche, à petit pas, en rotation pelvienne et sur la pointe des pieds (59).

L'indication chirurgicale peut être envisagée en cas de déficit neurologique, de progression du spondylolisthésis ou de douleurs limitantes, même chez le sujet jeune avec un spondylolisthésis de bas grade, si les autres traitements sont inefficaces (60). Les techniques chirurgicales sont variées, et dépendent de l'atteinte clinique et de la forme anatomopathologique du spondylolisthésis. Les objectifs de la prise en charges sont : -des montages courts et solides sans arthrodèses des segments normaux ; -rétablir la morphologie sans induire de sténose ; -de permettre la reprise d'une activité physique et professionnelle ; -éviter les complications. Il est possible, selon la gravité, de réaliser une reconstruction isthmique, c'est-à-dire une greffe osseuse autologue précédée d'un avivement des berges (61). Cette technique peut être complétée par une ostéosynthèse avec une vis de Buck (62) ou une vis-crochet de Morscher (63). Le matériel est retiré 12 mois après sa pose.



Figure 21 : Spondylolyse bilatérale L5 (radiographie de profil (a) et TDM axial (c) pré-opératoire) traitée par la technique de Buck (radiographie de profil (b) et TDM axial (d) post-opératoire) (64).

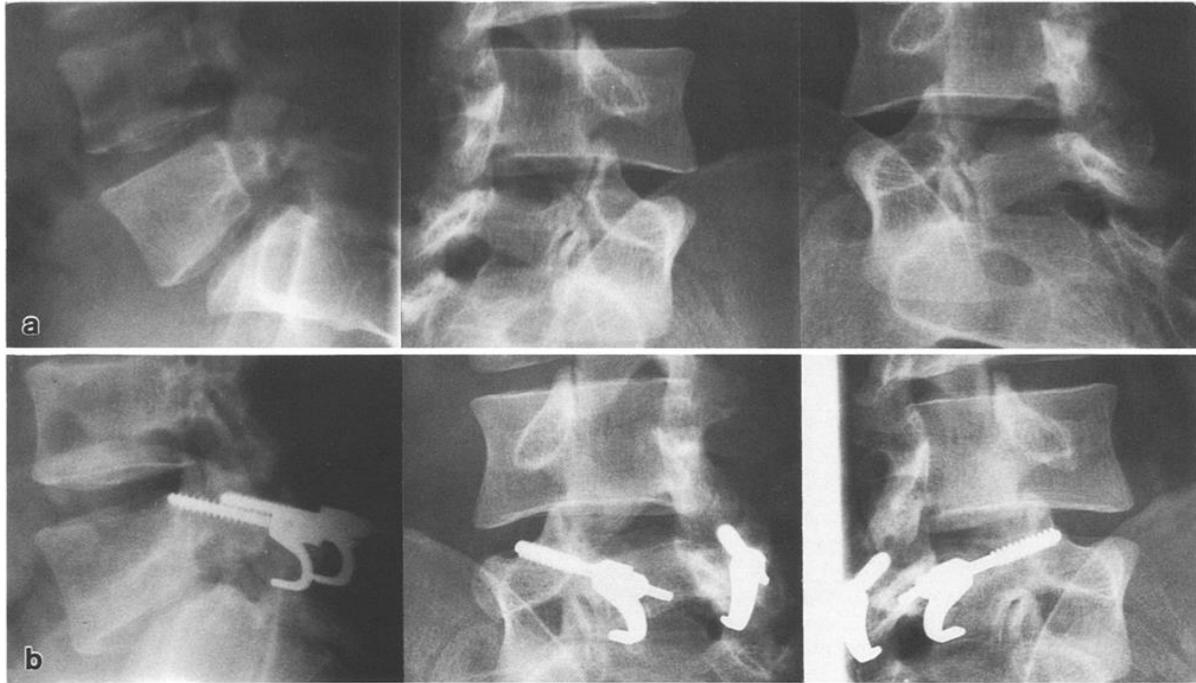


Figure : Homme de 21 ans avec lyse isthmique bilatérale de L5 et spondylolyse de L5 sur S1 (a : radiographies préopératoires), traité par la technique de Morscher (b : radiographies postopératoires) (65).

En cas de compression neurologique symptomatique, il est nécessaire d'effectuer une décompression postérieure par laminectomie, complétée par une ostéosynthèse postérieure afin d'éviter une instabilité secondaire.

L'arthrodèse peut être précédée d'une réduction, mais son apport est controversé (66,67).

1.4.2.2. Scoliose :

La scoliose peut se développer durant la croissance, ou chez le sujet âgé (>65 ans) où elle prendra le nom de scoliose dégénérative. Dans ce cas, elle est la conséquence de discopathies dégénératives multi-étagées. Dans certains cas, la scoliose idiopathique peut également évoluer après 50 ans chez les adultes.

Scoliose dégénérative :

Avec le vieillissement de la population, les troubles dégénératifs lombaires associés à des troubles scoliotiques sont devenus fréquents (68). Ils sont définis par des discopathies dégénératives associées à une déviation du rachis dans le plan coronal avec un angle de Cobb $> 10^\circ$, chez un patient au développement du squelette terminé (69,70).

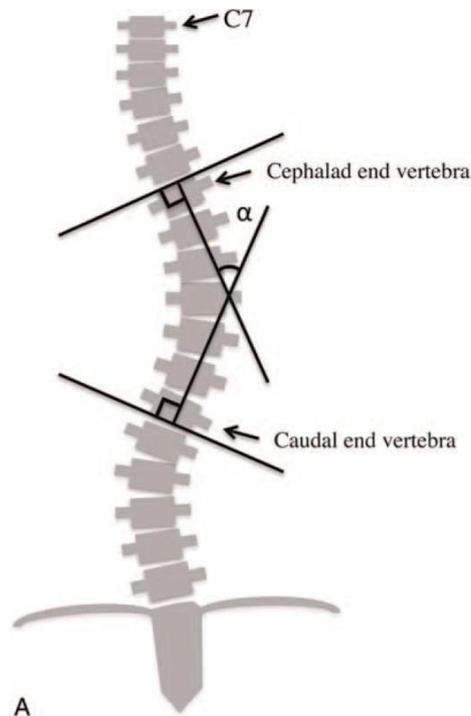


Figure 22 : Illustration du calcul de l'angle de Cobb sur une représentation dans le plan coronal. L'angle de Cobb correspond à l'angle formé par les perpendiculaires des droites passant par le plateau supérieur de la vertèbre proximale et le plateau inférieur de la vertèbre distale de la déformation (71).

Les raisons de sa survenue ne sont pas complètement établies ; elle est associée à des remaniements dégénératifs IS et des massifs articulaires postérieurs asymétriques.

Cliniquement, la plainte sera quasi-essentiellement la douleur, associée parfois à des douleurs radiculaires et/ou une claudication neurologique (69,72).

Les indications de l'arthrodèse dans la scoliose dégénérative sont (73):

- scoliose > 20°, progressive
- douleurs lombaires ou des membres inférieurs liées aux troubles dégénératifs avec retentissement significatif sur la qualité de vie.
- déficit neurologique et inefficacité des traitements conservateurs.

Scoliose idiopathique :

La scoliose idiopathique est une déformation du rachis dans les 3 plans (cyphoscoliose) dont l'origine est idiopathique comme son nom l'indique. Toutefois, elle peut également compliquer dans 10 à 20% des cas des pathologies du système nerveux ou musculaire (74). Son développement a lieu dans la majorité des cas à la fin de l'enfance ou durant l'adolescence. Les conséquences sont, selon la gravité, des douleurs mécaniques, une diminution de la mobilité rachidienne, une altération des fonctions cardiaques et respiratoires, mais aussi des conséquences psychologiques liées à la déformation (75). L'incidence de la scoliose idiopathique estimée à 2-3% de la population mais la prise en charge chirurgicale est minoritaire (76). La déformation détermine la prise en charge thérapeutique. Les objectifs principaux de la prise en charge chirurgicale sont de stopper la déformation et de limiter les complications.

L'arthrodèse vertébrale est indiquée quand la déformation est trop importante (en général 45 à 50°) avec échec des mesures conservatrices (exercices physiques spécifiques). Elle est également indiquée en cas d'atteinte symptomatique contraignante (77). Tout comme pour la prise en charge de la scoliose dégénérative, la prise en charge chirurgicale de la scoliose idiopathique n'est pas consensuelle (78). L'utilisation de l'arthrodèse antérieure est plus limitée, le plus souvent associée à l'arthrodèse PL ou pour des déformations d'un nombre peu important d'étages thoraco-lombaires ou lombaires. Historiquement l'intervention avec des tiges de Harrington était la plus effectuée (79). Mais cette intervention nécessitait une immobilisation plâtrée post-opératoire. Désormais les techniques, tel que l'intervention de Cotrel-Dubousset, ne justifient plus d'immobilisation post-opératoire grâce à une meilleure stabilité post-opératoire (80).

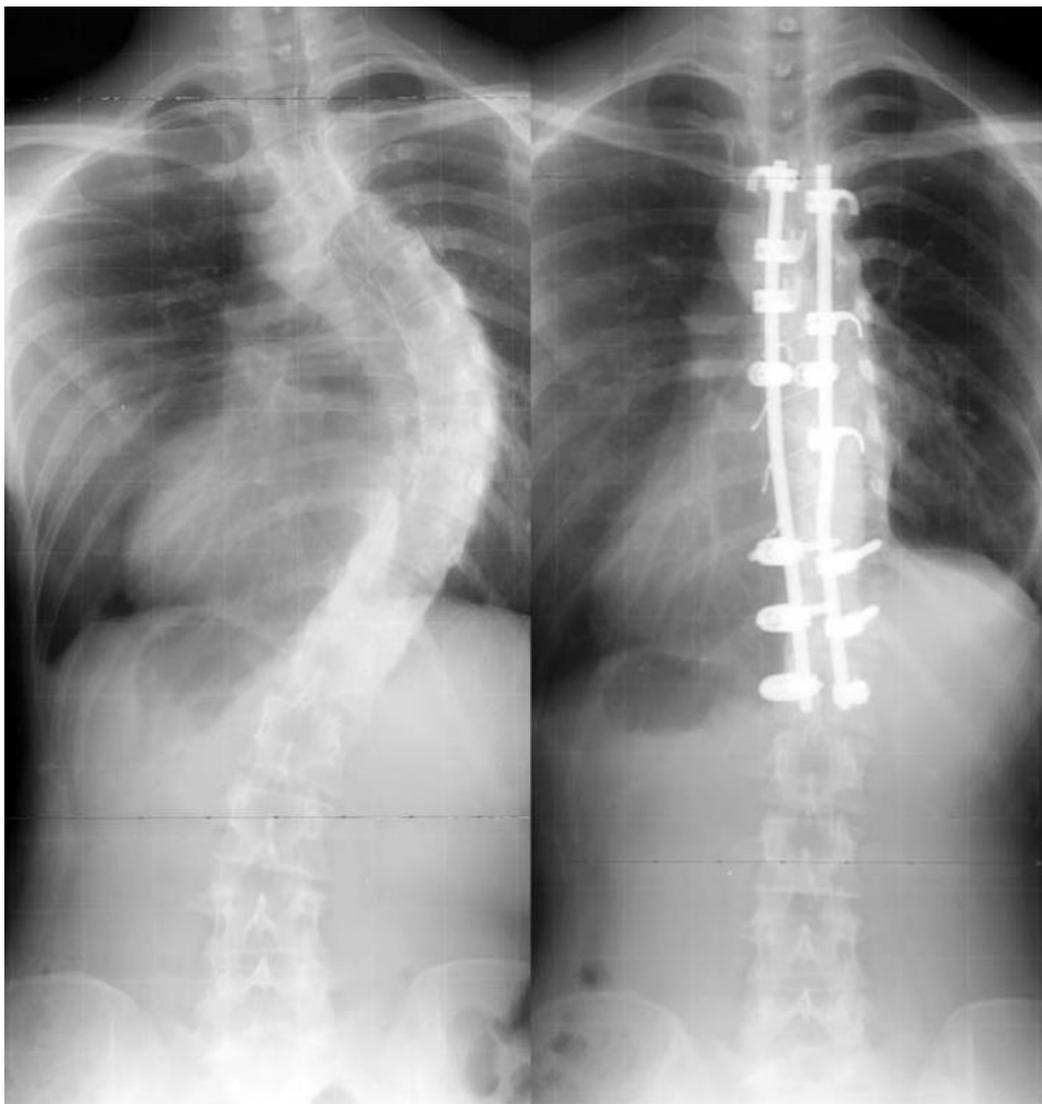


Figure 23 : Radiographies face postérieures (gauche : préopératoire ; droite : postopératoire) d'une scoliose idiopathique thoracique à convexité droite, corrigée par une arthrodèse postéro-latérale avec tiges de Harrington, vis pédiculaires et crochets (78).

1.4.2.3. Fracture :

La prise en charge des fractures vertébrales ne justifie pas systématiquement une intervention chirurgicale. Les premiers éléments à évaluer sont la clinique et la stabilité de la fracture.

La première étape est d'estimer l'existence d'une atteinte neurologique puis de la classer. Deux classifications sont utilisées :

- la classification ASIA (pour American Spinal Injury Association), quantifiant l'atteinte motrice et sensitive selon les dermatomes (figure 24).

- l'échelle de Frankel : A= déficit moteur et sensitif complet, sous lésionnel ; B= déficit moteur complet, sensibilité partiellement préservée (paires sacrées) ; C= motricité partielle sous-lésionnelle non fonctionnelle ; D= motricité fonctionnelle permettant la déambulation (testing musculaire supérieur à 3/5 pour la majorité des muscles) ; E= motricité et sensibilité normales, anomalies des réflexes.

Puis, il est possible de définir la stabilité d'une fracture vertébrale. Plusieurs classifications existent, dont les classifications de Magerl AO et TLICS (Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score). Concernant la classification Magerl AO, les fractures sont tout d'abord séparées en 3 mécanismes fracturaires : A : compression ; B : distraction ; C : rotation (81) (figure 25). Les fractures sont ensuite séparées en sous-groupe selon leur étendue. Cette classification permet de comprendre le mécanisme fracturaire, et d'établir le risque d'instabilité.

Motrice
MUSCLES CLES

C2	D	G	Fléchisseurs du coude Extenseurs du poignet Extenseurs du coude Fléchisseur du III (phalange distale) Abducteur du V
C3			
C4			
C5			
C6			
C7			
C8			
T1			
T2			
T3			
T4			
T5			
T6			0 = absence de contraction 1 = contraction palpable ou visible 2 = mouvement actif, sans pesanteur 3 = mouvement actif, contre pesanteur 4 = mouvement actif, contre résistance 5 = mouvement actif, normal NT = non testable
T7			
T8			
T9			
T10			
T11			
T12			Fléchisseurs de la hanche Extenseurs du genou Fléchisseurs dorsaux de la cheville Extenseur du gros orteil Fléchisseurs plantaires de la cheville
L1			
L2			
L3			
L4			
L5			
S1			
S2			
S3			
S4-5			

Sensitive
POINTS SENSITIFS CLES

C2	D	G	0 = absente 1 = anormale 2 = normale NT = non testable
C3			
C4			
C5			
C6			
C7			
C8			
T1			
T2			
T3			
T4			
T5			
T6			Sensibilité anale (Oui/Non)
T7			
T8			
T9			
T10			
T11			
T12			SCORE SENSITIF A LA PIQURE (max: 112) SCORE SENSITIF AU TACT (max: 112)
L1			
L2			
L3			
L4			
L5			
S1			
S2			
S3			
S4-5			

TOTAL + = SCORE MOTEUR (MAXIMUM) (50) (50) (100)
 TOTAL + = SCORE SENSITIF A LA PIQURE (max: 112)
 TOTAL + = SCORE SENSITIF AU TACT (max: 112)

NIVEAUX NEUROLOGIQUES Niveaux normaux les plus bas	SENSITIF <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> MOTEUR <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	COMPLETE OU INCOMPLETE? <i>Incomplète = présence d'une fonction sensitive ou motrice dans le territoire sacré le plus bas</i>	ZONE DE PRESERVATION PARTIELLE <i>Territoires partiellement innervés</i>
--	--	---	---

Ce document peut être reproduit librement mais ne doit pas être modifié sans la permission de l'American Spinal Injury Association et l'International Medical Society of Paraplegia

Figure 24 : Questionnaire de la classification ASIA de l'atteinte neurologique post-fracture vertébrale.

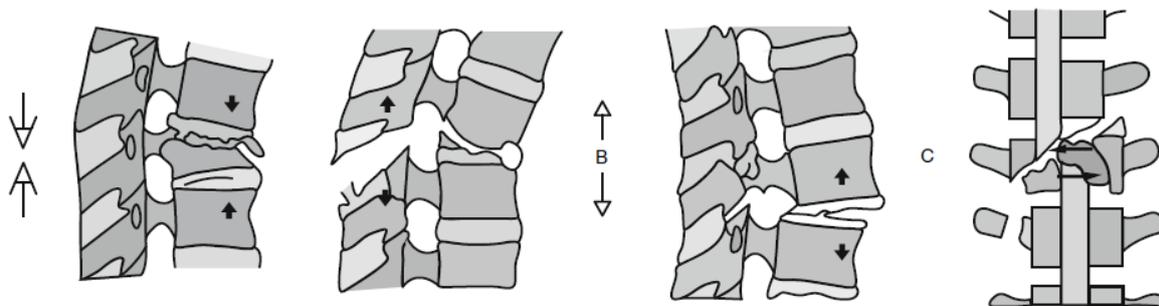


Figure 25 : Illustration des 3 mécanismes de fracture selon la classification AO : A : compression ; B : distraction (les deux illustrations au centre) ; C : rotation (82).

Tableau 3 : incidence des déficits neurologiques selon la classification Magerl AO des fractures (81).

Types and groups	Number of injuries	Neurological deficit
<i>Type A</i>	890	14%
A1	501	2%
A2	45	4%
A3	344	32%
<i>Type B</i>	145	32%
B1	61	30%
B2	82	33%
B3	2	50%
<i>Type C</i>	177	55%
C1	99	53%
C2	62	60%
C3	16	50%
<i>Total</i>	1212	22%

Afin d'associer les critères clinique et d'imagerie, il a été proposé la Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS) en 2005 par Vaccaro *et al.* (83). La classification est détaillée dans le tableau 4. Les paramètres évalués sont la morphologie de la fracture, l'atteinte des ligaments postérieurs et l'atteinte du système nerveux. Un score ≤ 3 peut bénéficier d'une prise en charge conservatrice, alors qu'un score > 5 est une indication chirurgicale. Un score de 4 peut justifier les deux prises en charge.

Tableau 4 : Eléments de la TLICS guidant la prise en charge des fractures vertébrales thoraco-lombaires (82).

Injury morphology	Posterior ligamentous complex	Neurological status
Compression 1	Intact 0	Intact 0
Compression burst 2	Indeterminate 2	Nerve root 2
Translation rotation 3	Injured 3	Spinal cord injury (complete) 2
Distraction 4		Spinal cord injury (incomplete) 3 Cauda equina 3

Le type d'arthrodèse est conditionné par le type d'atteinte. L'arthrodèse PL est utilisée car elle permet une stabilisation efficace par une arthrodèse vertébrale de peu d'étages, mais elle est contre-indiquée en cas d'atteinte du ligament longitudinal postérieur, et à moindre degré du disque intervertébral et du ligament longitudinal antérieur. L'arthrodèse antérieure peut être préférée en cas de fracture des parties antérieure et moyenne du corps vertébral, diminuant le risque de cyphose. Mais la technique est plus complexe et invasive (84).

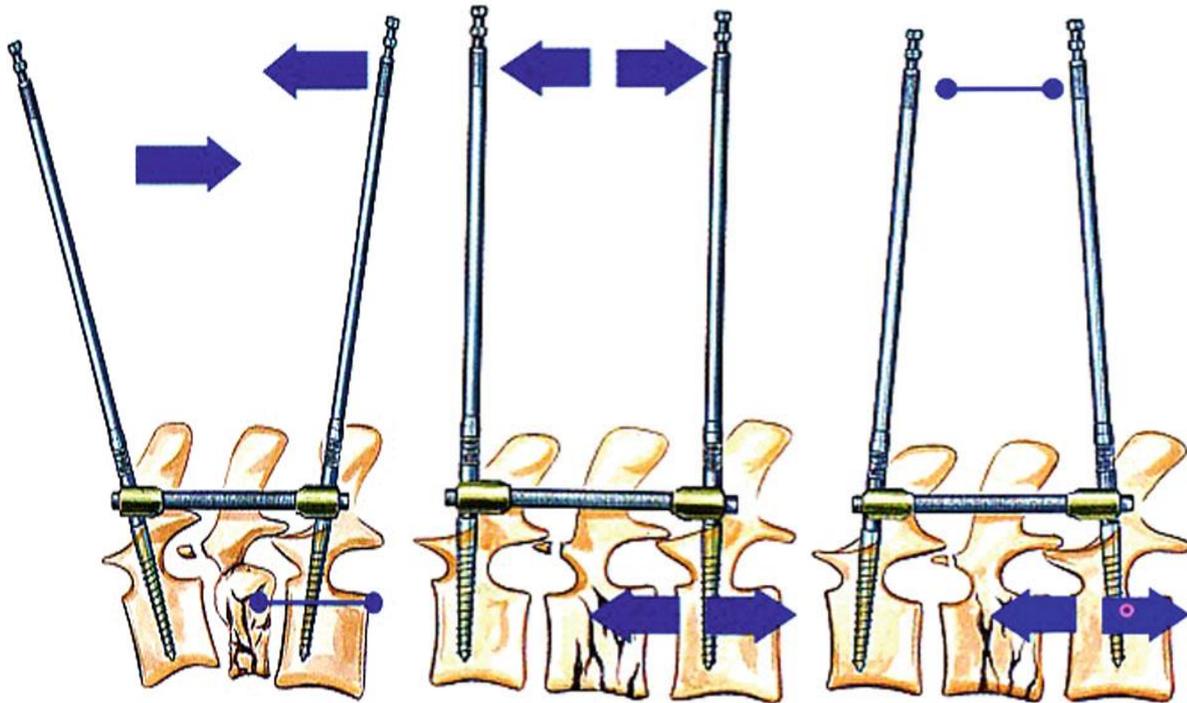


Figure 26 : Illustrations d'une arthrodèse lombaire pour stabilisation d'une fracture vertébrale. Mise en place de matériel d'ostéosynthèse puis décompression de la fracture (a et b), et rétablissement de la lordose (c) (32).

En cas de fracture sévère, avec un risque important d'instabilité rachidienne et/ou de compression, de lyse osseuse importante dans le cas d'une origine néoplasique, l'arthrodèse peut être complétée par une corporectomie. Cette procédure consiste à l'exérèse du corps vertébral, puis à la mise en place de matériel (implant de reconstruction corporeale) pour combler et stabiliser l'espace laissé vacant (85).

1.4.2.4. Canal lombaire étroit ou rétréci :

L'indication chirurgicale est posée lorsque les traitements conservateurs ont échoué à soulager le patient (86,87). Le canal lombaire étroit a pour conséquence principale la claudication médullaire se présentant classiquement par une fatigabilité non douloureuse réduisant le périmètre de marche.

En cas de sténose pure, c'est-à-dire en l'absence de spondylolisthésis dégénératif et de trouble scoliotique, une décompression seule peut être envisagée avec de bons résultats (86).

En revanche, une instabilité associée indique l'arthrodèse (88,89). Cette instabilité est mise en évidence en cas spondylolisthésis sur les radiographies de profil en flexion et extension, sur les radiographies de face en cas listhésis latéral ou de liquide intra-articulaire apophysaire postérieur plus important sur les images axiales en pondération T2 sur l'IRM. Chez ces patients, la décompression simple risque de majorer l'instabilité et d'engendrer de nouveau des douleurs (90).

1.4.2.5. Radiculopathie :

Tout comme pour le canal lombaire étroit, une prise en charge chirurgicale d'une compression nerveuse par une hernie discale peut être envisagée lorsque le traitement conservateur n'a pu soulager efficacement le patient. La décompression par lamino-foraminotomie et excision du fragment discal est indiqué si le patient ne présente pas d'instabilité ou de trouble scoliotique (91). Dans le cas contraire, une arthrodèse est indiquée.

Néanmoins, en l'absence de consensus, la fusion vertébrale (majoritairement PLIF ou TLIF) peut être envisagée en première intention chirurgicale pour éviter les récurrences ou les instabilités secondaires (92).

1.4.3. Examens d'imagerie préopératoires :

Les possibilités d'imagerie sont nombreuses en préopératoire. Après une étude clinique approfondie du patient, le choix de l'imagerie peut être effectuée. En première

intention, les imageries les plus fréquentes sont les radiographies, la TDM et l'IRM. Ces évaluations peuvent être complétées par des myélographies par scanner, notamment en cas de contre-indication à l'IRM.

Les examens sont complémentaires : les radiographies conventionnelles permettent d'évaluer l'équilibre et de mesurer les dimensions et angulations. La TDM permet une étude de la trame osseuse et l'IRM des parties molles et des réactions osseuses.

Les incidences des radiographies conventionnelles doivent être complètes : face antérieure – postérieure, profils, obliques et télémétriques. Elles peuvent être associées à des incidences en flexion – extension chez un patient couché. Une évaluation complète radiographique, permet une bonne étude de la structure rachidienne dans son ensemble ; cette étude est prédictive de l'instabilité rachidienne (93). L'EOS® (EOS imaging, Paris, France) est une technique d'imagerie *low-dose* permettant la réalisation de radiographie grand format en position orthostatique. Cette technique d'imagerie est aujourd'hui la référence pour l'étude de la statique rachidienne, en raison de l'acquisition corps entier en position physiologique orthostatique permettant une étude complète de la posture, de la faible irradiation et de son coût (94).

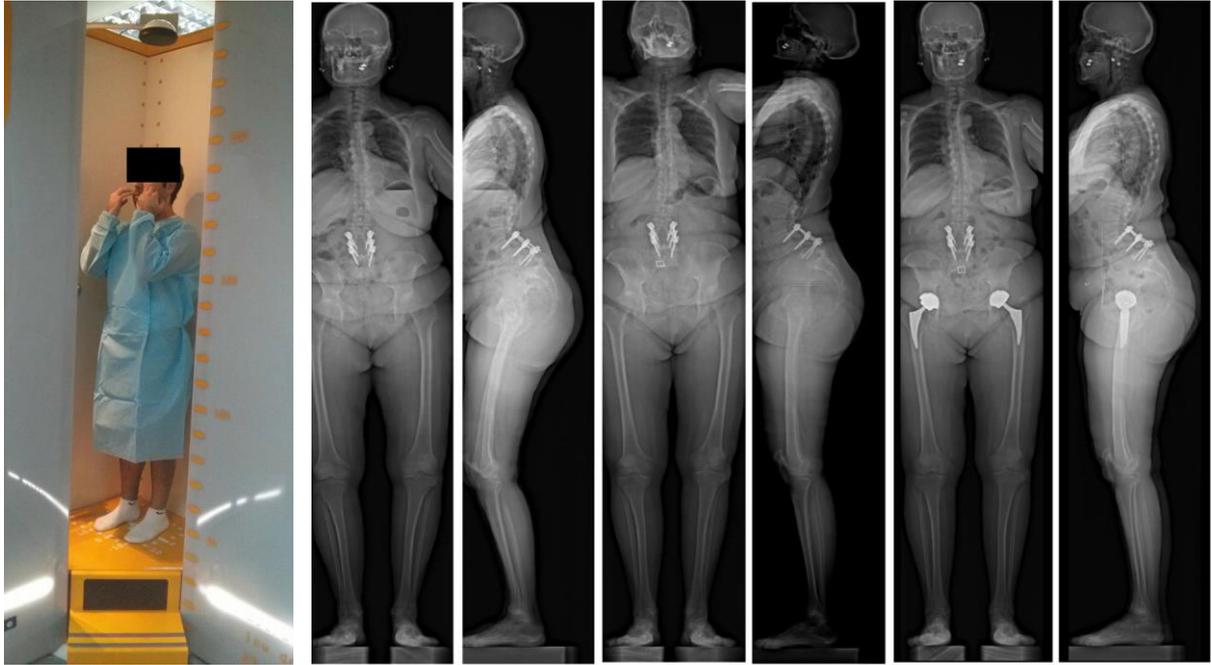


Figure 27 : Photographie d'un patient dans une cabine EOS® (A) (94). Radiographies EOS® d'une patiente à l'antécédent d'arthrodèse PL lombaire présentant un déséquilibre rachidien sagittal associé à un flessum des genoux et des hanches dans un contexte d'arthropathies dégénératives (B-C). Ce déséquilibre sagittal est corrigé par hyperextension du rachis (D-E). La mise en place de prothèses totales de hanche a permis la correction du déséquilibre rachidien et des flessum (F-G) (95).

Les examens d'imagerie peuvent être complétés par des blocs anesthésiques intra-articulaires, des racines nerveuses épidurales et extra-foraminales ou des disques intervertébraux afin de s'assurer de l'origine douloureuse (96,97).

1.5. Complications post-opératoires :

1.5.1. Pseudarthrose :

La pseudarthrose est, de manière générale, la non-fusion de deux parties d'une trame osseuse normalement fusionnée ou articulée. Ce terme est plus largement utilisé dans le cadre des complications post-fracturaires en cas de non-fusion à distance chronologique de l'évènement fracturaire. Dans le cas des arthrodèses, la pseudarthrose (pouvant être également appelée pseudarthrodèse), correspond à l'absence de fusion de deux vertèbres dont l'objectif de la prise en charge chirurgicale était la fusion.

Elle doit être suspectée en cas d'absence de pont osseux visible sur les examens radiographiques standards dès 6 mois après l'intervention chirurgicale, de mouvements des vertèbres fusionnées sur les radiographies dynamiques en flexion/extension et/ou de déplacement du matériel d'ostéosynthèse. Ensuite, elle doit être confirmée par un examen morphologique complémentaire tel que la TDM qui confirmera l'absence de pont osseux intervertébral.

La fusion est confirmée si une seule des trois interfaces est fusionnée ; c'est-à-dire une des deux articulations IAP ou l'articulation IS.

Les facteurs de risques les plus importants sont le tabac, le diabète et les corticostéroïdes (8).

Le taux de pseudarthrose peut varier selon certains facteurs, notamment selon l'âge et le procédé chirurgical. Avec les vis pédiculaires récentes et l'autogreffe osseuse, le taux de fusion des arthrodèses PL sans complément IS est élevé, compris entre 90 et 100% selon les études (98–100). Les PLIF possèdent également un taux de fusion élevé compris entre 90 et 100% (101–103).

La mise en évidence d'une pseudarthrose sur les examens morphologiques sans signe de migration du matériel IS, ou de bris de vis ou de tige, ne justifie pas systématiquement une réintervention chirurgicale ; une simple surveillance morphologique peut être indiquée. Dans le cas contraire ou si le patient présente d'importantes douleurs dorsales ou lombaires, la reprise chirurgicale est indiquée (104).

En cas de PLIF lors de la première intervention, le second abord sera une ALIF afin d'éviter les remaniements et la fibrose épidurale induite par le premier temps chirurgical.

1.5.2. Surcharge mécanique adjacente :

La SMA correspond à la dégénérescence articulaire des étages mobiles sus- ou sous-jacente de l'arthrodèse apparue après la réalisation de la fusion vertébrale. Elle peut toucher les articulations IS, IAP ou sacro-iliaque (pour les arthrodèses lombaires basses). Elle est parfois différenciée en « dégénérescence » des surcharges adjacentes correspondant aux remaniements radiologiques asymptomatiques, et à la « maladie » des surcharges adjacentes correspondant à la dégénérescence associée à une atteinte clinique (instabilité vertébrale, radiculopathie ou myélopathie) (105). Cette discordance s'intègre avec l'absence d'association systématique entre les anomalies morphologique articulaire et la douleur décrite par le patient (106,107).

L'origine des SMA est probablement multifactorielle : aucun facteur de risque n'a pu être isolé pour expliquer l'origine de la dégénérescence. Son existence a même pu être débattue en raison de l'absence de corrélation entre le nombre d'étages fusionnés et le risque de SMA (108). Néanmoins, les études biomécaniques ont mis

en évidence une augmentation des pressions intradiscales de l'étage adjacent à la fusion (109). Le risque de SMA est plus important en cas de troubles statiques rachidiens, telles qu'une lordose lombaire insuffisante ou une incidence pelvienne trop importante (110,111).

L'incidence des douleurs par SMA est estimée à environ 3% par an à l'étage cervical après l'arthrodèse, et de 2 à 14% à l'étage lombaire selon les études (112). Le risque de SMA varie selon le type de procédure chirurgicale. Elle est par exemple plus fréquente dans les PLIF que les ALIF (82,6% vs 44%) (113).

En cas d'atteinte symptomatique avec échec des mesures conservatrices, une extension de l'arthrodèse vertébrale peut être envisagée pour soulager le patient (7,112,114).

1.5.3. La migration du matériel intersomatique :

Hormis un case-report de migration antérieure (115), la migration du matériel est postérieure. Les migrations postérieures précoces du matériel sont dues à une perte de la lordose lombaire obtenue par la chirurgie. Elles sont également secondaires à une rigidification insuffisante du rachis. Les conséquences sont la compression nerveuse du sac dural ou des racines nerveuses (24).

Dans une étude comprenant 1070 patients, seuls 9 ont présenté une migration postérieure de la cage (0,008%) (116). Des facteurs favorisants modifient le risque de migration, telles que la taille de la cage avec un risque accru en cas de cage de plus petite taille, ou l'expérience du chirurgien qui diminue le risque si elle est supérieure à 3 ans (117).

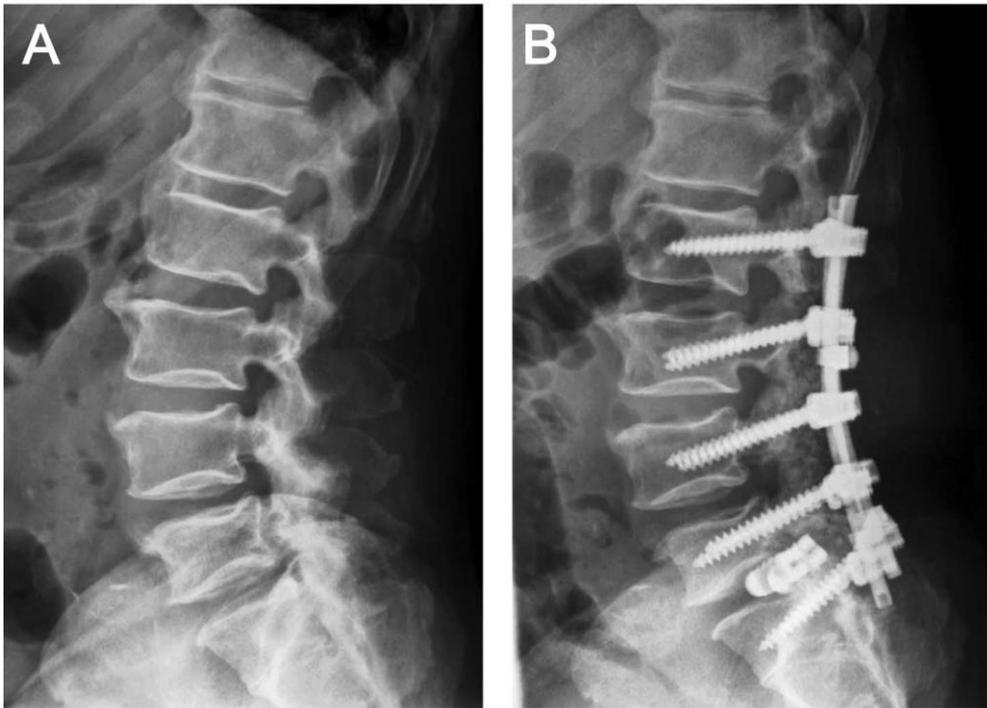


Figure 28 : Radiographies de profil pré- (a) et postopératoire d'une arthrodeuse circonférentielle (b) chez un patient présentant une migration postérieure d'une cage IS L4-L5 et ayant comme facteurs de risque un aspect en poire de ses corps vertébraux et une hyperostose (116).

La prise en charge doit être adaptée à la clinique : un patient asymptomatique peut être simplement surveillé.

1.5.4. Infection :

L'infection post-opératoire est rare, mais difficile à prendre en charge. Une étude rétrospective entre 1996 et 2004 a rapporté 3,5% d'infections post-opératoires (26/737 patients), dont 2,6% d'infections précoces (19), et 0,9% tardives (118).

Les signes cliniques sont variables, plus ou moins intenses : douleurs, érythème, hyperthermie, septicémie...

Afin de diminuer le risque d'infection, une antibioprophylaxie est réalisée pendant la prise en charge chirurgicale (119).

En cas d'infection avérée, la prise en charge n'est pas consensuelle, mais elle associe le plus souvent une reprise chirurgicale afin d'enlever le matériel infecté et d'effectuer un lavage et une antibiothérapie à long-terme.

1.5.5. Lésions nerveuses :

Les lésions nerveuses peuvent être la conséquence d'une rétraction trop importante ou trop prolongée du sac dural lors de la PLIF (103,120,121). La rétraction provoque une diminution de 18 à 30% de la pression sanguine vascularisant les nerfs (121). Dans une étude publiée en 2011, Mehta *et al.* ont observé 7,8% de d'atteinte nerveuse post-PLIF (6/76) contre 2% dans le groupe TLIF (1/43), mais avec des taux de réduction des douleurs radiculaires sans différence significative à 12 mois (88% et 79%) (103). Park *et al.* en 2001 ont observé une lésion nerveuse permanente sur 99 PLIF (122). L'atteinte nerveuse peut être également la conséquence d'un hématome compressif post-opératoire.

1.5.6. Brèches dures :

Cette complication peut survenir lors de tous les types d'arthrodèses. Dans une étude de plus 17000 arthrodèses, 802 brèches (4,65%) ont été diagnostiquées sans différence significative selon le type d'arthrodèse (PLIF-TLIF ou PL). Le facteur de risque principal est l'âge élevé, et sa survenue peut se compliquer d'anomalie neurologique (123). La brèche dure doit avoir été identifiée durant l'intervention afin d'effectuer la suture.

1.5.7. Lésions vasculaires :

Le risque intervient lors de la discectomie. Cet évènement est rare, mais grave, avec risque vital pour le patient (124–126). Il est essentiel avant la discectomie de contrôler la profondeur du matériel utilisé pour le geste.

Les conséquences peuvent être précoces, dès la lésion vasculaire avec hémorragie visible associée à un état de choc. Mais parfois l'anomalie peut être ignorée, notamment en cas de fistule artério-veineuse ou de pseudo-anévrisme (127).

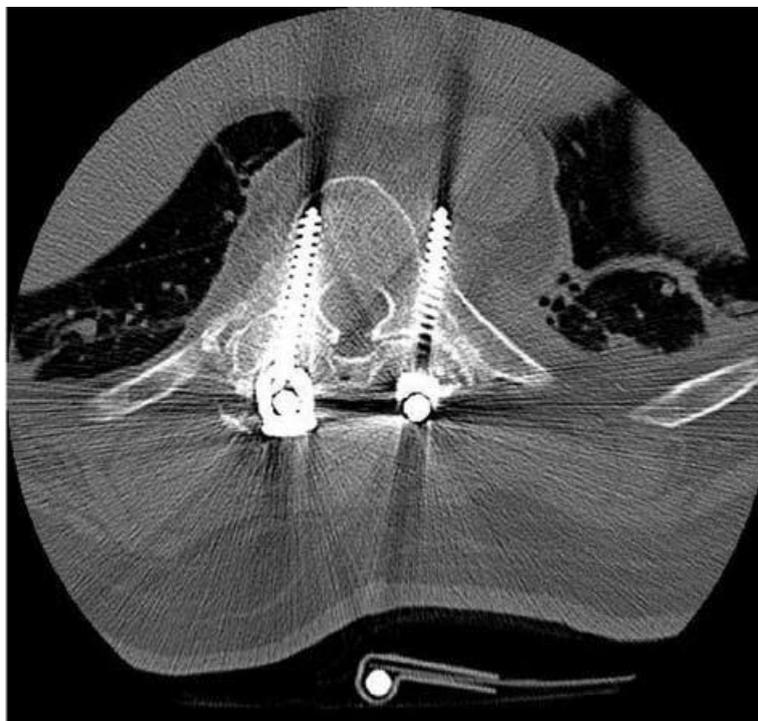


Figure 29 : TDM coupe axiale chez un patient présentant une vis pédiculaire T10 gauche au contact de l'aorte (128).

1.5.8 Le syndrome douloureux régional complexe (SDRC) :

Le syndrome douloureux régional complexe (autrement appelé algoneurodystrophie) est une pathologie d'origine neurologique, probablement liée au système nerveux sympathique. Il associe des douleurs de type neuropathique, parfois une allodynie ; des troubles vasomoteurs (œdème, trouble de la coloration cutanée, chaleur...) et un enraidissement progressif. La physiopathologie est encore à ce jour imparfaitement comprise. Il existe deux types de SDRC :

- Type I : sans atteinte du système nerveux. Le plus souvent secondaire à un traumatisme ou une chirurgie.
- Type II : secondaire à une atteinte nerveuse (le plus souvent chirurgical ou traumatique), mais dont la localisation peut s'étendre au-delà du territoire lésé.

Dans le cadre des SDRC secondaires à une intervention chirurgicale du rachis, ils touchent les membres supérieurs ou inférieurs selon le type d'intervention (les membres supérieurs pour les interventions du rachis cervical, et les membres inférieurs pour le rachis lombaire). Sa survenue dans ce contexte est rare et peu décrite. Bien que des SDRC de type I peuvent être décrits, des SDRC de type II pourraient être causés par la mobilisation des troncs sympathiques notamment lors des abords latéraux rétropéritonéaux (129,130).

1.6. Scintigraphie osseuse :

La scintigraphie permet l'étude fonctionnelle d'un organe ou d'un tissu par l'administration d'un médicament radiopharmaceutique (MRP) correspondant à un isotope radioactif le plus souvent lié à un traceur avec une affinité pour l'organe ou le tissu étudié. L'administration de ce MRP peut se faire de différentes manières : le plus classique par voie veineuse, ou par voie orale (gélule ou gaz).

Dans le cas de la scintigraphie osseuse, les MRP utilisés combinent du bisphosphonate et du ^{99m}Tc . Les plus fréquemment utilisés sont : le ^{99m}Tc -HMDP (hydroxyméthylène-biphosphonate), et le ^{99m}Tc -MDP (méthylène biphosphonate) (11). Les taux de fixation varient légèrement selon le traceur (30% de l'activité injecté pour le MDP, 40 à 50% pour l'HMDP).

Les traceurs osseux composés de bisphosphonate se fixent sur l'os par échange de PO_4 et d'hydroxyapatite. Cette fixation est plus importante sur les cristaux d'hydroxyapatite en formation, elle est donc corrélée à l'activité ostéoblastique et ostéoclastique. Mais les mécanismes précis de la fixation sont encore mal connus (11). De plus, l'arrivée du traceur sur le site osseux est par voie vasculaire ; l'activité est donc aussi dépendante de la vascularisation du tissu.

La scintigraphie osseuse peut être utilisée pour la recherche de complications chroniques post-arthrodèses.

En effet, les études détaillées ci-dessous ont montré que la scintigraphie osseuse avait sa place dans la prise en charge des patients douloureux après la mise en place d'une arthrodèse vertébrale. La plupart des complications chroniques, dont les deux plus fréquentes (pseudarthrose et SMA) provoquent un hyper-remodelage osseux se traduisant par une fixation accrue du radiotraceur osseux.

L'acquisition scintigraphique couplée à l'imagerie hybride permet une localisation précise des anomalies de fixation, et donc une plus grande précision diagnostique (11). De plus, la TDM permet d'éviter certains pièges tels que l'absence d'hyperfixation d'une fusion PL mais dont la greffe ne s'est pas constituée (il ne peut y avoir de fixation du traceur en scintigraphie osseuse en l'absence de tissu osseux) ou d'une fixation articulaire prise pour une fixation de la fusion PL ou du matériel.

1.6.1. État de la littérature :

A ce jour, peu d'études ont analysé la scintigraphie osseuse dans la prise en charge postopératoire du patient avec arthrodèse vertébrale.

1.6.1.1. Scintigraphie osseuse planaire :

Cetinkal et al. (2011) (131):

Cette étude annonce dans son titre rechercher le lien entre la scintigraphie et les douleurs post-opératoire du rachis cervical. Dans cette étude de 9 patients, pour analyser la scintigraphie, un rapport a été effectué entre une région d'intérêt sur le rachis arthrodésé et le rachis cervical à distance. La douleur était évaluée par l'échelle visuelle analogique. Etonnamment, aucune corrélation entre ces deux critères n'a été décrite dans cette étude, uniquement des différences de moyenne entre les types de fusion sur les images morphologiques. Cette absence est d'autant plus étonnante que le coefficient de corrélation de Spearman que nous avons calculé est significatif : 0,869 (0,485 – 0,972), $p=0,0023$.

1.6.1.2. Scintigraphie osseuse TEMP :

Lusins et al. (1989) (132) :

Etude de l'évaluation de la TEMP chez des patients présentant des douleurs dorsales ou lombaires après prise en charge chirurgicale, dont 6 ont bénéficié d'une arthrodeuse vertébrale. Ces 6 patients présentaient une scintigraphie considérée comme anormale : 2 avec une fixation augmentée du radiotracer dans les masses de fusion PL associée à une greffe peu étendue sur les TDM ; les 4 autres cas possédaient des hyperfixations articulaires des étages mobiles sus et sous-jacents.

Even-Sapir et al. (1994) (133) :

Etude rétrospective de 33 patients présentant des douleurs dorsales et lombaires post-arthrodèse. L'objectif était de déterminer l'efficacité de la tomographie par émission monophotonique (TEMP) de la scintigraphie osseuse chez les patients présentant des douleurs à distance chronologique de la chirurgie. Les patients étaient divisés en deux groupes : chirurgie proche (<4 ans, n=9) et lointaine (>4 ans, n=24). Les résultats de la scintigraphie ont été comparés aux autres examens d'imagerie disponibles (radiographies standards et dynamiques, TDM et IRM). La fusion était considérée comme normale si elle était observée de manière diffuse, sans foyer. Seuls deux patients présentaient une fixation focale au sein de l'arthrodèse, considérée comme une pseudarthrose ou une fracture. Pour deux patients, aucune fixation n'a pu être mise en évidence au sein de la fusion PL de l'arthrodèse. L'absence d'imagerie morphologique ne permettait pas de différencier une absence de masse de fusion postérieure, d'une masse de fusion « peu épaisse » et dont le remodelage est très

faible, voire d'une fusion IS constituée non pathologique. 15 des 24 patients dans le groupe « chirurgie à distance » présentaient des fixations des étages mobiles adjacents considérées comme des SMA.

Coric et al. (1997) (134):

Parmi 19 patients présentant une pseudarthrose lombaire, 8 ont bénéficié d'une scintigraphie osseuse par TEMP. Toutes les scintigraphies ont mis en évidence un foyer de fixation dont la pseudarthrose a été confirmée chirurgicalement.

Albert et al. (1998) (135):

Etude prospective du diagnostic de pseudarthrose en scintigraphie osseuse par TEMP avec gold-standard chirurgical. 38 patients ont été inclus : 24 avec une fusion acquise, 14 avec une pseudarthrose. Les sensibilité et spécificité ont été estimées respectivement à 50 et 58%.

Gates et al. (1999) (136):

Analyse des anomalies de fixations des scintigraphies osseuses par TEMP chez 63 patients après chirurgie lombaire, dont 35 avec arthrodèses lombaires (les 28 patients restants ont bénéficié d'une laminectomie sans arthrodèse). Au total, 7 patients présentaient des scintigraphies normales, 51 (81%) des anomalies des fixations des massifs articulaires, 29 (46%) des hyperfixations IS sus ou sous-jacentes,

20 (31,7%) des hyperfixations focales au sein de l'arthrodèse évocateur de pseudarthrose, et enfin 18 (28,6%) des anomalies de fixation sacro-iliaques.

1.6.1.3. Scintigraphie osseuse TEMP/TDM :

Damgaard et al. (2010) (137):

Etude rétrospective de l'hyperfixation de 9 vis pédiculaires chez des patients ayant bénéficiés d'une arthrodèse PL lombaire. 6 des 9 hyperfixations correspondaient à des descellements du matériel. 3 étaient des faux positifs. A noter un descellement faussement négatif en scintigraphie.

Rager et al. (2012) (138):

Comparaison rétrospective de la TDM seule à la scintigraphie couplée à la TDM dans le diagnostic des pseudarthroses des arthrodèses vertébrales lombaires de 10 patients. Cette étude a mis en évidence quelques discordances entre les deux examens : les atteintes des articulations IAP étaient plus souvent observées en scintigraphie qu'en TDM (6 cas d'hyperfixation articulaire sans atteinte sur la TDM), alors que 3 des 5 instabilités de cage IS observées sur la TDM ne présentaient pas d'hyperfixation. Les instabilités de vis observées en TDM présentaient également une hyperfixation sur la TEMP (8 patients sur 10).

Sumer J et al. (2013) (12):

L'objectif de cette étude était de confirmer l'apport de l'imagerie hybride (TDM) associée à la TEMP. 29 patients présentant des douleurs lombaires post-arthrodèse avaient, au total, 62 anomalies de fixations sur les images planaires et TEMP contre 55 pour la TEMP/TDM. Pour 28 des 62 anomalies de fixation (soit 45,2%), le diagnostic de ces anomalies a été modifié par l'apport de l'imagerie hybride. Parmi les 12 patients classés « instabilité du matériel » sur les images planaires et TEMP, 5 ont été reclassés par la TEMP/TDM : 1 normal, 3 instabilités de l'arthrodèse et 1 indéterminé. 16/29 des instabilités de l'arthrodèse (fixation des articulations au sein de l'arthrodèse) sur les images planaires ont été reclassés sur la TEMP/TDM par : 9 instabilités du matériel, 3 normaux, 1 SMA et 3 indéterminés. Enfin 8 des 20 SMA sur les images planaires et la TEMP ont été reclassés sur la TEMP/TDM : 5 normaux, 1 instabilité du matériel, et 1 instabilité de l'arthrodèse.

Heimburger et al. (2015) (139):

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les critères diagnostiques principaux des anomalies de fixation en scintigraphie osseuse. 54 patients avec une arthrodèse vertébrale douloureuse ont bénéficié d'une scintigraphie osseuse et d'une prise en charge chirurgicale. Les sensibilités et spécificités étaient estimés à 88,2% et 93,9% pour la SMA ; 80,7% et 82,7% pour la pseudarthrose postérieure ; 100% et 60% pour la pseudarthrose IS ; et enfin 68,2% et 91,7% pour les descellements de matériel. Le gold-standard était la reprise chirurgicale pour 34 patients, pour 8 patients il était « clinico-interventionnels » (ajout de BMP ayant réduit les douleurs d'une

pseudarthrose, bloc test d'une SMA, fusion d'une SMA, infiltration du site d'une prise de greffe et deux cimentoplasties pour imputer deux fractures vertébrales).

Hudyana et al. (2016) (140):

Etude rétrospective de l'efficacité diagnostique de la scintigraphie TEMP/TDM pour l'instabilité des vis pédiculaires chez 48 patients. La scintigraphie était « vraie positive » si elle était concordante avec les données chirurgicales et le suivi clinico-radiologique en l'absence d'intervention. Elle était faussement positive si la chirurgie infirmait la scintigraphie, ou si la douleur s'amendait sans prise en charge chirurgicale. Les sensibilité et spécificité étaient élevées, estimées respectivement à 100% et 89,7%. 13 des 48 patients évalués avec une anomalie de fixation des vis dont 9 correctement diagnostiqués par la TEMP/TDM (8 confirmés chirurgicalement et 1 par le suivi). Donc 4 étaient faussement positives, 1 infirmée par l'évaluation chirurgicale, et 3 par le suivi (amélioration des douleurs sans prise en charge chirurgicale). Enfin les 35 scintigraphies négatives étaient de « vraies négatives » : 12 avec gold-standard chirurgical, 15 patients avec une diminution des douleurs et 8 avec des symptômes stables.

2. Matériels et méthodes :

2.1. Population :

Cette étude est une analyse rétrospective concernant 162 patients ayant bénéficié d'une scintigraphie osseuse dans un contexte d'arthrodèse vertébrale douloureuse, pour un total de 198 scintigraphies osseuses. Toutes les scintigraphies ont été réalisées à l'institut Calot de Berck / Mer entre août 2010 et avril 2017.

2.2. Scintigraphie osseuse :

Les scintigraphies osseuses ont été réalisées après injection intra-veineuse de 640 MBq de ^{99m}Tc -Oxidronate de sodium (hydroxyméthylène de bisphosphonate de sodium, HMDP), OSTEOCIS[®], CIS BIO INTERNATIONAL. L'ensemble des patients ont bénéficié d'un balayage corps entier (15 cm/min) et d'une TEMP couplée à une TDM 3h après injection du traceur. Les paramètres d'acquisition TEMP étaient de 64 projections de 20 secondes, suivi par une TDM de 130 keV et 80 à 120 mAs selon la morphologie du patient. Les acquisitions tomoscintigraphiques, sans et avec correction de l'atténuation, ont été reconstruites de manière itérative en OSEM 3D, par 7 itérations et 2 sous-ensembles, avec un filtre gaussien dont la largeur à mi-hauteur était à 8 mm.

Toutes les acquisitions ont été réalisées sur une gamma-caméra Symbia T2 (Siemens Medical Systems, Erlangen, Allemagne).

2.3. Critères d'interprétation :

L'ensemble des scintigraphies ont été analysées sans tenir compte de la prise en charge ultérieure, afin d'obtenir des critères d'interprétation objectifs ; les TDM ont également été étudiées dans le cadre de l'acquisition morphologique hybride.

2.3.1. Sur le plan scintigraphique, les critères d'interprétation, tels que décrit par Heimburger *et al.* et Hudyana *et al.* (139,140), étaient sur la TEMP couplée à la TDM :

- les foyers de fixation au sein de la fusion PL ou postérieure
- la fixation IS
- la fixation au contact du matériel : vis, crochets lamaires et cages
- les SMA des deux derniers étages mobiles sus et sous-jacents ainsi que des articulations sacro-iliaques pour les arthrodèses lombo-sacrées.

L'analyse ne prenait pas en compte :

- La fixation des espaces IS pour les patients sans espace IS libre, c'est-à-dire sans cage, ces espaces étaient évalués séparément.
- la fixation des matériels pour les patients ne possédant pas de vis, crochet ou cage.
- les patients dont l'arthrodèse s'étendait jusqu'au sacrum pour les SMA des IAP et des espaces IS, tout comme les patients avec des vis iliaques et sacrées pour les surcharges des articulations sacro-iliaques.

L'intensité de fixation était cotée en :

-0 : pas d'hyperfixation, c'est-à-dire non fixant ou dont l'intensité de fixation est similaire à celle de l'os « sain »

-1 : discrète, dont l'intensité fixation est légèrement supérieure à celle de l'os « sain ».

-2 : modérée, dont l'intensité de fixation est nettement supérieure à l'os « sain », et inférieure ou égale à la fixation des crêtes iliaques.

-3 : intense, dont l'intensité de fixation est supérieure à celle des crêtes iliaques.

L'hyperfixation était considérée comme significative si ≥ 2 .

Dans les cas où les massifs iliaques postérieurs n'étaient pas dans le champ d'acquisition de la TEMP, l'évaluation de l'intensité de fixation était basée sur l'intensité globale par rapport à l'os sain, aidé par le balayage corps entier.

2.3.2. Sur le plan scanographique, les critères évalués étaient (6,14,39):

-la masse de fusion postérieure ou PL : soit insuffisante (greffon peu abondant, sans signe d'arthrodèse), soit incomplète / solution de continuité (absence de continuité à au moins un étage de la masse de fusion à un étage), soit fusionnée. La fusion PL était considérée comme fusionnée en cas de pont osseux continu entre les processus transverses des différents niveaux de fusion.

-la fusion IS : absente/partielle ou fusionnée complète correspondant à la présence de pont osseux visibles entre les corps vertébraux.

-les bris de matériel : vis, plaques ou tiges, correspondant à un défaut de continuité au sein du matériel.

-les chambres de mobilisation des vis et des crochets lamaires, correspondant à une ostéolyse autour des vis.

De même que pour l'analyse scintigraphique, l'analyse ne prenait pas en compte la recherche de bris de matériel ou de chambre de mobilisation pour les patients sans vis, crochet ou tige.

2.4. Groupes :

Le suivi post-scintigraphie a permis de classer les scintigraphies dans deux groupes : les scintigraphie suivi d'une reprise chirurgicale effective ou d'une indication de reprise pour modification ou extension de l'arthrodèse (groupe « reprise »). Les scintigraphies sans indication de reprise chirurgicale étaient placées dans le groupe « suivi ».

Les patients dont le matériel d'arthrodèse vertébral a été enlevé après la scintigraphie étaient placés dans le groupe « ablation du matériel ». Ce classement rétrospectif s'est basé sur l'étude des comptes rendus d'hospitalisation ou de consultation qui ont suivi la scintigraphie osseuse. Le suivi était stoppé selon l'évolution de la pathologie ou en cas d'événement intercurrent (exemple : chute, modification de la symptomatologie...).

2.5. Statistiques :

Les différences de proportions des critères d'interprétations entre les groupes « reprise » et « suivi » ont été réalisées par un test de Khi^2 plus ou moins associé à une correction de Yates selon les effectifs. Des tests de Fisher ont été effectués afin de comparer le groupe « ablation de matériel » avec les groupes « reprise » et « suivi ». L'évaluation univariée des critères d'interprétation entre le groupe « reprise » et « suivi » a été réalisée par des odds-ratio. L'étude de la relation entre les critères d'interprétation a été réalisée par des corrélations ρ de Spearman.

Le seuil de significativité retenu était un $p < 0,05$.

Les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel MedCalc Statistical Software version 14.8.1 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium; <http://www.medcalc.org>; 2014).

3. Résultats :

3.1. Population :

Les caractéristiques des patients sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques de la population (n=198)

	Moyennes (intervalles de confiance à 95%) ou <i>n</i>
Sexe :	
Masculin	57
Féminin	141
Age	56,04 (53,70 – 58,37)
Suivi post-scintigraphie osseuse :	
-Groupe « reprise »	47
Changement ou extension de l'arthrodèse	29
Indication de changement ou d'extension de l'arthrodèse selon clinique ou évolution	18
-Ablation du matériel	7
-Groupe « suivi »	145
-Délai moyen entre pose de l'arthrodèse et la scintigraphie osseuse (en mois)	109,50 (93,40 – 125,61)
Délai ≤ 1 an	17
Délai > à 1 an et ≤ à 2 ans	31
Délai > à 2 ans et ≤ à 5 ans	49
Délai > 5 ans	101
Indications :	
Scoliose idiopathique ou neurologique	41
Scoliose dégénérative	28
Spondylolisthésis	62
Radiculopathie / conflit disco-radiculaire	43
Fracture vertébrale traumatique/ostéoporotique ou métastatique	17
Spondylarthropathie	3
Autres	4
Types d'arthrodèse :	
PL	121
IS	10
Circonférentielle	47
Autres	6
Avec ablation du matériel	14
Etages arthrodésés :	
Cervical	3
Cervico-thoracique ou thoracique	5
Lombaire (+/- sacré)	94
Cervico-thoraco-lombaire ou thoraco-lombaire (+/- sacré)	96

3.2. Les facteurs prédictifs de la reprise chirurgicale :

Les différentes études des potentiels facteurs prédictifs de la reprise chirurgicale vous seront présentées ci-dessous avec, dans l'ordre : l'évaluation de la fusion PL, l'évaluation de la fusion IS, le matériel et les SMA.

Tableau 6 : Évaluation de la fusion postéro-latérale en TEMP et TDM

	Reprise effectuée (n=29)		Reprise selon clinique (n=18)		Groupe reprise (n=47)		Ablation du matériel (n=7)		Groupe suivi (n=145)		Total (n=198)		« reprise » VS « suivi »
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	p
Nombre de foyers TEMP													
≥ 3	7	24,1	0	0	7	14,9	0	0	5	3,4	12	6,1	0,0135
2	4	13,8	3	16,7	7	14,9	1	14,3	5	3,4	13	6,6	0,0135
1	4	13,8	2	11,1	6	12,8	0	0	13	9,0	19	9,6	0,0013
Aucun	14	48,3	13	72,2	27	57,4	6	85,7	121	83,4	154	7,8	0,0005
Nombre de patients avec ≥ 1	15	51,7	5	27,8	20	42,6	1	14,3	23	15,9	44	22,2	0,0003
Fusion TDM													
Absence	6	20,7	3	16,7	9	19,1	3	42,9	12	8,3	30	15,2	NS
Incomplète	13	44,8	6	33,3	19	40,4	1	14,3	24	16,6	44	22,2	0,0013
Complète	10	34,5	9	50	19	40,4	3	42,9	108	74,5	124	62,6	<0,0001
Nombre de patients avec incomplète ou absente	19	65,5	9	50	28	59,6	4	57,1	36	24,8	74	37,4	<0,0001
Evaluation TEMP + TDM													
Foyer TEMP ≥ 1 <u>et</u> fusion incomplète ou absente TDM	9	31,0	3	16,7	12	25,5	1	14,3	7	4,8	13	6,6	0,0001
Foyer TEMP ≥ 1 <u>et</u> fusion <u>complète</u> TDM	6	20,7	2	11,1	8	17,0	0	0	16	11,0	24	12,1	NS
Foyer TEMP ≥ 1 <u>ou</u> fusion <u>incomplète ou absente</u> TDM	25	86,2	11	61,1	36	76,6	4	57,1	52	35,9	92	46,5	<0,0001

3.2.1. Évaluation de la fusion postéro-latérale :

Les critères d'interprétation de la fusion PL en TEMP et sur la TDM sont présentés dans le tableau 6.

En scintigraphie dans le groupe « reprise réalisée » : 51,7% présentaient au moins un foyer d'hyperfixation au sein de la fusion PL, 27,8% dans le groupe « reprise selon la clinique » (total : 42,6%) contre 15,9% dans le groupe « suivi ».

La proportion de scintigraphie avec au moins un foyer de fixation au sein de l'arthrodèse PL était significativement supérieure dans le groupe « reprise » ($p=0,0003$) et « reprise effectuée » ($p=0,0001$) comparativement aux scintigraphies dans le groupe « suivi ».

Sur la TDM, la fusion était au moins incomplète chez 65,5% dans le groupe « reprise effectuée » ; 50% dans le groupe « reprise selon clinique » (total : 59,6%), contre 24,8% de fusion pour le groupe sans indication de reprise chirurgicale.

La proportion d'arthrodèse PL fusionnée était significativement supérieure dans le groupe « suivi » comparativement au groupe « reprise » ($p<0,0001$) et aux sous-groupes « reprise effectuée » ($p<0,0001$) et « reprise selon clinique » ($p=0,0484$).

L'analyse de l'évaluation combinée de l'aspect scintigraphique et scanographique était également significative. 25,5% des scintigraphies avec au moins

une anomalie de fixation TEMP et une fusion incomplète sur la TDM étaient dans le groupe « reprise », contre 4,8% pour le groupe « suivi » ($p=0,0001$).

76,6% des scintigraphies avaient soit une anomalie de fixation soit une fusion incomplète dans le groupe avec « reprise », dont 86,2% dans le groupe avec « reprise effectuée », contre 35,9% dans le groupe « suivi » ($p<0,0001$ dans les deux cas).

Tableau 7 : Évaluation de la fusion intersomatique en TEMP et TDM (hors espace intersomatique avec cage)

	Reprise effectuée (n=25)		Reprise selon clinique (n=17)		Groupe reprise (n=42)		Ablation du matériel (n=7)		Groupe suivi (n=125)		Total (n=174)		« reprise » VS « suivi »
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	p
Hyperfixation d'au moins un étage sur la TEMP	7	28	4	23,5	11	26,2	0	0	8	6,4	19	10,9	0,0013
Absence de fusion complète TDM	24	96	13	76,5	37	88	7	100	96	76,8	140	80,5	NS
Evaluation TEMP + TDM													
<u>Hyperfixation</u> d'au moins un étage IS sur la TEMP et <u>absence de fusion</u> TDM	7	28	4	23,5	11	26,2	0	0	7	5,6	18	10,3	0,0006
<u>Hyperfixation</u> d'au moins un étage IS sur la TEMP et <u>fusion complète</u> sur la TDM	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,8	1	0,6	NS
<u>Hyperfixation</u> d'au moins un étage IS sur la TEMP ou <u>absence de fusion</u> TDM	24	96	13	76,5	37	88	7	100	96	76,8	140	80,5	NS
Pas d'hyperfixation des étages IS sur la TEMP et fusion sur la TDM	1	4	4	23,5	5	11,9	0	0	35	28,0	40	23,0	NS

3.2.2. Évaluation des espaces intersomatiques :

Les critères d'interprétation de la fusion IS en TEMP et sur la TDM sont présentés dans le tableau 7.

Au total, 174 scintigraphies permettaient l'évaluation des espaces IS (hors espace avec cage IS). La proportion des anomalies était de 10,9% avec au moins une hyperfixation d'un espace IS en TEMP ; en TDM, la majorité des espaces n'apparaissait pas significativement fusionnée, avec 80,5% d'absence de fusion.

La proportion de scintigraphie avec au moins une hyperfixation (intensité ≥ 2) était supérieure dans les différents groupes avec reprise ou d'indication de reprise que dans les groupes avec une absence d'indication de reprise pour modification ou extension de l'arthrodèse vertébrale. Dans le groupe « suivi », 6,4% présentaient au moins une hyperfixation d'un espace IS, contre 28% pour « reprise effectuée » ($p=0,0035$), 23,5% pour « reprise selon clinique » ($p=0,0552$) et 26,2% pour le groupe « reprise » total ($p=0,0013$).

L'interprétation de la fusion IS sur la TDM n'a pas mis en évidence de différence significative de la proportion de fusion entre les différents groupes. Il existait une tendance avec une fusion absente ou incomplète sur 76,8% des scintigraphies dans le groupe « suivi », contre 88% pour le groupe « reprise » total ($p=0,176$), et 96% pour le sous-groupe « reprise effectuée » ($p=0,0552$).

L'évaluation associée de l'aspect TEMP et TDM n'apportait pas d'élément supplémentaire car, sauf exception (1 sujet), toutes les scintigraphies avec hyperfixation(s) survenaient avec un aspect de fusion incomplète sur la TDM.

Tableau 8 : Évaluation en TEMP et TDM du matériel d'arthrodèse vertébrale

	Reprise effectuée		Reprise selon clinique		Groupe reprise		Ablation du matériel		Groupe suivi		Total		« reprise » VS « suivi »
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	<i>p</i>
Hyperfixation au contact d'au moins :													
une vis pédiculaire	6 / 28	21,4	0 / 17	0	6 / 45	13,3	0 / 7	0	2 / 113	1,8	8 / 166	4,8	0,0096
un crochet lamaire	0 / 9	0	0 / 4	0	0 / 13	0	0 / 2	0	1 / 34	2,9	1 / 49	2,0	0,6137
une vis iliaque	6 / 14	42,9	1 / 3	33,3	7 / 17	41,2	0 / 2	0	7 / 25	28	14 / 34	41,2	0,5784
Fixation d'au moins une cage IS	2 / 7	28,6	2 / 5	40,0	4 / 12	33,3	0 / 2	0	9 / 38	23,7	13 / 52	25,0	0,7742
Chambre de mobilisation :													
total	8 / 29	27,6	3 / 17	17,6	11 / 46	23,9	0 / 7	0	5 / 114	4,4	16 / 168	9,5	0,0006
hyperfixante	5 / 29	17,2	1 / 17	5,9	6 / 46	13,0	0 / 7	0	1 / 114	0,9	7 / 168	4,9	0,0029
non hyperfixante	3 / 29	10,3	2 / 17	11,8	5 / 46	10,9	0 / 7	0	4 / 114	3,5	9 / 168	5,4	0,1353
Bris de tige	7 / 28	25,0	4 / 17	23,5	11 / 45	24,4	0 / 7	0	17 / 114	14,9	28 / 166	16,9	0,2339
Bris de vis	3 / 28	10,7	1 / 17	5,9	4 / 45	8,9	0 / 7	0	4 / 111	3,6	8 / 163	4,2	0,3394

3.2.3. Évaluation des hyperfixations au contact du matériel et des bris de matériel :

Les critères d'interprétation des matériels et des chambres de mobilisation en TEMP et sur la TDM sont présentés dans le tableau 8.

L'analyse des fixations au contact des matériels met en évidence une proportion significativement plus importante dans le groupe « reprise » que dans le groupe « suivi » des hyperfixations au contact des vis pédiculaires (13,3% contre 1,8%, $p=0,0096$).

Hormis la fixation au contact d'un crochet lamaire (pour un seul patient dans le groupe « suivi »), la proportion des anomalies tend à être supérieure dans le groupe « reprise » comparativement au groupe « suivi » de manière non significative : vis iliaque (41,2% contre 28%, $p=0,578$), cage (33,3% contre 23,7%, $p=0,774$), bris de tige (24,4% contre 14,9%, $p=0,234$) et bris de vis (8,9% contre 3,6%, $p=0,339$).

Parmi les sous-groupes : on note une absence d'hyperfixation au contact des vis pédiculaires dans le groupe « reprise selon clinique » contre 21,4% dans le groupe « reprise effectuée », sans différence significative ($p=0,110$).

3.2.4. Evaluation des chambres de mobilisation :

L'évaluation des chambres de mobilisation autour des vis a mis en évidence une proportion significativement plus importante d'examen avec au moins une chambre de mobilisation dans le groupe « reprise » que dans le groupe « suivi » (23,9% contre 4,4%, $p=0,0006$), tout comme la proportion d'examen avec une chambre de mobilisation hyperfixante (13,0% contre 0,9%, $p=0,0029$).

Au total, l'analyse des hyperfixations ou anomalies du matériel d'arthrodèse montre une différence significative des proportions des scintigraphies avec au moins une hyperfixation au contact d'une vis pédiculaire, la présence d'une chambre de mobilisation ou la fixation d'une chambre de mobilisation dans le groupe « suivi » que dans le groupe « reprise ».

Tableau 9 : Évaluation des surcharges mécaniques sus et sous-jacentes

	Reprise effectuée		Reprise selon clinique		Groupe reprise		Ablation du matériel		Groupe suivi		Total		« reprise » VS « suivi »
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	p
Surcharge mécanique sus-jacente	5 / 29	17,2	7 / 18	38,8	12 / 47	25,5	0 / 7	0	29 / 144	20,1	36 / 198	18,1	NS
IAP	3 / 29	10,3	2 / 18	11,1	5 / 47	10,6	0 / 7	0	12 / 144	8,3	17 / 198	8,6	NS
IS	4 / 29	13,8	5 / 18	27,8	9 / 47	19,1	0 / 7	0	18 / 144	12,5	27 / 198	13	NS
Surcharge mécanique sous-jacente	6 / 14	42,9	1 / 15	6,7	7 / 29	24,1	0 / 5	0	13 / 123	10,6	20 / 157	12,7	NS
IAP	1 / 6	16,7	1 / 5	20	2 / 11	18,2	0 / 5	0	7 / 59	11,9	9 / 75	12	NS
IS	0 / 6	0	0 / 5	0	0 / 11	0	0 / 5	0	4 / 59	6,8	4 / 75	5,3	NS
Sacro-iliaque	5 / 13	38,5	0 / 14	0	5 / 27	18,5	0 / 3	0	8 / 97	8,2	13 / 127	10,2	NS
Surcharge mécanique sus et sous-jacente	2 / 14	14,3	1 / 15	6,7	3 / 29	10,3	0 / 5	0	4 / 123	3,3	10 / 157	6,4	NS
Surcharge mécanique sus ou sous-jacente	5 / 14	35,7	6 / 15	40,0	11 / 29	37,9	0 / 5	0	31 / 123	25,2	42 / 157	26,8	NS

3.2.5. Évaluation des surcharges mécaniques sus et sous-jacentes :

Les critères d'interprétation des SMA en TEMP sont présentés dans le tableau 9.

L'analyse des surcharges mécaniques sus et sous-jacente a mis en évidence une proportion plus importante de scintigraphies avec une hyperfixation d'une surcharge sus-jacente ou sous-jacente, mais sans différence significative. Au total, 18,1% et 12,7% présentaient respectivement une hyperfixation d'au moins une articulation sus ou sous-jacente d'un des deux derniers étages mobiles.

La proportion d'anomalie des surcharges mécaniques sus-jacentes des articulations IAP et IS étaient de 8,6% et 13%. Le taux de scintigraphies avec au moins une hyperfixation d'une articulation d'un des étages mobiles sus-jacents était de 25,5% dans le groupe « reprise » contre 20,1% dans le groupe « suivi » ($p=0,564$) sans différence significative.

La proportion des SMA des IAP et des espaces IS étaient estimées à 10,6% et à 19,1% dans le groupe « reprise » contre 8,3% et 12,5% dans le groupe « suivi », également sans différence significative ($p=0,852$ et $p=0,371$)

Concernant les surcharges mécaniques sous-jacentes, la proportion de scintigraphies avec des atteintes des IAP était de 12%, des espaces IS 5,3% et des articulations sacro-iliaques 10,2%. Le taux de scintigraphies avec au moins une hyperfixation d'une articulation d'un des étages mobiles sous-jacents était de 24,1% dans le groupe « reprise » contre 10,6% dans le groupe « suivi », sans différence significative ($p=0,101$).

Au total, la proportion des scintigraphies avec une hyperfixation des étages mobiles sous-jacents des articulations IAP était de 12%, des espaces IS était de 5,3% et des articulations sacro-iliaques était de 10,2%. Les différences de proportion n'étaient pas significatives entre les groupes « reprise » et « suivi » pour les articulations IAP (18,2% contre 11,9%, $p=0,933$), les espaces IS (0% contre 6,8%, $p=0,856$) et les articulations sacro-iliaques (18,5% contre 8,2%, $p=0,236$).

L'association d'une anomalie de fixation des étages mobiles sus et sous-jacents était estimé au total à 6,4%, prédominant dans le groupe « reprise » (10,3%) comparativement au groupe « suivi » (3,3%), sans différence significative ($p=0,251$).

Au total, les anomalies de surcharge sus et sous-jacente prédomine dans le groupe « reprise » comparativement au groupe « suivi », mais sans différence significative.

3.2.6. Ablation du matériel

Les comparaisons entre le groupe « ablation de matériel » et les groupes « reprise » et « suivi » n'ont pas montré de résultats significativement différents. Toutefois, on note certaines tendances dans le groupe « ablation de matériel », notamment l'absence d'hyperfixation au contact des matériels, de chambre de mobilisation et de SMA.

Seule une scintigraphie osseuse présentait un foyer de fixation au sein de la fusion PL, alors que la fusion paraissait incomplète ou absente sur 57,1% des scintigraphies (4/7).

Toutes les scintigraphies osseuses dans ce groupe ne présentaient pas d'hyperfixation des espaces IS, mais la fusion n'apparaissait pas complète à ce niveau.

Tableau 10 : Comparaison des critères d'interprétation TEMP et TDM entre le groupe « ablation de matériel » et les groupes « reprise » et « suivi »

	Reprise		Suivi		Ablation du matériel		Reprise VS Ablation	Suivi VS Ablation
	n	%	n	%	n	%	p^*	p^*
Foyer de fixation PL en TEMP	20/47	42,6	23/144	15,9	1/7	14,3	0,227	NS
Fusion incomplète ou absente PL sur TDM	28/47	59,6	36/144	24,8	4/7	57,1	1	NS
Hyperfixation d'un espace IS	11/42	26,2	8/125	6,4	0/7	0	0,325	NS
Absence de fusion IS sur TDM	37/42	88,0	96/125	76,8	7/7	100	1	NS
Hyperfixation d'une vis pédiculaire	6/45	13,3	2/113	1,8	0/7	0	0,580	NS
Hyperfixation d'une vis iliaque	7/17	41,2	7/25	28,0	0/2	0	0,509	NS
Hyperfixation d'une cage IS	4/12	33,3	9/38	23,7	0/2	0	1	NS
Chambre de mobilisation sur TDM	11/46	23,6	5/114	4,4	0/7	0	0,322	NS
Fixation d'une chambre de mobilisation	6/46	13	1/114	0,9	0/7	0	0,582	NS
Bris de tige	11/45	24,4	17/117	14,9	0/7	0	0,322	NS
Bris de vis	4/45	8,9	4/111	3,6	0/7	0	1	NS
Surcharge sus-jacente	12/47	25,5	29/144	20,1	0/7	0	0,328	NS
Surcharge sous-jacente	7/29	24,1	13/123	10,6	0/5	0	0,559	NS

*Test de Fisher

Tableau 11 : Odds-ratios des critères d'interprétation en TEMP/TDM de scintigraphie osseuse de la reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale

Critères d'interprétation	Reprise		Suivi		Odds ratio (IC 95%)
	n	%	n	%	
Foyer de fixation PL en TEMP	20/47	42,6	23/144	15,9	3,929 (1,894 – 8,153)
Fusion incomplète ou absente PL sur TDM	28/47	59,6	36/144	24,8	4,462 (2,230 – 8,930)
Foyer de fixation PL en TEMP <u>et</u> fusion incomplète ou absente PL sur TDM	12/47	25,6	7/137	5,1	6,759 (2,479 – 18,433)
Hyperfixation d'un espace IS	11/42	26,2	8/125	6,4	5,190 (1,922 – 14,009)
Absence de fusion IS sur TDM	37/42	88,0	96/125	76,8	2,235 (0,804 – 6,212)
Hyperfixation d'une vis pédiculaire	6/45	13,3	2/113	1,8	8,538 (1,654 – 44,079)
Hyperfixation d'une vis iliaque	7/17	41,2	7/25	28	1,800 (0,490 – 6,618)
Hyperfixation d'une cage IS	4/12	33,3	9/38	23,7	1,611 (0,392 – 6,627)
Chambre de mobilisation sur TDM	11/46	23,9	5/114	4,4	6,851 (2,227 – 21,075)
Bris de tige	11/45	24,4	17/117	14,9	1,846 (0,787 – 4,333)
Bris de vis	4/45	8,9	4/111	3,6	2,610 (0,623 – 10,926)
Surcharge sus-jacente	12/47	25,5	29/144	20,1	1,360 (0,628 – 2,942)
Surcharge sous-jacente	7/29	24,1	13/123	10,6	2,692 (0,964 – 7,516)
Surcharge sus- <u>et</u> sous-jacente	3/29	10,3	4/123	3,3	3,433 (0,725 – 16,270)
Surcharge sus- <u>ou</u> sous-jacente	11/29	37,9	31/123	25,2	1,814 (0,773 – 4,258)
Total	158/464	34,1	249/1322	18,8	2,939 (2,230 – 3,874)

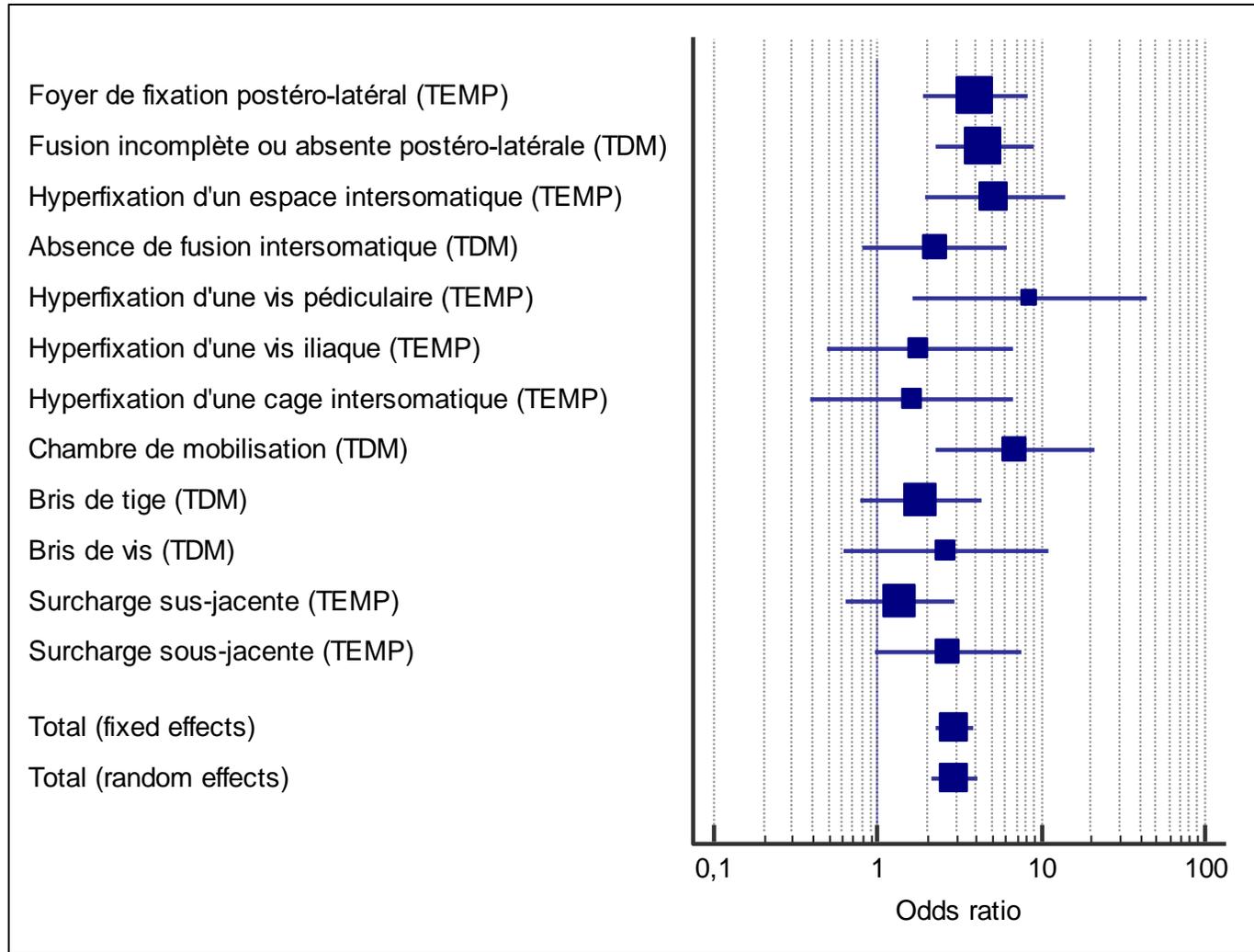


Figure 31 : Graphique en forêt des odds-ratio des critères d'interprétation en TEMP/TDM de scintigraphie osseuse de la reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale.

Tableau 12 : Odds-ratios de l'association des 5 facteurs significatifs de la reprise chirurgicale : Foyer de fixation PL / Fusion PL incomplète ou absente / Hyperfixation d'un espace IS / Hyperfixation d'une vis pédiculaire / Chambre de mobilisation

Critères d'interprétation	Reprise		Suivi		Odds ratio (IC 95%)
	n	%	n	%	
≥ 1	37 / 47	78,7	55 / 144	38,2	5,987 (2,758 – 12,991)
≥ 2	23 / 47	48,9	14 / 144	9,7	9,709 (4,368 – 21,681)
≥ 3	14 / 47	29,8	4 / 135	3,0	13,894 (4,291 – 44,989)
≥ 4	2 / 45	4,4	0 / 114	0	13,161 (0,619 – 279,687)
5	0 / 39	0	0 / 103	0	X

3.2.7. Rapport des côtes des critères d'interprétation :

Les odds-ratios des facteurs prédictifs de la reprise chirurgicale sont présentées dans les tableaux 11 et 12 et sur la figure 31.

Par analyse-univariée, la présence d'anomalie sur la TEMP/TDM de la fusion PL (foyer de fixation (OR=3,9, $p=0,0002$) ou fusion incomplète/absente (OR=4,5, $p<0,0001$)), d'une hyperfixation d'un espace IS (hors cage) au sein de l'arthrodèse (OR=5,2, $p=0,0012$), d'une hyperfixation au contact d'une vis pédiculaire (OR=8,5, $p=0,0104$) et la présence d'une chambre de mobilisation (OR=6,9, $p=0,0008$) étaient liées le risque de reprise de chirurgicale dans notre population.

L'association d'une anomalie TEMP et TDM de la fusion PL était également significativement liée à la reprise opératoire (OR=6,8, $p=0,0002$).

En revanche, on notait une tendance à l'augmentation du risque de reprise chirurgicale pour les autres critères (OR > 1), mais sans différence significative. Les odds-ratio étaient pour l'absence de fusion IS de 2,2 ($p=0,13$), pour l'hyperfixation des vis iliaques et des cages IS de 1,8 ($p=0,38$) et 1,6 ($p=0,51$), pour les bris de tige et de vis de 1,8 ($p=0,58$) et 2,6 ($p=0,19$), et enfin pour les surcharges mécaniques sus et sous-jacentes de 1,4 ($p=0,44$) et 2,7 ($p=0,06$).

A noter, une nette absence de significativité de l'hyperfixation au contact des crochets lamaires (OR=0,83) en raison d'une seule hyperfixation au total, dans le groupe « reprise ».

L'association des critères d'interprétation significatifs (foyer de fixation PL / fusion PL incomplète ou absente / hyperfixation d'un espace IS / hyperfixation d'une

vis pédiculaire / chambre de mobilisation) montre des OR significativement $>$ à 1. La présence d'au moins un des critères est associé à un OR=6,0 ($p<0,0001$), au moins deux critères à OR=9,7 ($p<0,0001$) et à au moins 3 critères à OR=13,9 ($p<0,0001$). La présence d'au moins 4 critères était non significative, malgré un OR=13,2 ($p=0,10$), en raison de seulement deux scintigraphies au total avec au moins 4 des 5 critères.

Tableau 13 : Corrélation des critères d'évaluation TEMP/TDM en scintigraphie osseuse de l'arthrodèse vertébrale

Corrélation de Spearman (ρ et p)	Fixation PL TEMP	Fusion PL TDM	Fixation IS TEMP	Fusion IS TDM	Fixation vis pédiculaire	Fixation vis iliaque	Chambre de mobilisation	Fixation chambre de mobilisation	Fixation cage IS	Bris de tige	Bris de vis	Surcharge sus-jacente	Surcharge sous-jacente
Foyer PL TEMP													
Fusion PL TDM	0,122 NS (n=191)												
Fixation IS TEMP	0,269 0,0005 (n=165)	0,293 0,0001 (n=165)											
Fusion IS TDM	0,195 0,0123 (n=165)	0,243 0,0016 (n=165)	0,137 NS (n=165)										
Fixation vis pédiculaire	0,158 0,0480 (n=158)	0,255 0,0012 (n=158)	0,011 NS (n=142)	0,105 NS (n=142)									
Fixation vis iliaque	0,237 NS (n=42)	0,173 NS (n=42)	0,246 NS (n=42)	-0,196 NS (n=42)	0,289 0,0637 (n=42)								
Chambre de mobilisation	-0,048 NS (n=160)	0,411 <0,0001 (n=160)	0,230 0,0058 (n=143)	0,152 NS (n=143)	0,234 0,0031 (n=158)	0,144 NS (n=42)							
Fixation chambre de mobilisation	0,088 NS (n=160)	0,322 <0,0001 (n=160)	0,043 NS (n=143)	0,088 NS (n=143)	0,402 <0,0001 (n=158)	0,287 NS (n=42)	0,642 <0,0001 (n=160)						
Fixation cage IS	0,239 NS (n=50)	0,161 NS (n=50)	-0,192 NS (n=26)	0,241 NS (n=26)	-0,141 0,3845 (n=40)	-0,179 NS (n=11)	0,118 NS (n=41)	0,261 NS (n=41)					
Bris de tige	0,338 <0,0001 (n=159)	-0,026 NS (n=159)	0,047 NS (n=143)	0,222 0,0077 (n=143)	-0,010 NS (n=156)	-0,278 NS (n=40)	-0,089 NS (n=157)	-0,094 NS (n=157)	0,158 NS (n=40)				
Bris de vis	-0,001 NS (n=156)	-0,033 NS (n=156)	-0,088 NS (n=140)	0,107 NS (n=140)	-0,168 NS (n=40)	-0,168 NS (n=40)	-0,079 NS (n=156)	-0,050 NS (n=156)	-0,141 NS (n=40)	-0,023 NS (n=156)			
Surcharge sus-jacente	0,061 NS (n=191)	-0,175 0,0157 (n=191)	-0,057 NS (n=165)	0,058 NS (n=165)	-0,038 NS (n=158)	0,153 NS (n=42)	-0,176 0,0257 (n=160)	-0,113 NS (n=160)	0,024 NS (n=50)	0,028 NS (n=159)	0,157 NS (n=156)		
Surcharge sous-jacente	0,028 NS (n=151)	0,004 NS (n=151)	-0,111 NS (n=125)	0,019 NS (n=125)	-0,035 NS (n=118)	X (n= 3)	-0,112 NS (n=120)	-0,063 NS (n=120)	0,015 NS (n=39)	-0,013 NS (n=119)	0,026 NS (n=116)	0,119 NS (n=151)	

3.3. Corrélation entre les critères d'interprétations :

L'ensemble des corrélations sont présentées dans le tableau 13.

La présence d'au moins un foyer de fixation dans la fusion PL était corrélée à la présence d'au moins une fixation d'un espace IS (ρ de Spearman=0,269, $p=0,0005$), à l'absence de fusion IS ($\rho=0,195$, $p=0,0123$), à la présence d'hyperfixation au contact des vis pédiculaires ($\rho=0,158$, $p=0,0480$), et enfin avec une association plus forte aux bris de tige ($\rho=0,338$, $p<0,0001$). A noter l'absence de corrélation entre les foyers de fixation PL et la fusion incomplète ou absente sur la TDM ($\rho=0,122$, $p=0,0929$).

La fusion incomplète ou absente PL sur la TDM était liée à l'évaluation IS : à la présence d'au moins une hyperfixation IS au sein de l'arthrodèse ($\rho=0,293$, $p=0,0001$) et l'absence de fusion IS ($\rho=0,243$, $p=0,0016$). Les anomalies de fusion TDM PL étaient également positivement corrélées à la présence d'hyperfixation au contact des vis pédiculaires ($\rho=0,255$, $p=0,0012$). Contrairement aux anomalies TEMP de la masse de fusion PL, les anomalies de fusion TDM PL étaient fortement corrélées à la présence d'au moins une chambre de mobilisation ($\rho=0,411$, $p<0,0001$) ou d'une hyperfixation d'une chambre de mobilisation ($\rho=0,322$, $p<0,0001$).

Evoqué précédemment, les anomalies TEMP et TDM des espaces IS étaient corrélés positivement et significativement aux anomalies TEMP et TDM de la fusion PL. La présence d'au moins une hyperfixation d'un espace IS (hors cage) était également corrélée positivement à la présence d'au moins une chambre de mobilisation ($\rho=0,230$, $p=0,0058$). L'absence de fusion TDM IS était corrélée positivement aux bris de tige ($\rho=0,222$, $p=0,0077$).

La présence d'au moins une hyperfixation des vis pédiculaires, en plus d'être corrélée positivement aux anomalies TEMP et TDM de la fusion PL, était également corrélée positivement à la présence d'au moins une chambre de mobilisation sur la TDM ($\rho=0,234$, $p=0,0058$) et à la fixation d'une chambre de mobilisation sur la TEMP ($\rho=0,402$, $p<0,0001$).

Les surcharges mécaniques sus-jacentes étaient corrélées négativement à la fusion incomplète ou absente de la masse de fusion PL ($\rho=-0,0175$, $p=0,0157$) et à la présence de chambre de mobilisation ($\rho=-0,176$, $p=0,0257$).

Enfin, les anomalies de fixation au contact des cages IS et les bris de vis ne présentaient pas de corrélation significative avec les autres critères d'interprétation.

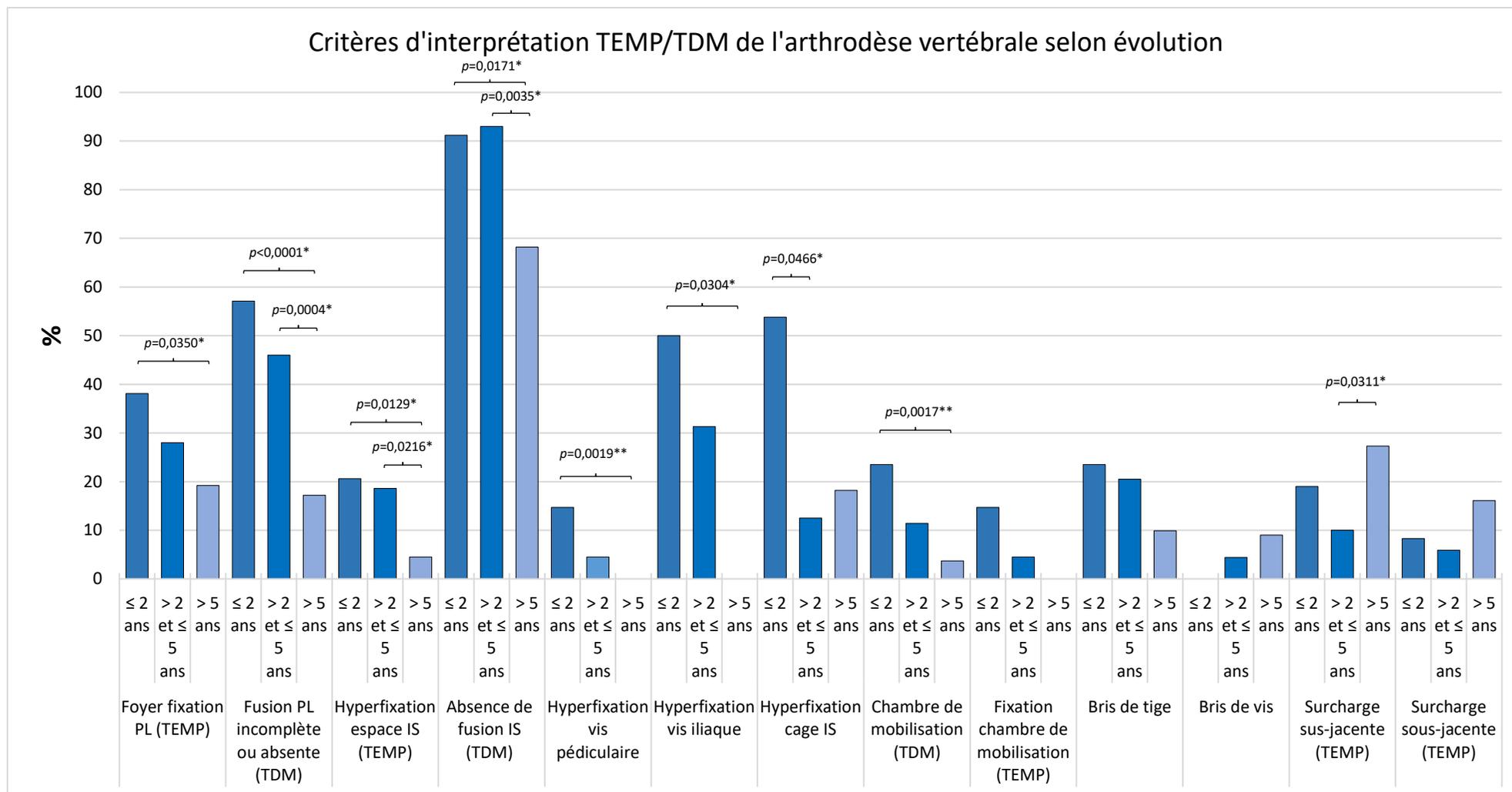


Figure 32 : Histogramme des critères d'interprétation TEMP/TDM de la scintigraphie osseuse de l'arthrodèse vertébrale selon le délai entre la dernière intervention chirurgicale de l'arthrodèse et la scintigraphie osseuse

*différence significative par un test de χ^2 ; **différence significative par un test de Fisher

Tableau 14 : Évaluation des critères d'interprétation de la TEMP/TDM en scintigraphie osseuse de l'arthrodèse vertébrale selon le délai post-opératoire de la scintigraphie osseuse

	Délai ≤ 2 ans								Délai > 2 ans et ≤ 5 ans								Délai > 5 ans							
	reprise (n=14)		suivi (n=28)		p	total (n=42)		reprise (n=15)		suivi (n=35)		p	total (n=50)		reprise (n=18)		suivi (n=81)		p	Total (n=99)				
	n	%	n	%		n	%	n	%	n	%		n	%	n	%	n	%		n	%			
Foyer de fixation PL (TEMP)	8 / 14	57,1	8 / 28	28,6	NS	16 / 42	38,1	9 / 15	60	5 / 35	14,2	0,0037	14 / 50	28,0	3 / 18	16,7	10 / 81	12,3	NS	19 / 99	19,2			
Fusion PL incomplète ou absente (TDM)	11 / 14	78,6	13 / 28	46,4	NS	24 / 42	57,1	12 / 15	80	11 / 35	31,4	0,0044	23 / 50	46,0	5 / 18	27,8	12 / 81	14,8	NS	17 / 99	17,2			
Hyperfixation d'un espace IS (TEMP)	5 / 11	45,5	2 / 23	8,7	NS	7 / 34	20,6	5 / 14	33,3	3 / 29	10,3	NS	8 / 43	18,6	1 / 15	6,7	3 / 73	4,1	NS	4 / 88	4,5			
Absence de fusion IS (TDM)	11 / 11	100	13 / 16	81,3	NS	31 / 34	91,2	14 / 14	100	26 / 29	89,7	NS	40 / 43	93,0	10 / 15	66,7	50 / 73	6,8	NS	60 / 88	68,2			
Hyperfixation d'une vis pédiculaire	5 / 14	35,7	0 / 20	0	0,0163	5 / 34	14,7	1 / 14	7,1	1 / 30	3,3	NS	2 / 44	4,5	0 / 17	0	0 / 63	0	X	0 / 80	0			
Hyperfixation d'une vis iliaque	5 / 8	62,5	4 / 10	40	NS	9 / 18	50	2 / 7	28,6	3 / 8	37,5	NS	5 / 16	31,3	0 / 2	0	0 / 7	0	X	0 / 9	0			
Hyperfixation d'une cage IS	2 / 4	50	5 / 9	55,6	NS	7 / 13	53,8	0 / 3	0	2 / 12	16,7	NS	2 / 16	12,5	2 / 5	40,0	2 / 17	11,8	NS	4 / 22	18,2			
Chambre de mobilisation (TDM)	6 / 14	42,9	2 / 20	10	NS	8 / 34	23,5	4 / 14	28,6	1 / 30	3,3	NS	5 / 44	11,4	1 / 18	5,6	2 / 64	3,1	NS	3 / 82	3,7			
Fixation d'une chambre de mobilisation (TEMP)	4 / 14	28,6	1 / 20	5	NS	5 / 34	14,7	2 / 14	14,3	0 / 30	0	NS	2 / 44	4,5	0 / 18	0	0 / 64	0	X	0 / 82	0			
Bris de tige	3 / 14	21,4	5 / 20	25	NS	8 / 34	23,5	5 / 14	35,7	4 / 30	13,3	NS	9 / 44	20,5	3 / 17	17,6	5 / 64	7,8	NS	8 / 81	9,9			
Bris de vis	0 / 14	0	0 / 20	0	X	0 / 34	0	2 / 12	16,7	0 / 30	0	NS	2 / 45	4,4	3 / 17	17,6	4 / 61	6,6	NS	7 / 78	9,0			
Surcharge sus-jacente	3 / 14	21,4	5 / 28	17,9	NS	8 / 42	19,0	2 / 15	13,3	3 / 34	8,8	NS	5 / 50	10,0	6 / 18	33,3	21 / 81	25,9	NS	27 / 99	27,3			
Surcharge sous-jacente	0 / 6	0	2 / 18	11,1	NS	2 / 24	8,3	1 / 7	14,3	1 / 27	3,7	NS	2 / 34	5,9	5 / 16	31,3	10 / 77	13,0	NS	15 / 93	16,1			

3.4. Effet du délai post-opératoire sur les critères d'interprétation :

L'effet du délai post-opératoire sur les critères d'interprétation est présenté sur la figure 32 et le tableau 14.

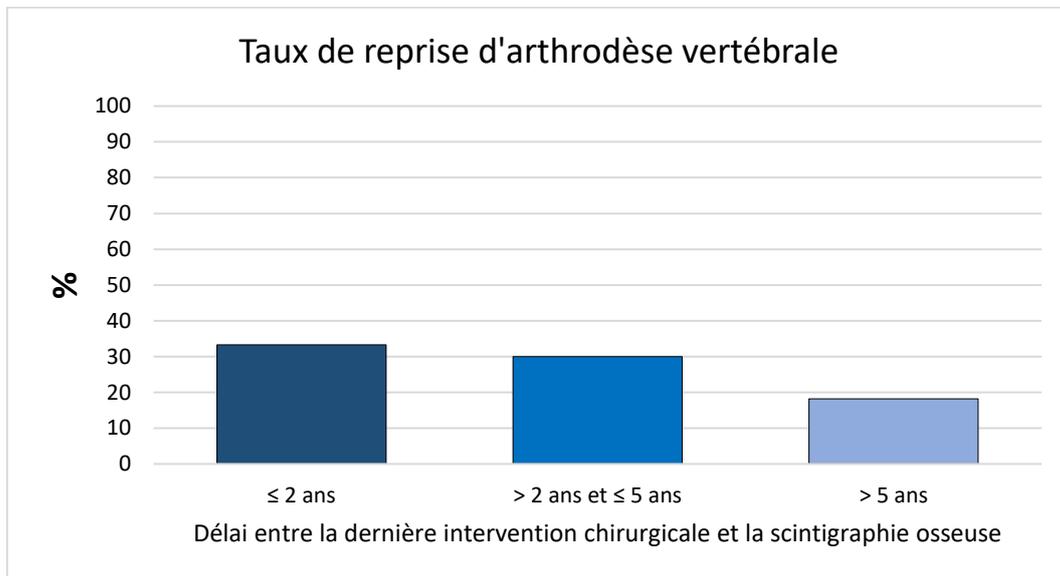


Figure 33 : Histogramme de la proportion des scintigraphies osseuses avec reprise chirurgicale après l'examen selon le délai entre la dernière intervention chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale et la scintigraphie osseuse.

Le taux de reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale post-scintigraphie était plus important lorsque le délai entre la scintigraphie osseuse et la dernière intervention chirurgicale de l'arthrodèse était inférieure ou égale à 2 ans (33,3%) ou entre 2 et 5 ans (30%, 15/50) que pour les scintigraphies osseuses réalisées plus de 5 ans après la dernière intervention chirurgicale de l'arthrodèse (18,2%), sans différence significative (respectivement $p=0,0811$ et $p=0,1523$).

Les critères dont la proportion diminue avec le délai entre la dernière intervention chirurgicale et la scintigraphie osseuse sont : les foyers de fixation au sein

de la fusion PL, la fusion incomplète ou absente de la fusion PL, les hyperfixations des espaces IS au sein de l'arthrodèse, les hyperfixations au contact des vis pédiculaires et iliaques, les chambres de mobilisation et leur fixation et les bris de tige.

Les différences sont significatives pour :

- les foyers de fixation au sein de la fusion PL (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 38,1% contre 19,2%, $p=0,0305$) ;

- la fusion incomplète ou absente de la fusion PL (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 57,1% contre 17,2%, $p<0,0001$; et entre 2 et 5 ans et > 5 ans : 46% contre 17,2%, $p=0,0004$) ;

- l'hyperfixation des espaces IS (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 20,6% contre 4,5%, $p=0,0129$; et entre 2 et 5 ans et > 5 ans : 18,6% contre 4,5%, $p=0,0216$) ;

- l'hyperfixation au contact des vis pédiculaire (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 14,7% contre 0%, $p=0,0019$) et des vis iliaques (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 50% contre 0%, $p=0,0304$) ;

- la présence de chambre de mobilisation (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 23,5% contre 3,7%, $p=0,0017$).

L'absence de fusion des espaces IS est stable entre les scintigraphies réalisées moins de 2 ans et entre 2 et 5 ans après la dernière intervention chirurgicale (91,2% et 93%, $p=0,8983$), mais l'absence de fusion diminue sur les scintigraphies réalisées à plus de 5 ans de l'intervention chirurgicale (entre ≤ 2 ans et > 5 ans : 91,2% contre 68,2%, $p=0,0171$; et entre 2 et 5 ans et > 5 ans : 93% contre 68,2%, $p=0,0035$).

La présence d'une hyperfixation au contact des cages IS est plus fréquente sur les scintigraphies osseuses réalisées moins de 2 ans après la dernière intervention

chirurgicale, avec une différence significative avec celles réalisées entre 2 et 5 ans après la dernière chirurgie de l'arthrodèse (53,8% contre 12,5, $p=0,0466$).

La surcharge mécanique sus-jacente est plus fréquente sur les scintigraphies réalisées plus de 5 ans après la dernière intervention chirurgicale avec une différence significative avec les scintigraphies osseuses effectuées 2 à 5 ans après la dernière chirurgie (27,3% contre 10%, $p=0,0311$). La proportion de surcharge mécanique sous-jacente est également plus importante sur les scintigraphies réalisées 5 ans après la dernière intervention, mais sans différence significative.

L'analyse en sous-groupe des proportions des critères d'interprétation selon le délai post-chirurgical de la scintigraphie osseuse est présentée dans le tableau 14.

L'évaluation de la fusion PL et IS en TEMP et TDM montre une proportion plus importante de scintigraphies avec des anomalies dans le groupe « reprise » que dans le dans le groupe « suivi » (en dehors de la proportion de l'absence de fusion TDM IS pour le délai > 5 ans (« reprise » : 66,7%, « suivi » : 68,5%), avec des différences significatives pour l'évaluation TEMP et TDM de la fusion PL pour les scintigraphies réalisées entre 2 et 5 ans après la chirurgie :

-foyer de fixation PL : « reprise » : 60%, « suivi » : 14,2% ($p=0,0037$)

-fusion PL TDM au moins incomplète : « reprise » : 80%, « suivi » : 31,4% ($p=0,0044$).

Pour les délais ≤ 2 ans et entre 2 et 5 ans, la proportion d'hyperfixation des vis pédiculaires était plus importante sur les scintigraphies suivies d'une reprise ou d'une

indication chirurgicale, avec une différence significative pour les scintigraphies osseuses réalisées moins de 2 ans après la dernière intervention (35,7% contre 0%, $p=0,0163$).

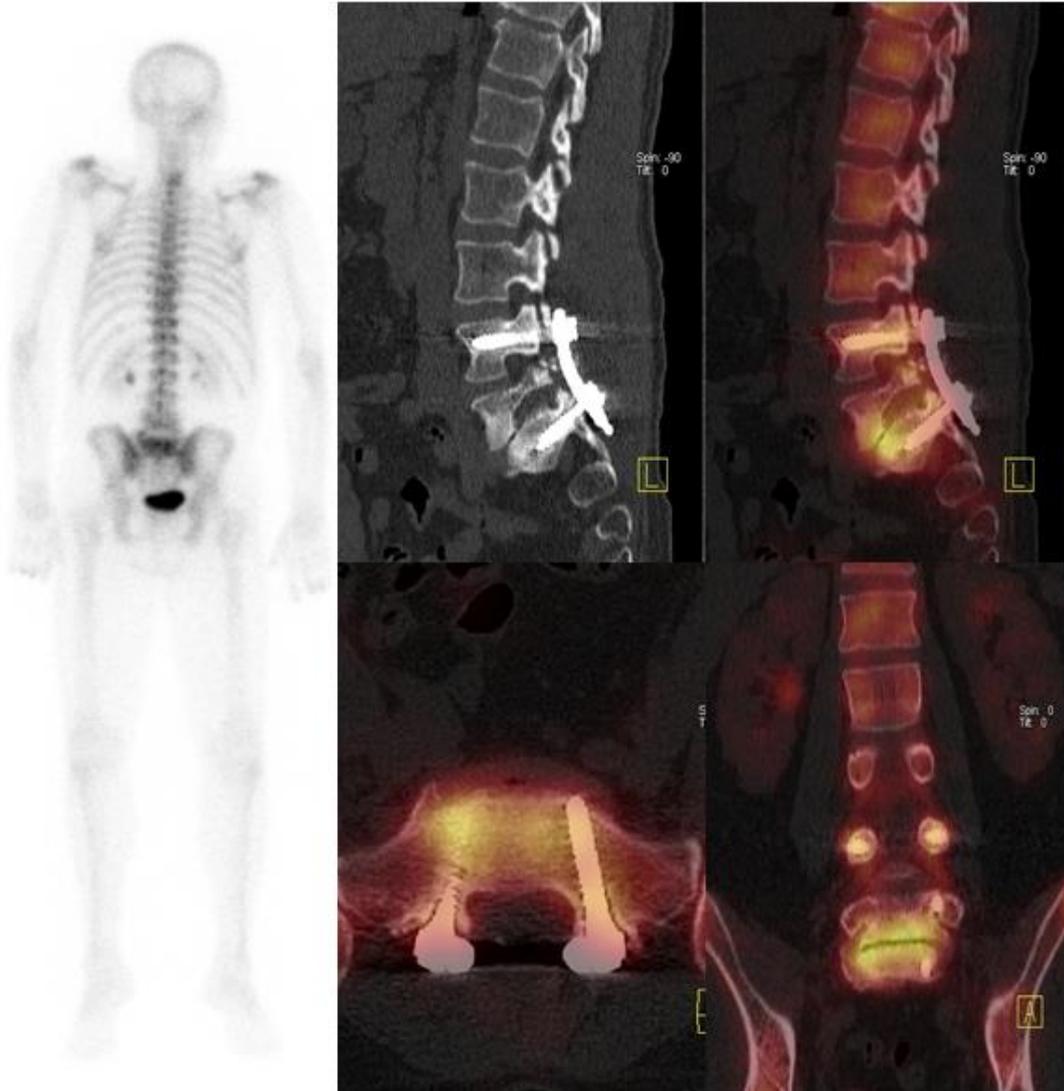
L'hyperfixation au contact des vis iliaques n'était pas significativement différente entre les groupes « reprise » et « suivi » ; la proportion d'hyperfixation était plus importante dans le groupe « reprise » pour les scintigraphies dont le délai est inférieur à 2 ans (62,5% contre 40%, $p=0,6371$) et plus importante dans le groupe « suivi » pour les scintigraphies dont le délai est entre 2 et 5 ans (37,5% contre 28,6%, $p=0,8548$).

Le taux de scintigraphie osseuse avec au moins une chambre de mobilisation, ou une hyperfixation d'une chambre de mobilisation était plus important dans les groupes « reprise » que dans les groupes « suivi », mais sans différence significative.

Les proportions de bris de tige ou vis, ou de surcharge mécanique sus et sous-jacente ne présentaient pas non plus de différence significative entre les groupes « reprise » et « suivi ».

4. Cas Cliniques

4.1. Cas clinique 1 :

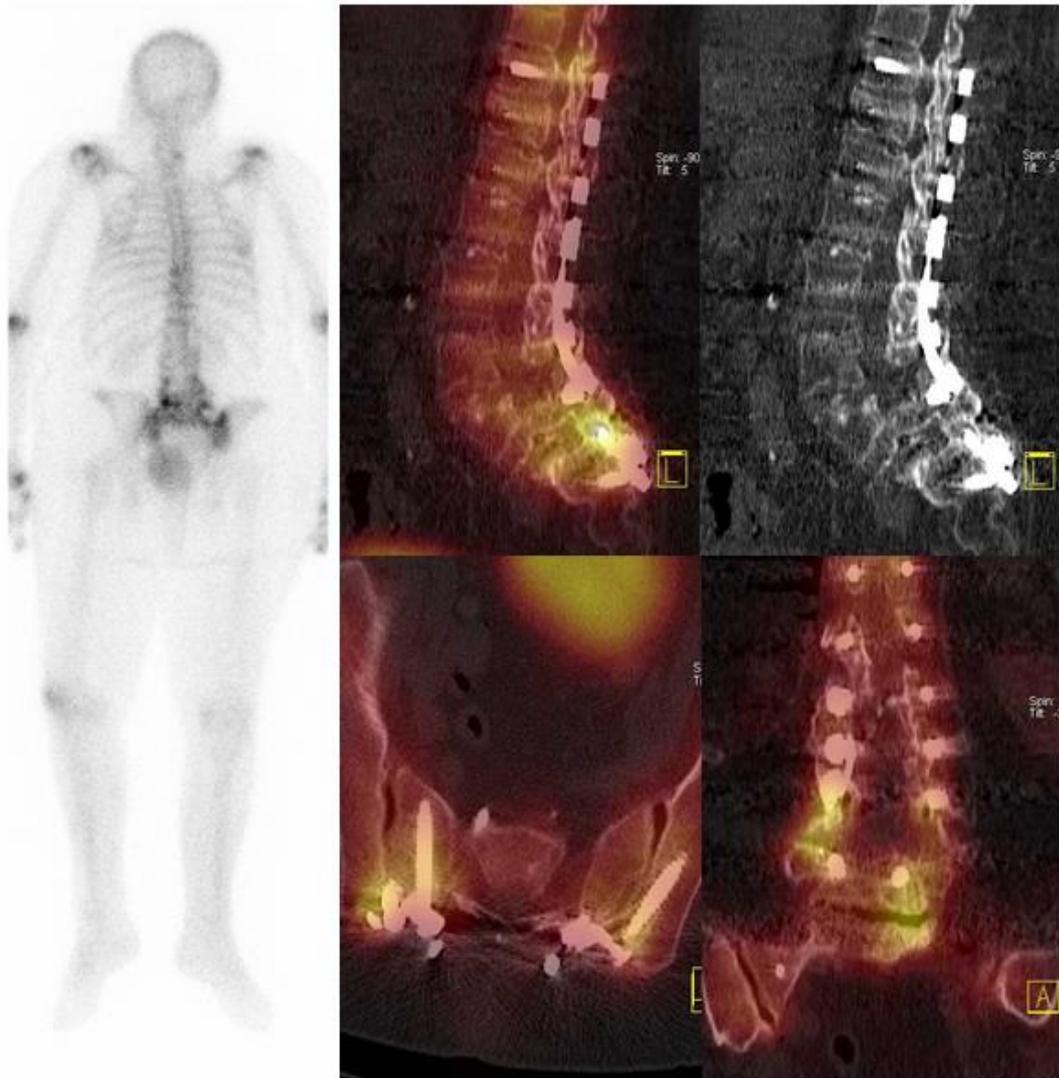


Homme, 49 ans, arthrodesè PL L4-S1 posée il y a 18 mois pour une discopathie dégénérative avec spondylolisthésis. Scintigraphie pour lombalgies avec irradiation dans le membre inférieur droit depuis l'intervention.

La scintigraphie met en évidence une hyperfixation de l'espace IS L5-S1, présentant un vide discal, signe de mobilité. Absence de fusion PL sur la TDM (sans foyer de fixation à ce niveau, mais aspect prévisible en l'absence de trame osseuse). Discrète chambre de mobilisation au pourtour des vis sacrées.

Indication d'intervention chirurgicale en cas de gêne importante (possible complément par arthrodesè antérieure L4-L5 et L5-S1).

4.2. Cas clinique 2 :



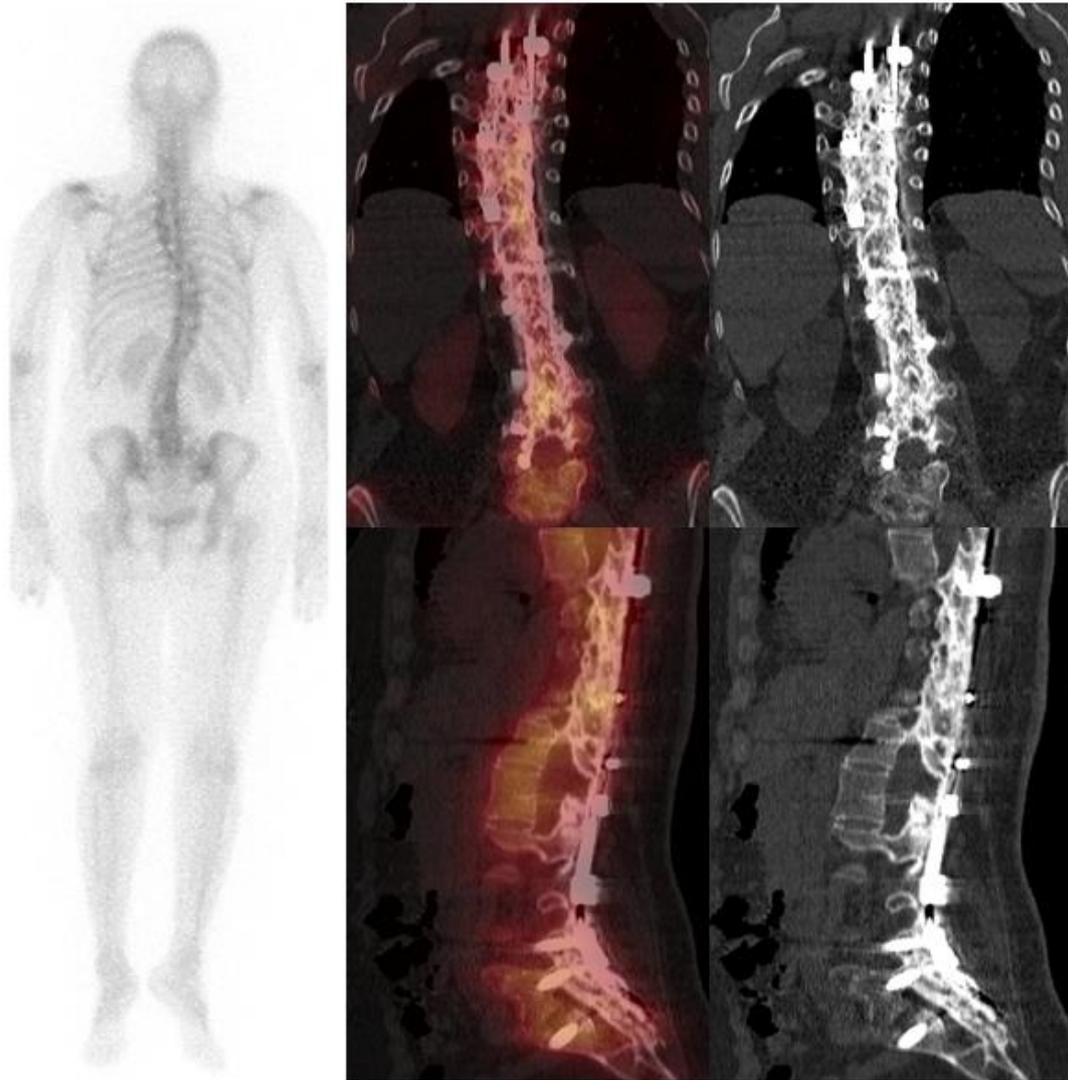
Femme, 75 ans, arthrodèse circonférentielle PL T10-S1 et IS L3-L4 posée il y a 24 mois pour des lombalgies invalidantes associées à un spondylolisthésis. Scintigraphie pour des douleurs lombaires basses avec irradiation dans le membre inférieur droit.

Foyers de fixation intenses L5-S1 bilatéraux prédominant à gauche et à moindre degré L4-L5 au sein de la fusion PL (alors que la fusion sur la TDM paraît continue). Hyperfixation de l'espace IS L5-S1 avec vide discal. Hyperfixation intense au contact des vis iliaques.

Cliniquement la patiente présente un déséquilibre antérieur.

Réinstrumentation de l'arthrodèse après correction de la cyphose par ostéotomie interpédiculaire L5-S1 suivie de la pose d'une cage IS L5-S1 et de greffons PL 4 mois après la scintigraphie.

4.3. Cas clinique 3 :

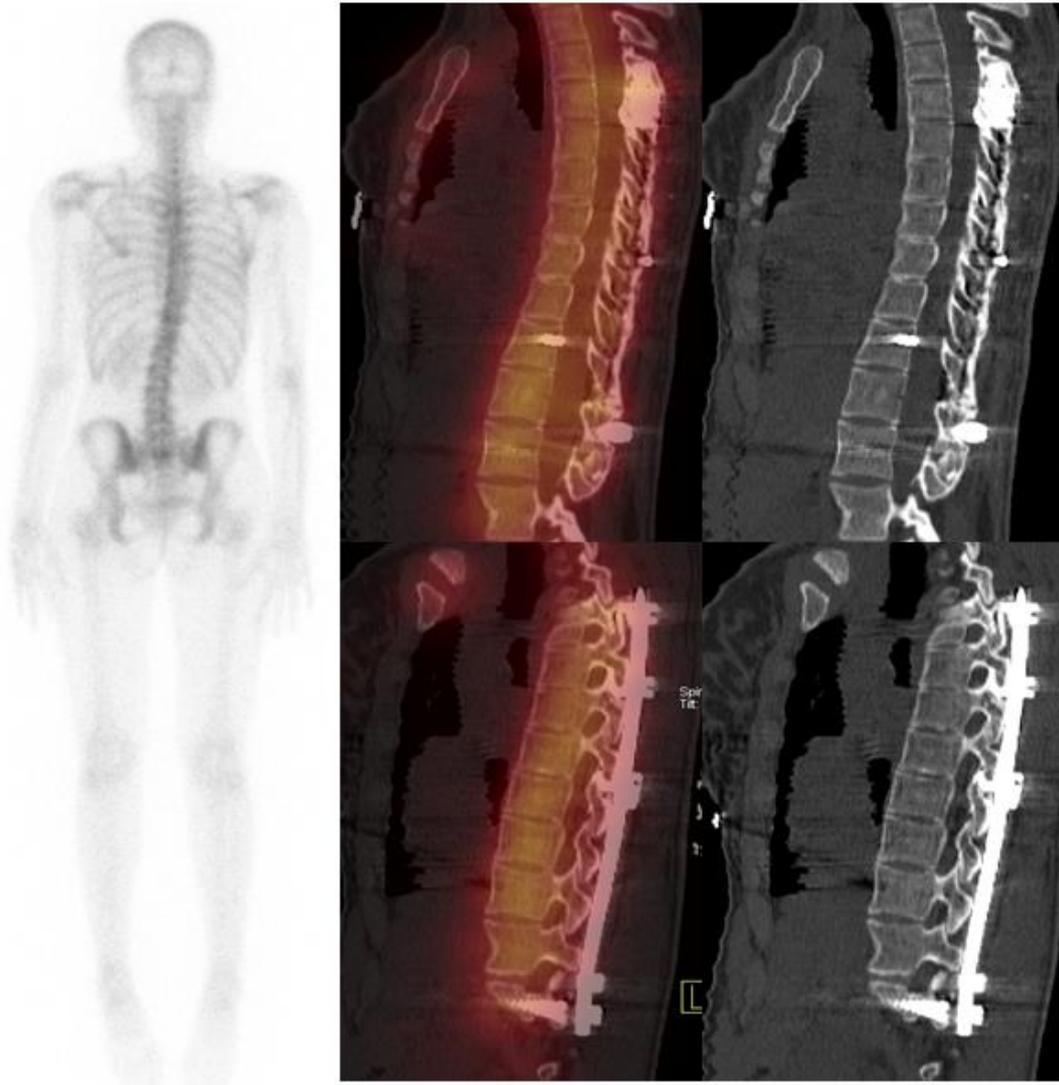


Femme, 52 ans, arthrodèse PL T1-S1 posée 84 mois avant la scintigraphie pour une scoliose idiopathique. Scintigraphie en raison d'une lombalgie apparue dans un contexte d'entorse de cheville, persistante depuis 2 mois.

La scintigraphie met en évidence une fusion PL continue, sans anomalie TDM ou TEMP. La fixation de la greffe postérieure est modérée, diffuse et sans foyer. Pas d'anomalie de fixation ou TDM au contact du matériel. Pas de signe de SMA.

Pas d'indication chirurgicale. Réalisation d'exercices musculaire de renforcement du tronc. Réévaluation dans 3 ans après réalisation des radiographies grand format à 10 ans postopératoires.

4.4. Cas clinique 4 :



Femme, 22 ans, arthrodèse PL T3-T12 posée 57 mois avant la scintigraphie pour une scoliose idiopathique. Scintigraphie pour dorsalgies chroniques de tonalité mixte.

La TEMP/TDM montre une fusion complète et continue PL, sans foyer de fixation. Pas d'hyperfixation significative IS et au contact des matériels. Pas de chambre de mobilisation au pourtour des vis pédiculaires. Minime renforcement de fixation (intensité 1) au contact des vis pédiculaires situées aux extrémités du montage : possible augmentation des contraintes mécaniques à ces niveaux.

La douleur pourrait être la cause de la saillie du matériel. En cas de gêne suffisante, une ablation du matériel pourrait être envisagée.

5. Discussion :

Cette étude est la première à analyser les paramètres prédictifs en scintigraphie osseuse de la reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale. C'est également la première à -analyser les associations entre les critères d'interprétation TEMP et TDM ; -étudier les anomalies observables en scintigraphie selon le délai entre la prise en charge chirurgicale et la réalisation de l'examen ; -et à adjoindre aux critères d'interprétation TEMP, des critères TDM observables sur nos imageries hybrides. Enfin, c'est, en nombre d'examen, l'analyse la plus importante de scintigraphies osseuses d'arthrodèse vertébrale.

Dans cet échantillon, parmi les critères étudiés, 5 représentent un risque significatif plus élevé de reprise chirurgicale : la présence d'au moins un foyer de fixation au sein la fusion PL (OR= 3,9 (1,9 – 8,2)), la fusion incomplète ou absente PL sur la TDM (OR= 4,5 (2,2 – 8,9)), l'hyperfixation d'un espace IS au sein de l'arthrodèse vertébrale (OR= 5,2 (1,9 – 14,0)), l'hyperfixation au contact d'une vis pédiculaire (OR= 8,5 (1,7 – 44,1)) et la présence d'au moins une chambre de mobilisation au contact du matériel d'arthrodèse (OR= 6,9 (2,2 – 21,1)). Les autres critères d'interprétations étaient également plus présents sur les scintigraphies suivies d'une reprise chirurgicale, mais de manière non significative.

5.1. Pseudarthrose et reprise chirurgicale :

Dans notre étude, la présence d'une anomalie TEMP ou TDM de la fusion PL sur la scintigraphie osseuse augmentait significativement le risque de reprise chirurgicale (OR=3,9 et 4,5 respectivement). L'association des deux anomalies de la

fusion PL était associée un risque supérieur à une anomalie TEMP ou TDM seule de reprise (OR=6,8). Si les anomalies de fixation de l'espace IS était également significativement associées à un risque plus important de reprise (OR=5,2), ce n'était pas le cas de l'aspect TDM d'absence de fusion complète de l'espace IS (OR=2,2, $p=0,1229$). L'absence de fusion dite « complète » était fréquente dans notre étude (80,5% contre 22,2% pour la fusion PL). La majorité des arthrodèses étudiées dans cette étude sont des arthrodèses PL, c'est une des raisons principales de taux élevé d'absence de fusion IS apparaissant complète. En effet, en cas de d'arthrodèse PL, la fusion va débiter entre les processus transverses, puis dans un second temps entre les corps vertébraux (141). De plus, l'interprétation de la fusion IS est délicate. Afin de conserver une spécificité suffisante pour l'interprétation des critères TDM, la fusion était dite complète en cas de pont osseux significatifs entre les corps vertébraux de tous les étages de l'arthrodèse. La définition de la fusion IS en l'absence de matériel IS n'est pas consensuelle (141).

La difficulté de la prise en charge des arthrodèses vertébrales réside dans la prise en charge de la douleur. Chez l'adulte, le taux de douleurs après la pose d'une arthrodèse vertébrale est estimé entre 10 et 30% selon les études (1–3). Chez l'enfant et l'adolescent le taux de douleurs est sensiblement le même : sur 260 interventions, le taux de douleurs post-arthrodèse vertébrale pour scoliose idiopathique était de 16% deux ans après l'intervention, et 17% à 5 ans (sur 69 patients ayant été suivi pendant 5 ans) (142). L'origine de la douleur chronique après la pose de l'arthrodèse est souvent difficile à déterminer. En effet les causes sont nombreuses, peuvent être multifactorielles, et parfois associées à des examens paracliniques sans anomalie. A l'inverse, les anomalies observées, notamment la pseudarthrose et la SMA, peuvent

être asymptomatiques, ce qui ne justifie normalement pas une reprise chirurgicale. Ces discordances entre les présentations cliniques et paracliniques, associées aux « hyperfixations » dites physiologiques possibles après une intervention chirurgicale avec pose de matériel, complexifie la tâche du médecin nucléariste dans l'interprétation de la scintigraphie osseuse de l'arthrodèse vertébrale douloureuse. C'est pourquoi, la compréhension des anomalies observables de l'arthrodèse vertébrale sur la scintigraphie osseuse, et leur impact dans la prise en charge du patient sont importants à connaître.

Dans cette étude, les différents critères significativement associés à l'indication de reprise chirurgicale, sont les signes de pseudarthrose. La définition de la pseudarthrose est l'absence de consolidation des segments vertébraux après la chirurgie. Morphologiquement, sa présentation est donc l'absence de formation de ponts osseux entre les éléments vertébraux (c'est-à-dire entre les processus apophysaires et les plateaux vertébraux). En raison des contraintes mécaniques imposées au matériel en cas d'absence de fusion entre les vertèbres et donc de la persistance de mouvement, l'absence de fusion peut s'associer à des bris de matériel (vis ou tige) ou des signes de descellement (comme les chambres de mobilisation). Dans son étude publiée en 2007, Martin *et al.* ont estimé dans sa population de 2345 patients ayant bénéficié d'une fusion lombaire un taux 20,1% de reprise chirurgicale, dont 23,6% pour pseudarthrose (et 49,5% pour complication du matériel non précisée) (143). Outre la reprise chirurgicale, le gold-standard en imagerie est l'acquisition TDM. Une étude prospective publiée en 2008 de l'évaluation diagnostique de l'arthrodèse cervicale antérieure montrait que l'évaluation de la TDM était plus proche que les radiographies et l'IRM des résultats observés lors de l'intervention chirurgicale

(Kappa=0,81) (144). Dans une étude publiée en 2007, Carreon et son équipe ont montré une précision de 89% de l'évaluation de la fusion PL sur 93 TDM comparativement à l'évaluation chirurgicale (145). Néanmoins la sensibilité de la TDM était imparfaite, avec notamment une possible surévaluation de la fusion (146). De plus les artefacts peuvent être majeurs et gêner considérablement l'interprétation, principalement pour les vieux matériel en acier (6,10). Une des limites de la TDM comparativement à la scintigraphie est l'impossibilité, en l'absence de comparatif, de pouvoir différencier les anomalies récentes et évolutives, des anomalies anciennes et stables (30). La présence d'une hyperfixation au sein de la greffe PL évoque la présence d'un remodelage osseux plus important à ce niveau (11). Selon les définitions, l'absence de fusion est considérée comme pathologique 6 mois ou 1 an après la pose du matériel (8,135,138). Mais l'interprétation du foyer de fixation de la masse de fusion PL doit se faire en accord avec l'interprétation clinique, notamment pour différencier une pseudarthrose d'une fracture de l'arthrodèse. Le caractère brutal d'une douleur dans un contexte d'arthrodèse constituée doit faire évoquer une fracture plutôt qu'une pseudarthrose. Le diagnostic de pseudarthrose doit être évoqué en cas de fusion non constituée et d'une douleur chronique n'ayant pas, ou peu longtemps, cédé après la prise en charge chirurgicale.

5.2. Association des critères d'interprétations :

Certaines publications séparent les complications chroniques des arthrodèses vertébrales en 3 groupes : les pseudarthroses, les anomalies du matériel (bris de matériel et chambre de mobilisation) et les SMA (30,147). Toutefois, les anomalies liées à l'absence de fusion doivent être associées aux anomalies du matériel. L'absence de fusion engendre une augmentation des contraintes sur le matériel, ce

qui augmente donc le risque de bris et de mobilité du matériel par différence des modules d'élasticité. A l'inverse la mobilité du matériel peut provoquer une mobilité vertébrale empêchant la fusion. La classification BSF (pour Brantigan, Steffee, Fraser) proposée en 2008, considérait entre autres dans les signes de pseudarthrose radiographique les bris de vis et l'absence de fusion du greffon (104). Dans cette étude, l'association des critères significatifs de reprise chirurgicale (à savoir les anomalies TEMP et TDM de la fusion PL, l'hyperfixation d'un espace IS, l'hyperfixation des vis pédiculaire et la présence de chambre de mobilisation) regroupant des critères de non fusion et des anomalies du matériel, était associé au risque de reprise chirurgicale avec des OR élevées : OR=9,7 (IC 95% : 4,4 – 21,7) si la scintigraphie présentait 2 des 5 critères, et OR=13,9 (IC 95% : 4,3 – 45,0) si elle présentait 3 des 5 critères. L'étude des corrélations entre ces facteurs a mis en évidence de nombreuses associations, notamment entre les hyperfixations des espaces IS et les foyers de fixation PL en TEMP ($\rho=0,269$, $p=0,0005$) et sa non fusion en TDM ($\rho=0,293$, $p=0,0001$) ; entre les hyperfixations au contact des vis pédiculaires la fusion PL absente ou incomplète ($\rho=0,255$, $p=0,0012$) ; entre les chambres de mobilisation et les hyperfixations des espaces IS ($\rho=0,411$, $p<0,0001$). Bien que non significativement prédictif de la reprise chirurgicale dans notre échantillon, les bris de tiges étaient positivement corrélés à la présence de foyer de fixation PL ($\rho=0,338$, $p<0,0001$) et l'absence de fusion complète TDM de l'espace IS ($\rho=0,222$, $p=0,0077$). Ces corrélations positives de critères TEMP et TDM, confirment l'association entre la non-fusion et les anomalies de matériel. A noter des corrélations négatives des SMA avec la fusion PL incomplète ou absente sur la TDM ($\rho=-0,175$, $p=0,0157$), et la présence de chambre de mobilisation ($\rho=-0,176$, $p=0,0257$). Les surcharges mécaniques des étages mobiles adjacents sont la conséquence de la fusion intervertébrale provoquant

une hypermobilité et une augmentation des contraintes mécaniques aux extrémités de l'arthrodèse. L'association négative de la surcharge sus-jacente avec deux critères évocateurs d'une non-fusion et d'une mobilité du matériel s'expliquent par l'aspect « protecteur » de la non-fusion ou de la pseudarthrose pour la SMA. Néanmoins cette théorie reste débattue en raison d'une absence de lien entre le nombre de segments fusionnés et la présence des SMA (108). L'absence de corrélation significative dans notre étude des surcharges sous-jacentes pourraient être due au manque de puissance statistique.

5.3. Surcharges mécaniques adjacentes :

Les SMA sur les scintigraphies étaient associées à un plus grand risque de reprise chirurgicale, mais de manière non significative (sus-jacent : OR=1,4, $p=0,44$; sous-jacent : OR=2,7, $p=0,06$, sus- ou sous-jacent : OR=1,8, $p=0,17$). Cette absence de significativité pourrait être due à un manque de puissance, car la prise en charge opératoire de la SMA peut être une extension de l'arthrodèse (7). Tout comme la pseudarthrose, les SMA ne sont pas toutes symptomatiques. L'incidence des SMA augmentent avec le délai post-opératoire. 10 ans après la pose d'une arthrodèse : jusqu'à 50% des sujets à l'étage cervicale et 70% à l'étage lombaire possèdent une SMA, or, seuls 25% d'entre eux à l'étage cervicale, et 36% à l'étage lombaire sont symptomatiques (7). Notre étude montre un taux de SMA sus-jacente et sous-jacente estimé à 18,1% et de 12,7%, avec au total 26,8% présentant une SMA pour un délai moyen post-intervention de 110 mois (soit 4 ans 7 mois). Ce taux est proche des incidences rencontrées dans la littérature et cela malgré la population majoritairement douloureuse bénéficiant d'une scintigraphie. Dans leur méta-analyse, Levin *et al.* estimaient la survenue de SMA à l'étage cervical de 5 à 9% par an (dont 2 à 3%

douloureuses) (7) ; Ishihara *et al.* ont montré une apparition de 4 et 5% des surcharges sus- et sous-jacentes chez des patients avec ALIF lombaire (148).

5.4. Ablation du matériel :

Les critères d'interprétation de la scintigraphie dans le groupe de sujet ayant bénéficié d'une ablation du matériel après l'examen n'était pas significativement différent avec les groupes « reprise » et « suivi », vraisemblablement en raison du faible nombre de scintigraphies dans ce groupe. Ce groupe, ne comportant que 7 scintigraphies, présentait des tendances nettes : une absence d'hyperfixation au contact du matériel, de chambre de mobilisation, de bris de tige ou de vis et de SMA. L'évaluation de la fusion IS était sans hyperfixation sur la TEMP, mais sans fusion complète sur la TDM. L'évaluation de la fusion PL était plus contrastée, avec une scintigraphie avec un foyer de fixation au sein de la fusion PL (14,3%) ; la fusion PL était absente ou incomplète sur la TDM sur 4 scintigraphies (57,1%). En dehors des infections du matériel qui justifie d'enlever le matériel infecté, il est également possible d'envisager d'enlever le matériel d'arthrodèse vertébral en cas de douleur chronique résistante à la prise en charge conservatrice, mais les indications sont encore débattues (149). La population pouvant bénéficier de l'ablation du matériel doit en général présenter une fusion satisfaisante, afin d'éliminer une douleur provenant de la pseudarthrose, qui ne serait dans ce cas pas soulagée par l'ablation du matériel. Néanmoins, l'ablation ne permet dans tous les cas d'améliorer la douleur (150,151). Dans une étude de 57 patients ayant bénéficiés de l'ablation de leur arthrodèse vertébrale antérieure ou PL, Stavridis *et al.* ont montré une diminution de la douleur chez 36 patients (61%), mais seulement 7 (12%) ne présentaient plus de douleurs (151). A noter un taux de 8,8% (5/57) de complications, dont 2 patients présentant des

douleurs post-opératoires immédiates d'étiologie indéterminée. 5 des 25 ayant bénéficié d'une ablation du matériel ne présentaient pas de changement de leur douleur dorsale ou lombaire dans l'étude de Ak *et al.* publiée en 2015 (150). Les douleurs liées à une pseudarthrose ou des SMA ne doivent théoriquement pas bénéficier de l'ablation du matériel. Cependant l'ablation pourrait être envisagée en cas de douleurs liées à une pseudarthrose si l'arthrodèse avait été réalisée pour stabiliser et permettre la consolidation d'une fracture vertébrale. En cas de consolidation de la fracture, une ablation du matériel pourrait potentiellement soulager le patient (152).

5.5. Apport du TDM :

A notre connaissance, l'analyse conjointe des anomalies TEMP et TDM réalisée lors du même examen en scintigraphie osseuse de l'arthrodèse vertébrale, n'a jamais été rapportée dans la littérature. En effet, l'apport de la TDM dans l'interprétation des examens n'a qu'un rôle « localisateur » dans les publications. C'est notamment le cas de l'étude de Sumer *et al.* publiée en 2013 (12). L'apport de la TEMP/TDM à la TEMP a permis une reclassification des anomalies dans 45,2% (28/62) des anomalies confirmant l'apport essentiel de l'imagerie hybride. Néanmoins, l'imagerie hybride doit également permettre d'améliorer la compréhension de l'aspect scintigraphique. Les recommandations pratiques de l'EANM publiées en 2016 proposent l'utilisation de la TDM de la gamma-camera hybride pour l'interprétation et non la seule valeur localisatrice (11). L'aspect TDM de la fusion doit être prise en compte dans l'interprétation de la fixation du radiotraceur : une absence de fusion complète du greffon PL ne peut être associée à une hyperfixation à ce niveau en l'absence de tissus osseux. La présence d'un bris de tige doit être associé à la recherche d'hyperfixation

de la fusion PL ou de signe de mobilité de l'espace IS. Le vide discal IS est un signe d'absence de fusion et de possible mobilité IS. L'objectif n'est pas de se substituer ou de se comparer à la TDM réalisée seule dont les paramètres d'acquisitions et les algorithmes de reconstructions, afin de réduire les artéfacts de durcissement du faisceau, permettent une qualité supérieure des images (153). Dans une étude publiée en 2011, Ho JM *et al.* ont montré, que la diminution de l'épaisseur des paramètres d'acquisition à 9 mm permettait une meilleure évaluation de la fusion vertébrale chez un sujet post-mortem avec une fusion PL et IS T10-S1 (154). Cependant les résultats restaient sous-optimaux, avec valeurs prédictives positives et négatives estimées à 59% et 90%. Sans équivalence pour la qualité des acquisitions et des reconstructions comparativement à la TDM dédiée, la TDM associée à la TEMP permet tout de même de visualiser la quantité et la qualité du greffon, les atteintes articulaires, ainsi que les bris de matériel.

5.6. Critères d'interprétation selon le délai post-opératoire de la scintigraphie :

Une des possibles limites dans l'exploration orthopédique en scintigraphie osseuse est la réaction osseuse physiologique au contact du matériel (11). En effet, cette fixation est importante à prendre à compte, elle ne peut se détacher de l'histoire de la maladie et de la prise en charge chirurgicale (technique, matériau et délai post-intervention). Les résultats de notre étude sur la proportion des critères d'interprétation selon le délai post-opératoire doivent être prise avec précaution en raison de la population douloureuse étudiée et de la tendance (non significative) plus importante de scintigraphie avec « suivi » post-examen pour un délai post-chirurgical supérieur à 5 ans. Les critères TEMP et TDM de la fusion PL et IS sont tous significativement

moins présents pour les scintigraphies réalisées plus de 5 ans après la chirurgie. Les différences étaient notamment nettement significatives entre les proportions de fusion incomplète PL sur la TDM selon le délai post-opératoire (≤ 2 ans : 57,1% ; > 2 et ≤ 5 ans : 31,4% ; < 5 ans : 14,8%). On note également un taux faible d'hyperfixation des espaces IS pour les scintigraphies réalisées plus de 5 ans après la prise en charge chirurgicale (4,1%, contre 20,6% et 18,6% pour les scintigraphies moins de 2 ans et 2 à 5 ans après la chirurgie). Mais la comparaison des proportions entre les groupes « reprise » et « suivi » sont peu significatives ; seules les anomalies TEMP et TDM de la fusion PL entre 2 et 5 ans, et l'hyperfixation au contact des vis pédiculaires moins de 2 ans après la chirurgie présentent des résultats significativement différents entre les groupes « reprise » et « suivi ». Ce manque de significativité comparativement à l'étude totale des patients s'explique très certainement par le plus petit nombre de sujets. De manière intéressante, l'hyperfixation au contact des vis pédiculaires et iliaques était absente sur toutes les scintigraphies réalisées plus de 5 ans après la dernière intervention chirurgicale (vis pédiculaire : 0/80, vis iliaque : 0/9) contrairement aux scintigraphies réalisées précédemment, notamment concernant les vis iliaques, présentant une proportion élevée d'hyperfixation pour les scintigraphies réalisées plus proche de la dernière intervention (≤ 2 ans : 50%, 9/18 ; > 2 et ≤ 5 ans : 31,3%, 5/16). L'hyperfixation au contact des vis pourrait sur les scintigraphies osseuses réalisées plus de 5 ans après la chirurgie être un critère franc de processus pathologique. En accord avec les résultats déjà publiés (7), les signes de SMA étaient plus fréquents sur les scintigraphies réalisées plus de 5 ans post-chirurgical (sus-jacent : 27,3% ; sous-jacent : 16,1%). Toutefois, de manière inattendue, la proportion de SMA était plus importante sur les scintigraphies réalisées moins de 2 ans post-intervention que sur les scintigraphies réalisées 2 à 5 ans après la chirurgie (sus-jacent : 19% contre 10% ;

sous-jacent : 8,3% contre 5,9%). L'étude du délai de fixation physiologique post-opératoire est probablement dépendant du type de greffon utilisé. Bien qu'aucune étude ne soit publiée sur l'effet des différents greffons sur la fixation des radiotraceurs osseux, il est probable que l'utilisation d'inducteurs associés au greffon (ex : BMP) engendre une fixation physiologique plus longue que l'autogreffe ou allogreffe seule de par leur propriété ostéoinductrice. En effet, l'utilisation de BMP peut provoquer une réponse inflammatoire locale plus importante, ainsi que des ossifications ectopiques (155–157). Les céramiques ont des propriétés physico-chimiques proches de la minéralisation physiologique osseuse, il est donc difficile de déterminer si le délai de fixation post-chirurgical est significativement différent qu'avec l'utilisation d'auto- ou d'allogreffe (158). Les propriétés de résorption osseuse des céramiques sont variables selon leur composition (notamment leur proportion en hydroxyapatite et en phosphate tricalcique) et leur origine. Leur grande hétérogénéité est probablement la source de délai variable de fixation physiologique post-intervention.

5.7. Limites de l'étude :

Cette étude a certaines limites, dont le caractère rétrospectif avec ses biais inhérents. L'échantillonnage monocentrique limite la généralisation des résultats, les techniques chirurgicales et les décisions opératoires sont liées à la sensibilité des chirurgiens ainsi que de la population prise en charge. Mais le caractère monocentrique de l'acquisition scintigraphique permet une meilleure comparabilité inter-examens. La connaissance des résultats de la scintigraphie a bien entendu influencé le chirurgien dans sa prise en charge, et ne permet pas de ce fait, une évaluation des capacités diagnostiques de la scintigraphie osseuse, mais une analyse du possible impact de ses critères d'interprétations, dans un contexte où la scintigraphie n'était

qu'un des éléments ayant justifié les décisions thérapeutiques. Enfin, contrairement à la quasi-totalité des études d'imagerie conventionnelle post-arthrodèse vertébrale, cette étude, comme la plupart sur la scintigraphie osseuse, présente une population composée de matériel hétérogène. Or, la présentation des complications, leur incidence, les enjeux post-opératoires dépendent de l'indication et de la technique opératoire. Les prochaines études sur la scintigraphie osseuse devront prendre en compte ce paramètre.

6. Conclusion :

Ce travail a été l'occasion pour nous, à partir d'une « base de données » considérable, dépassant très largement les cohortes publiées, de nous intéresser aux arthrodèses rachidiennes à travers le prisme de la scintigraphie osseuse. Cette technique connaît un regain d'intérêt considérable ces dernières années grâce à l'adjonction à la gamma-caméra de scanners performants.

Nous avons délibérément choisi afin de mener notre étude statistique :

- comme moyen d'évaluation de la scintigraphie osseuse de la notion de reprise chirurgicale
- comme outil d'interprétation de la scintigraphie osseuse de la quantification (nombres de foyers de fixation, intensité, etc...)

Ceci nous a permis une analyse statistique qui n'est qu'un reflet partiel de la complexité des situations rencontrées. De plus, ces moyens d'évaluation, sont d'extrapolation un peu délicate à la pratique clinique, d'autant que nous n'avons pas pris en compte dans ce travail la demande exprimée par le médecin demandant l'examen et sa spécificité, le contexte clinique et paraclinique et les enjeux thérapeutiques.

Cela étant, cette modalité d'exploration, permettant d'aborder à la fois l'aspect fonctionnel sans les aléas des artéfacts liés aux matériel, et anatomique à travers le scanner, permet une analyse pertinente des situations, en particulier lorsque les résultats de l'arthrodèse ne correspondent pas à l'attente et/ou en cas de reprise des symptômes fonctionnels (en particulier des douleurs).

Bibliographie

1. Bentsen SB, Hanestad BR, Rustøen T, Wahl AK. Quality of life in chronic low back pain patients treated with instrumented fusion. *J Clin Nurs*. août 2008;17(15):2061-9.
2. Leufvén C, Nordwall A. Management of chronic disabling low back pain with 360 degrees fusion. Results from pain provocation test and concurrent posterior lumbar interbody fusion, posterolateral fusion, and pedicle screw instrumentation in patients with chronic disabling low back pain. *Spine*. 1 oct 1999;24(19):2042-5.
3. Brox JI, Sørensen R, Friis A, Nygaard Ø, Indahl A, Keller A, et al. Randomized clinical trial of lumbar instrumented fusion and cognitive intervention and exercises in patients with chronic low back pain and disc degeneration. *Spine*. 1 sept 2003;28(17):1913-21.
4. Bjarke Christensen F, Stender Hansen E, Laursen M, Thomsen K, Bünger CE. Long-term functional outcome of pedicle screw instrumentation as a support for posterolateral spinal fusion: randomized clinical study with a 5-year follow-up. *Spine*. 15 juin 2002;27(12):1269-77.
5. Parker LM, Murrell SE, Boden SD, Horton WC. The outcome of posterolateral fusion in highly selected patients with discogenic low back pain. *Spine*. 15 août 1996;21(16):1909-1916; discussion 1916-1917.
6. Nouh MR. Spinal fusion-hardware construct: Basic concepts and imaging review. *World J Radiol*. 28 mai 2012;4(5):193-207.
7. Levin DA, Hale JJ, Bendo JA. Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease. *Bull NYU Hosp Jt Dis*. 2007;65(1):29-36.
8. Larsen null, Capen null. Pseudarthrosis of the Lumbar Spine. *J Am Acad Orthop Surg*. mai 1997;5(3):153-62.
9. Raizman NM, O'Brien JR, Poehling-Monaghan KL, Yu WD. Pseudarthrosis of the spine. *J Am Acad Orthop Surg*. août 2009;17(8):494-503.
10. Rutherford EE, Tarplett LJ, Davies EM, Harley JM, King LJ. Lumbar spine fusion and stabilization: hardware, techniques, and imaging appearances. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc*. déc 2007;27(6):1737-49.
11. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W, Mohan HK, et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. août 2016;43(9):1723-38.
12. Sumer J, Schmidt D, Ritt P, Lell M, Forst R, Kuwert T, et al. SPECT/CT in patients with lower back pain after lumbar fusion surgery. *Nucl Med Commun*. oct 2013;34(10):964-70.
13. Chun DS, Baker KC, Hsu WK. Lumbar pseudarthrosis: a review of current diagnosis and treatment. *Neurosurg Focus*. oct 2015;39(4):E10.
14. Gruskay JA, Webb ML, Grauer JN. Methods of evaluating lumbar and cervical fusion. *Spine J Off J North Am Spine Soc*. 1 mars 2014;14(3):531-9.

15. Weinstein JN, Lurie JD, Olson PR, Bronner KK, Fisher ES. United States' trends and regional variations in lumbar spine surgery: 1992-2003. *Spine*. 1 nov 2006;31(23):2707-14.
16. Rajaei SS, Bae HW, Kanim LEA, Delamarter RB. Spinal fusion in the United States: analysis of trends from 1998 to 2008. *Spine*. 1 janv 2012;37(1):67-76.
17. Rapport HAS implants du rachis mars 2013.
18. Han X, Zhu Y, Cui C, Wu Y. A meta-analysis of circumferential fusion versus instrumented posterolateral fusion in the lumbar spine. *Spine*. 1 août 2009;34(17):E618-625.
19. Pitzen T. Anterior Cervical Discectomy, Fusion, and Plating. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. *Manual of Spine Surgery* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 13 déc 2016]. p. 141-6. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_21
20. Matz PG, Ryken TC, Groff MW, Vresilovic EJ, Anderson PA, Heary RF, et al. Techniques for anterior cervical decompression for radiculopathy. *J Neurosurg Spine*. août 2009;11(2):183-97.
21. North American Spine Society. Diagnosis and treatment of cervical radiculopathy from degenerative disorders. Burr Ridge: NASS; 2010. http://www.spine.org/Documents/Cervical_Radiculopathy.pdf.
22. Grochulla F. Anterior Cervical Discectomy and Fusion. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. *Manual of Spine Surgery* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 13 déc 2016]. p. 127-33. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_19
23. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg*. mars 1953;10(2):154-68.
24. Amorosa LF, Rihn JA, Albert TJ. Surgical Techniques: Posterior Lumbar Interbody Fusion. In: Wollowick AL, Sarwahi V, éditeurs. *Spondylolisthesis* [Internet]. Springer US; 2015 [cité 8 déc 2016]. p. 163-78. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4899-7575-1_13
25. Kroppenstedt S, Vieweg U. Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. *Manual of Spine Surgery* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 13 déc 2016]. p. 369-75. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_52
26. Wiechert K, Hohmann F, Vieweg U. Ventral Interbody Fusion with Bone or Cage. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. *Manual of Spine Surgery* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 16 déc 2016]. p. 251-63. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_38
27. Assaker R. Minimal access spinal technologies: state-of-the-art, indications, and techniques. *Jt Bone Spine Rev Rhum*. nov 2004;71(6):459-69.
28. Zairi F, Arikat A, Allaoui M, Marinho P, Assaker R. Minimally invasive decompression and stabilization for the management of thoracolumbar spine metastasis. *J Neurosurg Spine*. juill 2012;17(1):19-23.

29. Zairi F, Arikat A, Allaoui M, Assaker R. Transforaminal lumbar interbody fusion: comparison between open and mini-open approaches with two years follow-up. *J Neurol Surg Part Cent Eur Neurosurg*. mai 2013;74(3):131-5.
30. Hauger O, Obeid I, Pelé E. le point sur... - Imagerie du rachis arthrodésé. *J Radiol*. 2 sept 2010;91(9-C2):1035-48.
31. Cho W, Cho SK, Wu C. The biomechanics of pedicle screw-based instrumentation. *J Bone Joint Surg Br*. août 2010;92(8):1061-5.
32. Morrison R, Vieweg U. Transpedicular Stabilization with Internal Fixation in the Thoracolumbar and Lumbar Spine. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. *Manual of Spine Surgery* [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 16 déc 2016]. p. 319-24. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_46
33. Rosner MK, Polly DW, Kuklo TR, Ondra SL. Thoracic pedicle screw fixation for spinal deformity. *Neurosurg Focus*. 15 janv 2003;14(1):e7.
34. Liu YK, Njus GO, Bahr PA, Geng P. Fatigue life improvement of nitrogen-ion-implanted pedicle screws. *Spine*. avr 1990;15(4):311-7.
35. Fogel GR, Reitman CA, Liu W, Esses SI. Physical characteristics of polyaxial-headed pedicle screws and biomechanical comparison of load with their failure. *Spine*. 1 mars 2003;28(5):470-3.
36. Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop*. oct 1984;(189):125-41.
37. Grob D, Humke T. Translaminar screw fixation in the lumbar spine: technique, indications, results. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 1998;7(3):178-86.
38. Heggeness MH, Esses SI. Translaminar facet joint screw fixation for lumbar and lumbosacral fusion. A clinical and biomechanical study. *Spine*. juin 1991;16(6 Suppl):S266-269.
39. Williams AL, Gornet MF, Burkus JK. CT evaluation of lumbar interbody fusion: current concepts. *AJNR Am J Neuroradiol*. sept 2005;26(8):2057-66.
40. Jain S, Eltorai AEM, Ruttiman R, Daniels AH. Advances in Spinal Interbody Cages. *Orthop Surg*. août 2016;8(3):278-84.
41. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*. nov 2007;28(32):4845-69.
42. Seaman S, Kerezoudis P, Bydon M, Torner JC, Hitchon PW. Titanium vs. polyetheretherketone (PEEK) interbody fusion: Meta-analysis and review of the literature. *J Clin Neurosci Off J Neurosurg Soc Australas*. oct 2017;44:23-9.
43. Ishii S, Shishido F, Miyajima M, Sakuma K, Shigihara T, Tameta T, et al. Imaging findings at the donor site after iliac crest bone harvesting. *Skeletal Radiol*. oct 2010;39(10):1017-23.

44. Carragee EJ, Hurwitz EL, Weiner BK. A critical review of recombinant human bone morphogenetic protein-2 trials in spinal surgery: emerging safety concerns and lessons learned. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* juin 2011;11(6):471-91.
45. Hanley EN, Levy JA. Surgical treatment of isthmic lumbosacral spondylolisthesis. Analysis of variables influencing results. *Spine.* janv 1989;14(1):48-50.
46. Waddell G, McCulloch JA, Kummel E, Venner RM. Nonorganic physical signs in low-back pain. *Spine.* avr 1980;5(2):117-25.
47. Moon MS. The outcome of posterolateral fusion in highly selected patients with discogenic low back pain. *Spine.* 15 juin 1997;22(12):1419-20.
48. Carragee EJ, Alamin TF, Miller JL, Carragee JM. Discographic, MRI and psychosocial determinants of low back pain disability and remission: a prospective study in subjects with benign persistent back pain. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* févr 2005;5(1):24-35.
49. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Røvsing H, Monrad H, Gebuhr P. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Spine.* 1 janv 2007;32(1):120-5.
50. Kalichman L, Kim DH, Li L, Guermazi A, Berkin V, Hunter DJ. Spondylolysis and spondylolisthesis: prevalence and association with low back pain in the adult community-based population. *Spine.* 15 janv 2009;34(2):199-205.
51. Koreckij TD, Fischgrund JS. Degenerative Spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech.* août 2015;28(7):236-41.
52. Aono K, Kobayashi T, Jimbo S, Atsuta Y, Matsuno T. Radiographic analysis of newly developed degenerative spondylolisthesis in a mean twelve-year prospective study. *Spine.* 15 avr 2010;35(8):887-91.
53. Smorgick Y, Mirovsky Y, Fischgrund JS, Baker KC, Gelfer Y, Anekstein Y. Radiographic predisposing factors for degenerative spondylolisthesis. *Orthopedics.* mars 2014;37(3):e260-264.
54. Weinstein JN, Lurie JD, Tosteson TD, Zhao W, Blood EA, Tosteson ANA, et al. Surgical compared with nonoperative treatment for lumbar degenerative spondylolisthesis. four-year results in the Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT) randomized and observational cohorts. *J Bone Joint Surg Am.* juin 2009;91(6):1295-304.
55. Tower SS, Pratt WB. Spondylolysis and associated spondylolisthesis in Eskimo and Athabaskan populations. *Clin Orthop.* janv 1990;(250):171-5.
56. Dandy DJ, Shannon MJ. Lumbo-sacral spondylolisthesis. (Group 1 spondylolisthesis). *J Bone Joint Surg Br.* nov 1971;53(4):578-95.
57. Jones TR, Rao RD. Adult isthmic spondylolisthesis. *J Am Acad Orthop Surg.* oct 2009;17(10):609-17.
58. Rossi F, Dragoni S. The prevalence of spondylolysis and spondylolisthesis in symptomatic elite athletes: radiographic findings. *Radiography.* février 2001;7(1):37-42.

59. Vital J-M, Pedram M. Spondylolisthésis par lyse isthmique. EMC - Rhumatol-Orthopédie. mars 2005;2(2):125-50.
60. Donnally III CJ, Dulebohn SC. Lumbar Spondylolysis And Spondylolisthesis. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2017 [cité 21 sept 2017]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448122/>
61. Kimura M. [My method of filling the lesion with spongy bone in spondylolysis and spondylolisthesis]. Seikeigeka Orthop Surg. mars 1968;19(4):285-96.
62. Buck JE. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report. J Bone Joint Surg Br. août 1970;52(3):432-7.
63. Morscher E, Gerber B, Fasel J. Surgical treatment of spondylolisthesis by bone grafting and direct stabilization of spondylolysis by means of a hook screw. Arch Orthop Trauma Surg Arch Orthopadische Unf-Chir. 1984;103(3):175-8.
64. Rajasekaran S, Subbiah M, Shetty AP. Direct repair of lumbar spondylolysis by Buck's technique. Indian J Orthop. 2011;45(2):136-40.
65. Pavlovic V. Surgical treatment of spondylolysis and spondylolisthesis with a hook screw. Int Orthop. févr 1994;18(1):6-9.
66. Bradford DS, Gotfried Y. Staged salvage reconstruction of grade-IV and V spondylolisthesis. J Bone Joint Surg Am. févr 1987;69(2):191-202.
67. Flynn JC, Price CT. Sexual complications of anterior fusion of the lumbar spine. Spine. août 1984;9(5):489-92.
68. Kotwal S, Pumberger M, Hughes A, Girardi F. Degenerative Scoliosis: A Review. HSS J. oct 2011;7(3):257-64.
69. Ploumis A, Transfeldt EE, Denis F. Degenerative lumbar scoliosis associated with spinal stenosis. Spine J Off J North Am Spine Soc. août 2007;7(4):428-36.
70. Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, Horton W, Berven S, Schwab F. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. Spine. 15 sept 2005;30(18):2024-9.
71. Yang C, Li Y, Zhao Y, Zhu X, Li M, Liu G. Adult Degenerative Scoliosis: Can Cobb Angle on a Supine Posteroanterior Radiograph Be Used to Predict the Cobb Angle in a Standing Position? Medicine (Baltimore) [Internet]. 12 févr 2016 [cité 19 déc 2016];95(6). Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4753910/>
72. Ascani E, Bartolozzi P, Logroscino CA, Marchetti PG, Ponte A, Savini R, et al. Natural history of untreated idiopathic scoliosis after skeletal maturity. Spine. oct 1986;11(8):784-9.
73. Vieweg U, Morrison R. Correction of Degenerative Scoliosis. In: Vieweg U, Grochulla F, éditeurs. Manual of Spine Surgery [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2012 [cité 17 déc 2016]. p. 325-30. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22682-3_47
74. Bettany-Saltikov J, Weiss H-R, Chockalingam N, Taranu R, Srinivas S, Hogg J, et al. Surgical versus non-surgical interventions in people with adolescent idiopathic scoliosis. Cochrane Database Syst Rev. 24 avr 2015;(4):CD010663.

75. Freidel K, Petermann F, Reichel D, Steiner A, Warschburger P, Weiss HR. Quality of life in women with idiopathic scoliosis. *Spine*. 15 févr 2002;27(4):E87-91.
76. Lonstein JE. Scoliosis: surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop*. févr 2006;443:248-59.
77. Dolan LA, Weinstein SL. Surgical rates after observation and bracing for adolescent idiopathic scoliosis: an evidence-based review. *Spine*. 1 sept 2007;32(19 Suppl):S91-100.
78. Maruyama T, Takeshita K. Surgical treatment of scoliosis: a review of techniques currently applied. *Scoliosis*. 18 avr 2008;3:6.
79. Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am*. juin 1962;44-A:591-610.
80. Cotrel Y, Dubousset J, Guillaumat M. New universal instrumentation in spinal surgery. *Clin Orthop*. févr 1988;227:10-23.
81. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 1994;3(4):184-201.
82. Baker ADL. The Three Column Spine and Its Significance in the Classification of Acute Thoracolumbar Spinal Injuries. In: *Classic Papers in Orthopaedics* [Internet]. Springer, London; 2014 [cité 10 août 2017]. p. 289-92. Disponible sur: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5451-8_71
83. Vaccaro AR, Lehman RA, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, et al. A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. *Spine*. 15 oct 2005;30(20):2325-33.
84. Dai L. Principles of management of thoracolumbar fractures. *Orthop Surg*. mai 2012;4(2):67-70.
85. Wood KB, Li W, Lebl DR, Lebl DS, Ploumis A. Management of thoracolumbar spine fractures. *Spine J Off J North Am Spine Soc*. janv 2014;14(1):145-64.
86. Weinstein JN, Tosteson TD, Lurie JD, Tosteson ANA, Blood E, Hanscom B, et al. Surgical versus nonsurgical therapy for lumbar spinal stenosis. *N Engl J Med*. 21 févr 2008;358(8):794-810.
87. Atlas SJ, Keller RB, Wu YA, Deyo RA, Singer DE. Long-term outcomes of surgical and nonsurgical management of lumbar spinal stenosis: 8 to 10 year results from the maine lumbar spine study. *Spine*. 15 avr 2005;30(8):936-43.
88. Herkowitz HN, Kurz LT. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis. A prospective study comparing decompression with decompression and intertransverse process arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am*. juill 1991;73(6):802-8.
89. Tosteson ANA, Lurie JD, Tosteson TD, Skinner JS, Herkowitz H, Albert T, et al. Surgical treatment of spinal stenosis with and without degenerative spondylolisthesis: cost-effectiveness after 2 years. *Ann Intern Med*. 16 déc 2008;149(12):845-53.
90. Ponton RP, Harris EB, Hilibrand A. To Fuse or Not to Fuse: That's the Question. In: Pinheiro-Franco JL, Vaccaro AR, Benzel EC, Mayer HM, éditeurs. *Advanced Concepts in Lumbar*

- Degenerative Disk Disease [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2016 [cité 19 déc 2016]. p. 299-304. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-47756-4_21
91. Weinstein JN, Lurie JD, Tosteson TD, Skinner JS, Hanscom B, Tosteson ANA, et al. Surgical vs Nonoperative Treatment for Lumbar Disk Herniation. *JAMA J Am Med Assoc.* 22 nov 2006;296(20):2451-9.
 92. Mroz TE, Lubelski D, Williams SK, O'Rourke C, Obuchowski NA, Wang JC, et al. Differences in the surgical treatment of recurrent lumbar disc herniation among spine surgeons in the United States. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* 1 oct 2014;14(10):2334-43.
 93. Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, Bonomo L. Lumbar intervertebral instability: a review. *Radiology.* oct 2007;245(1):62-77.
 94. Melhem E, Assi A, El Rachkidi R, Ghanem I. EOS(®) biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations. *J Child Orthop.* févr 2016;10(1):1-14.
 95. Lazennec JY, Folinais D, Bendaya S, Rousseau MA, Pour AE. The global alignment in patients with lumbar spinal stenosis: our experience using the EOS full-body images. *Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol.* oct 2016;26(7):713-24.
 96. Datta S, Everett CR, Trescot AM, Schultz DM, Adlaka R, Abdi S, et al. An updated systematic review of the diagnostic utility of selective nerve root blocks. *Pain Physician.* janv 2007;10(1):113-28.
 97. Brightbill TC, Pile N, Eichelberger RP, Whitman M. Normal magnetic resonance imaging and abnormal discography in lumbar disc disruption. *Spine.* 1 mai 1994;19(9):1075-7.
 98. Wood GW, Boyd RJ, Carothers TA, Mansfield FL, Rehtine GR, Rozen MJ, et al. The effect of pedicle screw/plate fixation on lumbar/lumbosacral autogenous bone graft fusions in patients with degenerative disc disease. *Spine.* 1 avr 1995;20(7):819-30.
 99. Schnee CL, Freese A, Ansell LV. Outcome analysis for adults with spondylolisthesis treated with posterolateral fusion and transpedicular screw fixation. *J Neurosurg.* janv 1997;86(1):56-63.
 100. Schwab FJ, Nazarian DG, Mahmud F, Michelsen CB. Effects of spinal instrumentation on fusion of the lumbosacral spine. *Spine.* 15 sept 1995;20(18):2023-8.
 101. Brantigan JW, Neidre A, Toohey JS. The Lumbar I/F Cage for posterior lumbar interbody fusion with the variable screw placement system: 10-year results of a Food and Drug Administration clinical trial. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* déc 2004;4(6):681-8.
 102. Dehoux E, Fourati E, Madi K, Reddy B, Segal P. Posterolateral versus interbody fusion in isthmic spondylolisthesis: functional results in 52 cases with a minimum follow-up of 6 years. *Acta Orthop Belg.* déc 2004;70(6):578-82.
 103. Mehta VA, McGirt MJ, Garcés Ambrossi GL, Parker SL, Sciubba DM, Bydon A, et al. Transforaminal versus posterior lumbar interbody fusion: comparison of surgical morbidity. *Neurol Res.* janv 2011;33(1):38-42.
 104. Fogel GR, Toohey JS, Neidre A, Brantigan JW. Fusion assessment of posterior lumbar interbody fusion using radiolucent cages: X-ray films and helical computed tomography scans compared with surgical exploration of fusion. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* août 2008;8(4):570-7.

105. Hilibrand AS, Robbins M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion? *Spine J.* 1 nov 2004;4(6):S190-4.
106. Raastad J, Reiman M, Coeytaux R, Ledbetter L, Goode AP. The association between lumbar spine radiographic features and low back pain: a systematic review and meta-analysis. *Semin Arthritis Rheum.* avr 2015;44(5):571-85.
107. Goode AP, Carey TS, Jordan JM. Low back pain and lumbar spine osteoarthritis: how are they related? *Curr Rheumatol Rep.* févr 2013;15(2):305.
108. Penta M, Sandhu A, Fraser RD. Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion. *Spine.* 15 mars 1995;20(6):743-7.
109. Dmitriev AE, Cunningham BW, Hu N, Sell G, Vigna F, McAfee PC. Adjacent level intradiscal pressure and segmental kinematics following a cervical total disc arthroplasty: an in vitro human cadaveric model. *Spine.* 15 mai 2005;30(10):1165-72.
110. Hioki A, Miyamoto K, Kodama H, Hosoe H, Nishimoto H, Sakaeda H, et al. Two-level posterior lumbar interbody fusion for degenerative disc disease: improved clinical outcome with restoration of lumbar lordosis. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* déc 2005;5(6):600-7.
111. Park JY, Cho YE, Kuh SU, Cho JH, Chin DK, Jin BH, et al. New prognostic factors for adjacent-segment degeneration after one-stage 360 degrees fixation for spondylolytic spondylolisthesis: special reference to the usefulness of pelvic incidence angle. *J Neurosurg Spine.* août 2007;7(2):139-44.
112. Saavedra-Pozo FM, Deusdara RAM, Benzel EC. Adjacent segment disease perspective and review of the literature. *Ochsner J.* 2014;14(1):78-83.
113. Min J-H, Jang J-S, Lee S-H. Comparison of anterior- and posterior-approach instrumented lumbar interbody fusion for spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine.* juill 2007;7(1):21-6.
114. Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine.* 1 sept 2004;29(17):1938-44.
115. Ceylan D, Yaldiz C, Asil K, Kaçira T, Tatarli N, Can A. Intraoperative antepulsion of a posterior lumbar interbody fusion cage: three case reports. *Pan Afr Med J [Internet].* 10 avr 2015 [cité 9 déc 2016];20. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4491478/>
116. Kimura H, Shikata J, Odate S, Soeda T, Yamamura S. Risk factors for cage retropulsion after posterior lumbar interbody fusion: analysis of 1070 cases. *Spine.* 1 juin 2012;37(13):1164-9.
117. Li H, Wang H, Zhu Y, Ding W, Wang Q. Incidence and risk factors of posterior cage migration following decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders. *Medicine (Baltimore).* août 2017;96(33):e7804.
118. Sierra-Hoffman M, Jinadatha C, Carpenter JL, Rahm M. Postoperative instrumented spine infections: a retrospective review. *South Med J.* janv 2010;103(1):25-30.
119. Sweet FA, Roh M, Sliva C. Intrawound application of vancomycin for prophylaxis in instrumented thoracolumbar fusions: efficacy, drug levels, and patient outcomes. *Spine.* 15 nov 2011;36(24):2084-8.

120. Bertrand G. The « battered » root problem. *Orthop Clin North Am.* janv 1975;6(1):305-10.
121. Matsui H, Kitagawa H, Kawaguchi Y, Tsuji H. Physiologic changes of nerve root during posterior lumbar discectomy. *Spine.* 15 mars 1995;20(6):654-9.
122. Park JS, Kim YB, Hong HJ, Hwang SN. Comparison between Posterior and Transforaminal Approaches for Lumbar Interbody Fusion. *J Korean Neurosurg Soc J Korean Neurosurg Soc.* 37(5):340-4.
123. Buck JS, Yoon ST. The Incidence of Durotomy and its Clinical and Economic Impact in Primary, Short-segment Lumbar Fusion: An Analysis of 17,232 Cases. *Spine.* 15 sept 2015;40(18):1444-50.
124. Goodkin R, Laska LL. Vascular and visceral injuries associated with lumbar disc surgery: medicolegal implications. *Surg Neurol.* avr 1998;49(4):358-370; discussion 370-372.
125. Papadoulas S, Konstantinou D, Kourea HP, Kritikos N, Haftouras N, Tsolakis JA. Vascular injury complicating lumbar disc surgery. A systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* sept 2002;24(3):189-95.
126. Szolar DH, Preidler KW, Steiner H, Riepl T, Flaschka G, Stiskal M, et al. Vascular complications in lumbar disk surgery: report of four cases. *Neuroradiology.* août 1996;38(6):521-5.
127. van Zitteren M, Fan B, Lohle PN, de Nie JC, de Waal Malefijt J, Vriens PW, et al. A shift toward endovascular repair for vascular complications in lumbar disc surgery during the last decade. *Ann Vasc Surg.* août 2013;27(6):810-9.
128. Foxx KC, Kwak RC, Latzman JM, Samadani U. A retrospective analysis of pedicle screws in contact with the great vessels. *J Neurosurg Spine.* sept 2010;13(3):403-6.
129. Wolter T, Knöller SM, Rommel O. Complex regional pain syndrome following spine surgery: clinical and prognostic implications. *Eur Neurol.* 2012;68(1):52-8.
130. Morr S, Kanter AS. Complex regional pain syndrome following lateral lumbar interbody fusion: case report. *J Neurosurg Spine.* oct 2013;19(4):502-6.
131. Cetinkal A, Kaya S, Kutlay M, Velioglu M, Urhan M, Colak A, et al. Can scintigraphy explain prolonged postoperative neck pain? *Turk Neurosurg.* 2011;21(4):539-44.
132. Lusins JO, Danielski EF, Goldsmith SJ. Bone SPECT in patients with persistent back pain after lumbar spine surgery. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med.* avr 1989;30(4):490-6.
133. Even-Sapir E, Martin RH, Mitchell MJ, Iles SE, Barnes DC, Clark AJ. Assessment of painful late effects of lumbar spinal fusion with SPECT. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med.* mars 1994;35(3):416-22.
134. Coric D, Branch CL, Jenkins JD. Revision of anterior cervical pseudoarthrosis with anterior allograft fusion and plating. *J Neurosurg.* juin 1997;86(6):969-74.
135. Albert TJ, Pinto M, Smith MD, Balderston RA, Cotler JM, Park CH. Accuracy of SPECT scanning in diagnosing pseudoarthrosis: a prospective study. *J Spinal Disord.* juin 1998;11(3):197-9.

136. Gates GF, McDonald RJ. Bone SPECT of the back after lumbar surgery. *Clin Nucl Med*. juin 1999;24(6):395-403.
137. Damgaard M, Nimb L, Madsen JL. The role of bone SPECT/CT in the evaluation of lumbar spinal fusion with metallic fixation devices. *Clin Nucl Med*. avr 2010;35(4):234-6.
138. Rager O, Schaller K, Payer M, Tchernin D, Ratib O, Tessitore E. SPECT/CT in differentiation of pseudarthrosis from other causes of back pain in lumbar spinal fusion: report on 10 consecutive cases. *Clin Nucl Med*. avr 2012;37(4):339-43.
139. Heimburger C, Hubele F, Charles YP, Steib J-P, Namer I-J, Rust E. Évaluation de critères d'interprétation de la tomoscintigraphie d'émission monophotonique au ^{99m}Tc-HMDP pour le diagnostic des complications tardives des arthrodeses rachidiennes. *Médecine Nucl*. 1 avr 2015;39(2):105-21.
140. Hudjana H, Maes A, Vandenberghe T, Fidlers L, Sathekge M, Nicolai D, et al. Accuracy of bone SPECT/CT for identifying hardware loosening in patients who underwent lumbar fusion with pedicle screws. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. févr 2016;43(2):349-54.
141. Goldstein C, Drew B. When is a spine fused? *Injury*. mars 2011;42(3):306-13.
142. Sieberg CB, Simons LE, Edelstein MR, DeAngelis MR, Pielech M, Sethna N, et al. Pain prevalence and trajectories following pediatric spinal fusion surgery. *J Pain Off J Am Pain Soc [Internet]*. déc 2013 [cité 1 août 2017];14(12). Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3873090/>
143. Martin BI, Mirza SK, Comstock BA, Gray DT, Kreuter W, Deyo RA. Reoperation rates following lumbar spine surgery and the influence of spinal fusion procedures. *Spine*. févr 2007;32(3):382-7.
144. Buchowski JM, Liu G, Bunmaprasert T, Rose PS, Riew KD. Anterior cervical fusion assessment: surgical exploration versus radiographic evaluation. *Spine*. 15 mai 2008;33(11):1185-91.
145. Carreon LY, Glassman SD, Djurasovic M. Reliability and agreement between fine-cut CT scans and plain radiography in the evaluation of posterolateral fusions. *Spine J Off J North Am Spine Soc*. févr 2007;7(1):39-43.
146. Cook SD, Patron LP, Christakis PM, Bailey KJ, Banta C, Glazer PA. Comparison of methods for determining the presence and extent of anterior lumbar interbody fusion. *Spine*. 15 mai 2004;29(10):1118-23.
147. Al-Riyami K, Gnanasegaran G, Van den Wyngaert T, Bomanji J. Bone SPECT/CT in the postoperative spine: a focus on spinal fusion. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 5 juill 2017;
148. Ishihara H, Osada R, Kanamori M, Kawaguchi Y, Ohmori K, Kimura T, et al. Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord*. avr 2001;14(2):91-9.
149. Alpert HW, Farley FA, Caird MS, Hensinger RN, Li Y, Vanderhave KL. Outcomes following removal of instrumentation after posterior spinal fusion. *J Pediatr Orthop*. sept 2014;34(6):613-7.
150. Ak H, Gulsen I, Atalay T, Gencer M. Does the removal of spinal implants reduce back pain? *J Clin Med Res*. juin 2015;7(6):460-3.

151. Stavridis SI, Bücking P, Schaeren S, Jeanneret B, Schnake KJ. Implant removal after posterior stabilization of the thoraco-lumbar spine. *Arch Orthop Trauma Surg.* janv 2010;130(1):119-23.
152. Clamp J, Tsegaye M. Removal of metalwork from the lumbar spine. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* sept 2012;21(9):1898-9.
153. Watzke O, Kalender WA. A pragmatic approach to metal artifact reduction in CT: merging of metal artifact reduced images. *Eur Radiol.* mai 2004;14(5):849-56.
154. Ho JM, Ben-Galim PJ, Weiner BK, Karbach LE, Reitman CA, Heggeness MH, et al. Toward the establishment of optimal computed tomographic parameters for the assessment of lumbar spinal fusion. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* juill 2011;11(7):636-40.
155. Boakye M, Mummaneni PV, Garrett M, Rodts G, Haid R. Anterior cervical discectomy and fusion involving a polyetheretherketone spacer and bone morphogenetic protein. *J Neurosurg Spine.* mai 2005;2(5):521-5.
156. Shields LBE, Raque GH, Glassman SD, Campbell M, Vitaz T, Harpring J, et al. Adverse effects associated with high-dose recombinant human bone morphogenetic protein-2 use in anterior cervical spine fusion. *Spine.* 1 mars 2006;31(5):542-7.
157. Chau AMT, Mobbs RJ. Bone graft substitutes in anterior cervical discectomy and fusion. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* avr 2009;18(4):449-64.
158. Helm GA. Bone graft substitutes for use in spinal fusions. *Clin Neurosurg.* 2005;52:250-5.

AUTEUR : Nom : Hives

Prénom : Florent

Date de Soutenance : 09/10/2017

Titre de la Thèse : Évaluation en scintigraphie osseuse TEMP/TDM des facteurs prédictifs de la reprise chirurgicale de l'arthrodèse vertébrale rigide

Thèse - Médecine - Lille 2017

Cadre de classement : Médecine nucléaire

DES + spécialité : Médecine nucléaire

Mots-clés : Arthrodèse vertébrale ; scintigraphie osseuse ; TEMP/TDM ; critères d'interprétation ; reprise chirurgicale

Résumé :

Objectif : L'arthrodèse vertébrale est une technique chirurgicale dont l'objectif est la fusion d'au moins deux corps vertébraux. Après l'intervention, les douleurs chroniques post-opératoires sont fréquentes. Elles peuvent être la conséquence d'un échec de la fusion (pseudarthrose), d'une surcharge mécanique adjacente (SMA), d'une sténose résiduelle ou d'une radiculopathie. La scintigraphie osseuse, imagerie fonctionnelle, permet de localiser les remodelages osseux, possible reflet de complications. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les différentes anomalies observables sur la scintigraphie osseuse et leur impact dans le choix du chirurgien de réintervenir chirurgicalement.

Méthodes : Analyse rétrospective de 162 patients ayant bénéficié d'une scintigraphie osseuse dans un contexte d'arthrodèse vertébrale douloureuse, pour un total de 198 scintigraphies osseuses. Les scintigraphies ont été classées selon leur suivi : indication de reprise chirurgicale et absence d'indication de reprise (groupe suivi). Evaluation de critères d'interprétation scintigraphique TEMP : - les foyers de fixation de la masse de fusion postéro-latérale ; - la fixation intersomatique ; - la fixation au contact du matériel (vis, crochets lamaires et cages) ; - SMA sus- et sous-jacente ; et scanographique lors de la TEMP : - la masse de fusion postéro-latérale ; - la fusion intersomatique ; - les bris de matériel et les chambres de mobilisation.

Résultats : Les foyers de fixation postéro-latéraux en TEMP (OR = 3,9, $p=0,0002$), la fusion incomplète ou absente sur la TDM (OR = 4,5, $p<0,0001$), les hyperfixations des espaces intersomatiques (OR = 5,2, $p=0,0012$), les hyperfixations au contact d'au moins une vis pédiculaire (OR = 8,5, $p=0,0104$) et les chambres de mobilisation sur la TDM (OR = 6,9, $p=0,0008$) étaient liés au risque de reprise chirurgicale. L'association d'au moins deux de ces critères (OR = 9,7, $p<0,0001$) ou trois de ces critères (OR = 13,9, $p<0,0001$) étaient également très significativement liés au risque de reprise chirurgicale.

Conclusions : La scintigraphie osseuse est une technique d'imagerie utile pour l'évaluation de la stabilité de l'arthrodèse vertébrale, dont les éléments d'interprétation TEMP et TDM prédictifs de la reprise chirurgicale sont mis en lumière dans cette étude.

Composition du Jury :

Président :

Mr le Professeur Damien HUGLO

Asseseurs :

Mr le Professeur Richard ASSAKER

Mme le Docteur Claude HOSSEIN-FOUCHER

Directeur de thèse :

Mr le Docteur Bruno SUTTER