



Anomalie de torsion du squelette

P. Chaudier, V. Villa, P. Neyret

La torsion du squelette se définit comme une déformation de l'os autour de son axe longitudinal; ceci est à opposer à la rotation qui représente le mouvement possible de cet os autour de cet axe. On parlera d'anomalies de torsion lorsque les valeurs mesurées s'écarteront de façon significative des valeurs moyennes ou lorsqu'un facteur intercurrent viendra modifier de façon anormale la croissance du membre, ceci de façon symétrique ou asymétrique. Dans le premier cas, l'anomalie de torsion sera isolée et idiopathique, dans le second cas, on parlera d'anomalie de torsion associée et secondaire.

© 2015 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Troubles de torsion ; Angle du pas ; Dérotation

Plan

■ Introduction	1
■ Évolution de la torsion du squelette du membre inférieur au cours de la croissance	1
■ Méthodes de mesure des anomalies de torsion	2
Méthode clinique	2
Mesures radiographiques conventionnelles	2
Autres méthodes	3
■ Variation des torsions selon l'âge	3
Évolution jusqu'à la fin de la croissance	3
Valeurs anormales des torsions primitives	4
■ Anomalies de torsion chez l'enfant	4
Anomalies isolées ou idiopathiques	4
Anomalies secondaires ou acquises	5
■ Anomalies de torsion chez l'adulte	5
■ Évaluation du retentissement	5
Sur le bassin et le rachis	5
Sur la hanche	5
Sur le genou	5
Sur la cheville et le pied	6
■ Techniques chirurgicales	6
Ostéotomies fémorales	6
Ostéotomies tibiales	7
Transposition de la tubérosité tibiale antérieure	8
Techniques spéciales	8
Soins postopératoires	8
■ Indications chirurgicales	8
Généralités	8
Hanche	8
Genou	8
■ Conclusion	9

■ Introduction

Au niveau du squelette du membre inférieur, les anomalies de torsion se situent généralement sur le fémur (antétorsion fémorale [ATF] ou rétrotorsion fémorale [RTF]) ou sur le tibia (torsion tibiale externe [TTE] ou torsion tibiale interne [TTI]), plus rarement au niveau du pied pouvant réaliser la triple déformation décrite par Judet^[1,2]. Ces torsions vont évoluer avec la croissance, modelant l'os sous l'influence d'un certain nombre de facteurs génétiques, mécaniques (poids, musculature, etc.) et dynamiques. On parlera d'anomalies de torsion lorsque les valeurs mesurées s'écarteront de façon significative des valeurs moyennes ou lorsqu'un facteur intercurrent viendra modifier de façon anormale la croissance du membre, ceci de façon symétrique ou asymétrique. Dans le premier cas, l'anomalie de torsion sera isolée et idiopathique, dans le second cas, on parlera d'anomalie de torsion associée et secondaire. Les anomalies de torsion associées peuvent être :

- secondaires à une malformation congénitale (luxation congénitale de hanche [LCH]), malformation fémorale, tibiale, pied bot varus équin (PBVE), metatarsus adductus ;
- secondaires à un problème neurologique (infirmité motrice d'origine cérébrale [IMOC], poliomyélite antérieure aiguë [PAA], spina bifida, etc.) ;
- d'origine post-traumatique (cals vicieux fémoraux ou tibiaux, épiphysiolyse de hanche, etc.) ; post-chirurgicaux ;
- d'origines diverses (maladie de Legg-Perthes-Calvé [LPC], arthrogrypose, etc.).

Ces anomalies de torsion pourront entraîner soit une démarche en rotation interne (*in toeing* des Anglo-Saxons), soit une démarche en rotation externe (*out toeing*).

■ Évolution de la torsion du squelette du membre inférieur au cours de la croissance

Depuis deux siècles, de nombreux auteurs se sont intéressés aux anomalies de torsion et à l'étude de celle-ci au cours de la

croissance, qu'il s'agisse de Wolf qui définit en 1868 la notion de torsion fémorale supérieure, ou de Le Damany et Storck pour le fémur. Pour le tibia, il faut citer également les travaux de Le Damany^[3] ou plus près de nous, de Dupuis (1931, 1951)^[11]. Trois symposia de langue française ont également fait le point sur la question : un symposium de la Société belge d'orthopédie en 1976 sous la direction de Kinzinger et Castiaux^[11], un symposium de la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique en 1980 sous la direction de Lerat et Taussig^[4], et plus près de nous un symposium de la Société d'orthopédie de l'Ouest en 1995 sous la direction de Mechin^[5]. Il faut par ailleurs citer les travaux récents d'auteurs comme Bedouelle^[1,4], Cahuzac^[6], qui se sont plus particulièrement intéressés aux anomalies rotationnelles de l'enfant et de l'adolescent. Enfin, deux index de mesures ont été mis en évidence dans un essai de classification des différents morphotypes rencontrés dans les anomalies de torsion :

- l'index de torsion tibiofémoral de Lerat (1985)^[4], représentant la différence entre la TTE et l'antéversion fémorale (AVF) (20° en moyenne) ;
- l'index de cumul des torsions (ICT) de Duparc et Thomine (1992)^[7], qui est la somme algébrique des torsions fémorales et tibiales (11,7° en moyenne).

■ Méthodes de mesure des anomalies de torsion

Méthode clinique (Fig. 1 à 3)

Pour la torsion fémorale, la technique de Netter^[8] reste la méthode la plus fiable et la plus couramment utilisée (Fig. 1). Il est également intéressant d'examiner le patient assis en bord de table, genou fléchi, en lui demandant de réaliser une extension, ce qui permet de démasquer un trouble de torsion fémorale non visible en extension.

Pour la mesure de la torsion tibiale, la technique de Lerat^[4] est utilisée, les genoux étant de face, l'axe du contour des empreintes plantaires donnera l'axe condyle-malléole (Fig. 2).

L'examen clinique reste pertinent avec une bonne sensibilité, notamment pour la mesure de l'ATF^[9], même si d'autres études n'ont pas mis en évidence de corrélation entre l'évaluation cli-

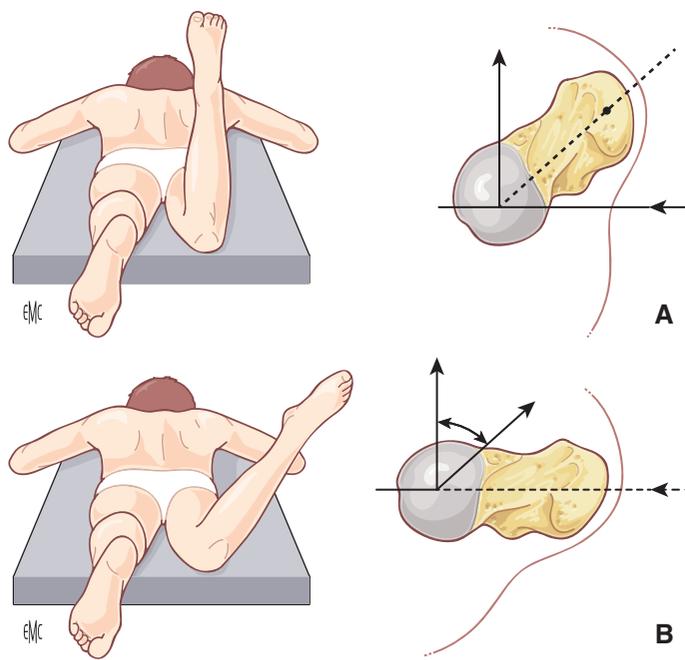


Figure 1. Mesure clinique de l'antéversion des cols fémoraux en position ventrale : genou fléchi à 90° selon la technique de Netter (A, B). Le doigt (flèche) repère la saillie du grand trochanter sous la peau. L'angle d'antéversion est mesuré entre la verticale et l'axe de la jambe (d'après J. Bedouelle).

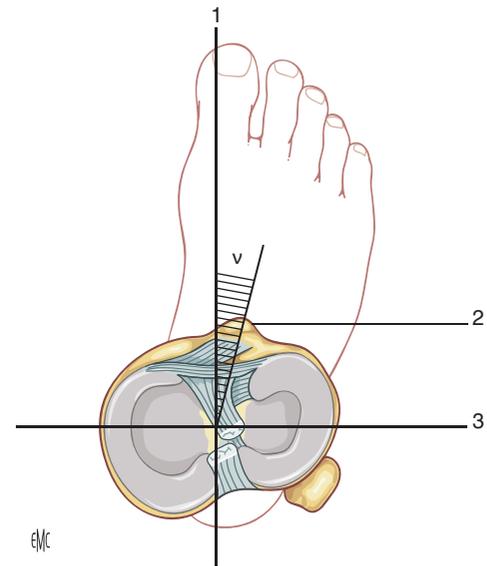


Figure 2. Mesure clinique de l'antéversion tibiale en position debout, les genoux étant de face : l'axe de l'empreinte du pied donne l'angle de torsion tibiale. 1. Axe antéropostérieur; 2. tubérosité tibiale; 3. axe transversal.



Figure 3. Évaluation comparative de la rotation interne de hanche en décubitus dorsal.

nique et la mesure scanographique^[10], concluant notamment que la mesure de la rotation interne et externe n'est pas le reflet de l'AVF^[11,12].

Il faut également attacher une importance toute particulière à l'étude du schéma de marche avec notamment la mesure de l'angle du pas^[4] qui permet d'analyser la composante dynamique du trouble de torsion^[12-14].

Mesures radiographiques conventionnelles^[1,4]

Les mesures tomodynamométriques (Fig. 4, 5) sont actuellement les plus utilisées et sans doute les plus précises, même si elles ne permettent pas une analyse dynamique^[4,15] et si plusieurs études discutent sa fiabilité du fait de la difficulté à définir l'axe du col fémoral^[16].

Concernant les mesures radiographiques : pour la torsion fémorale, il existe un intérêt à faire un cliché antéropostérieur en rotation interne de hanche^[9] et un cliché antéropostérieur du

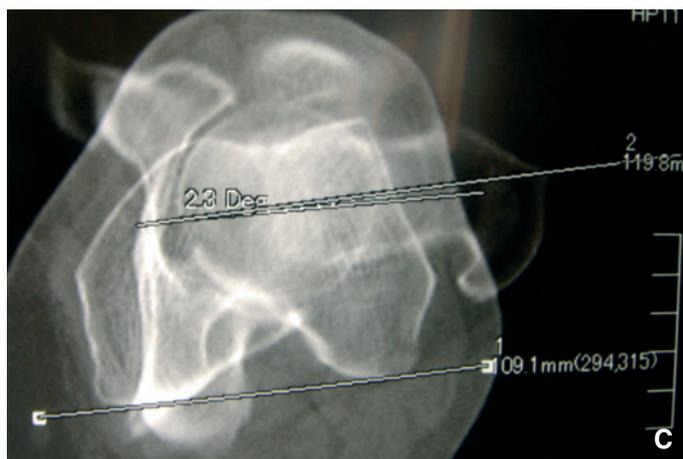
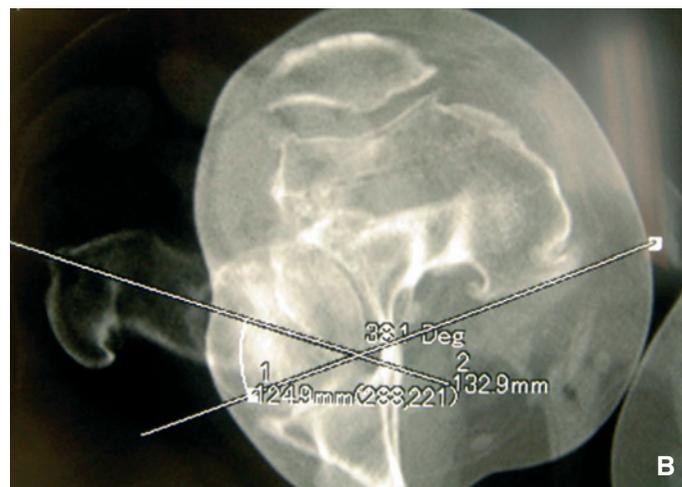
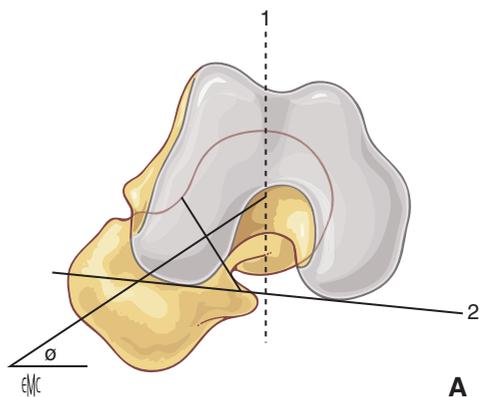


Figure 4. Mesure de l'antérotation fémorale au scanner qui correspond à l'angle formé entre l'axe du col et l'axe parallèle aux condyles postérieurs.

A. 1. Axe antéropostérieur ; 2. ligne transépicondylienne.

B. Radiographie d'une hanche avec excès d'antérotation fémorale (38°).

C. Radiographie de la hanche controlatérale.

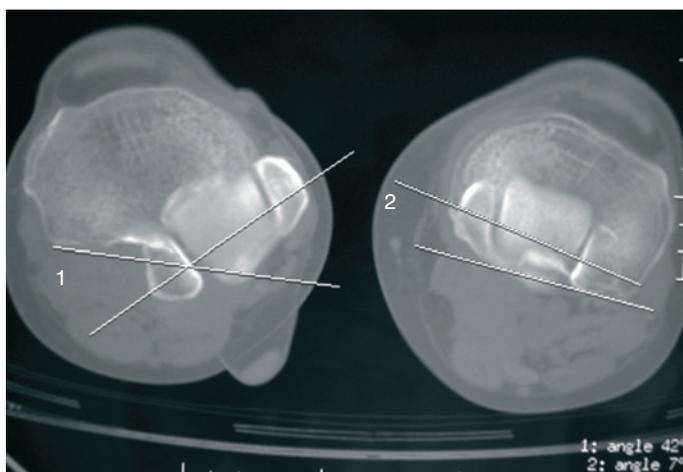


Figure 5. Mesure de la torsion tibiale externe au scanner, correspondant à l'angle formé entre la tangente aux rebords postérieurs des plateaux tibiaux (sur la coupe passant juste au-dessus du péroné) et l'axe de la pince bimalléolaire (axe passant par le milieu des malléoles sur une ligne parallèle à leur surface articulaire, sur la coupe montrant la partie toute supérieure du talus). 1. Angle de 42° ; 2. angle de 7°.

genou à 90° de flexion pour l'évaluation de la torsion fémorale distale en mesurant l'angle condylien postérieur (ACP) [17]. Malgré tout, les méthodes axiales ou directes sont difficiles (Bernageau, Dunn, Manlot), les méthodes biplans ayant été les plus utilisées (Dunlap, Ryder, Magimilligan, Chevrot) ; pour la torsion tibiale : aucune mesure n'est satisfaisante qu'il s'agisse de celle de Rosen, Hutter-Scott ou Jaffres.

L'apparition récente du système de radiographie EOS®, permettant une modélisation 3D du squelette entier avec une faible

irradiation, est une prospective intéressante dans le domaine des troubles de torsion. Folinais a montré que le système EOS® est une alternative valable au scanner pour cette indication [18].

Autres méthodes [19-26]

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) a montré également une fiabilité équivalente au scanner, permettant d'éviter les problèmes d'irradiation [27, 28].

Il faut citer la mesure fluoroscopique (Rogers) ou ultrasonographique, tout aussi approximative. Du fait de son innocuité, cette dernière peut être utilisée comme méthode de surveillance [29].

Plus récemment, des études ont montré l'intérêt de l'analyse en 3D du schéma de marche avec notamment une évaluation plus précise de l'angle du pas (permettant d'exclure la rotation pelvienne et donc l'effet d'une déformation rachidienne), avec une meilleure pertinence clinique dans l'évaluation des troubles de rotation [12, 30].

Au total, aucune mesure n'étant parfaitement fiable, les mesures cliniques restent très valables (5 % d'erreur en moyenne) par rapport au scanner qui est l'élément d'investigation le plus précis [4, 5], mais dans les années à venir il faudra s'intéresser à l'analyse 3D du schéma de marche et au système de radiographie EOS® [18].

■ Variation des torsions selon l'âge

Évolution jusqu'à la fin de la croissance

- Évolution de l'AVF : la torsion fémorale est spécifique à la position bipède de l'homme ainsi que l'ont montré Le Damany et Storck [1]. Chez l'être humain, il se produit une torsion puis une détorsion fémorale, l'antéversion de l'extrémité supérieure du

fémur diminuant progressivement jusqu'à l'âge adulte. Cette AVF s'installe in utero, essentiellement à partir du sixième mois (augmentation du quatrième au neuvième mois); elle est de 35 à 41° à la naissance, elle diminue de 2 à 3° par an jusqu'à 3 ans pour aboutir à un angle de 25 à 27° vers 5 à 6 ans, puis de 1 à 1,5° par an à partir de 3 ans, donnant une antéverson moyenne définitive de 20° à 10 ans^[5] et de 12 à 15° à 14 ans^[4]. Les mesures réalisées à l'âge adulte montrent une valeur moyenne de 14 ± 7° (0 à 31°) mesurée au scanner, la marge d'erreur de la mesure clinique étant de 5° dans 50% des cas^[4].

- Évolution de la torsion tibiale : les contraintes du fœtus entraîneront également in utero une déformation tibiale réalisant une TTI à la naissance. Celle-ci va spontanément se résoudre pour évoluer vers une TTE qui sera de 2 à 10° entre 0 et 1 an, de 10 à 20° entre 3 et 4 ans. L'angle moyen de TTE est très variable suivant les auteurs : 19,5° en moyenne avec une marge de variation de 20°^[1] :

- o elle est de 23°7 (5 à 47°) pour Taussig^[4] ;
- o de 29°18 (9 à 56°) mesurée sur os sec ;
- o et de 34° ± 8° (15 à 48°) pour Lerat^[4] après mesures tomométriques.

- Évolution de la torsion au niveau du pied : si les contraintes utérines peuvent entraîner, à la naissance et durant la première année de vie, un metatarsus varus adductus responsable d'une attitude en rotation interne chez le jeune enfant, aucune étude ne fait état d'une évolution des torsions au niveau du pied, la torsion externe exagérée du squelette jambier ayant été rendue responsable d'un pied plat valgus pour certains^[1] (Judet), d'un pied varus pour d'autres^[4]. L'angle de détorsion du pied est égal à l'angle du pas, soit 9° en moyenne (10° de rotation interne à 30° de rotation externe)^[4].

On ne saurait être complet sans parler : des valeurs de rotation des hanches reconnues normales chez l'adulte entre 40 et 50° de rotation externe et 30 à 45° de rotation interne; de la rotation fémorotibiale (condyle/plateaux tibiaux) au niveau du genou qui est de 3° en moyenne^[4].

Valeurs anormales des torsions primitives

On parlera d'AVF exagérée si les valeurs angulaires sont supérieures de 10 à 15° à la valeur moyenne de référence pour un âge donné, en sachant que pour Bedouelle seuls 15% des enfants ayant une AVF exagérée la conserveront à l'âge adulte. Les torsions tibiales sont considérées comme anormales si une TTI persiste après 4 ans (1,2% des cas pour Taussig) ou si la TTE est supérieure à 40° (peu différente de 4% des sujets pour Taussig^[4]).

Enfin, les anomalies de torsion ne peuvent être dissociées des morphotypes frontaux et sagittaux des membres inférieurs comme le montrent les études de Cahuzac^[31] et de Mouliès^[5] chez l'enfant, et de Lerat et Grammont chez l'adulte^[4], études surtout centrées sur la position de la TTA et ses éventuelles conséquences rotuliennes dans la cinématique du genou.

La position externe de la TTA reste faible chez l'enfant (Mouliès)^[5]; Vardon et Cahuzac notent une absence de corrélation entre morphotype frontal et transversal chez la fille, mais plus importante chez le garçon (morphotype associant genu varum et TTE)^[31].

À l'âge adulte, pour Grammont et Trouilloud, une TTE forte implique une TTA très latérale, le déplacement latéral de la TTA ayant également une répercussion sur la fémorotibiale homolatérale puisque les pressions fémorotibiales augmenteront du côté du déplacement de la TTA^[4].

■ Anomalies de torsion chez l'enfant

Anomalies isolées ou idiopathiques

Les problèmes rotationnels des membres inférieurs affectent un grand nombre d'enfants ou d'adolescents. Il faudra en premier

lieu, dans la grande majorité des cas, rassurer les parents pendant la consultation. Ces problèmes sont parfois associés à une consultation pour une anomalie dans le plan frontal (genu valgum ou genu varum) ou pour un problème de pied (pied plat).

Le motif le plus fréquent de la consultation est lié à une démarche en rotation interne, beaucoup plus rarement à une démarche en rotation externe. Cette démarche sera parfois associée à une notion de chutes fréquentes. Il sera nécessaire pour l'orthopédiste consulté de bien connaître l'histoire naturelle de ces anomalies de torsion afin de rassurer, seule thérapeutique dans plus de neuf cas sur dix. Il faudra, bien sûr, lors de la consultation, éliminer une cause somatique à l'anomalie rotationnelle : malformation par inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI), hémiparésie fruste associée à un équin discret dépisté par un examen neurologique clinique, dystrophie musculaire, etc. La hanche sera soigneusement examinée à la recherche d'une dysplasie^[32].

À l'issue de cet examen, l'on pourra mettre en évidence deux profils rotationnels :

- le premier, et le plus fréquent, celui de la démarche en rotation interne ;
- le second, moins fréquent, celui de la démarche en rotation externe.

Démarche en rotation interne

Durant la première année de vie, l'attitude en rotation interne est souvent secondaire à un metatarsus varus adductus isolé ou associé à une TTI. Celle-ci, secondaire à la position intra-utérine, va spontanément se résoudre. Quant au « pes adductus » faisant partie du metatarsus varus, il se résoudra tout seul également dans 99,9% des cas. Traitement : seul le metatarsus varus raide ou persistant après huit mois nécessitera un traitement orthopédique fait d'attelles, parfois de plâtres, le plus souvent de chaussures orthopédiques.

Dès l'âge de la marche à la fin de la croissance, pour Mouliès^[5], 20% des enfants de 3 à 5 ans marchent en rotation interne; cette fréquence diminue rapidement avec l'âge physiologique jusque vers 4 ans. Cette TTI sera souvent associée à un genu varum jusque l'âge de 2 ans environ^[33]. Pour Mouliès, il est également exceptionnel de retrouver un enfant marchant les pieds en dedans après 11 ans, âge auquel on assiste plutôt à la « déformation » inverse puisque 50% des enfants marchent alors les pieds en rotation externe, attitude qui ira en se normalisant jusqu'à l'adolescence, âge auquel 90% des sujets auront un angle du pas normal c'est-à-dire en légère rotation externe (13° entre 2 et 3 ans et 7° chez le grand enfant et l'adulte^[1]).

Entre 3 et 8 ans, cette attitude « pied en dedans » est généralement liée à un excès d'AVF, la normalisation de cette attitude étant généralement secondaire à une diminution de la déformation initiale et à une compensation sous-jacente à la jambe (TTE) et/ou au pied.

À l'examen, sera souvent retrouvée une forte rotation interne de hanche (80°) associée à une rotation externe faible (10 à 15°) voire nulle.

Dans cette démarche, est souvent incriminée la position assise en W, appelée aussi « position TV » : les enfants reposant sur les fesses, les hanches étant fléchies à 90° et en position interne maximale, les genoux sont également fléchis et les pieds reposent sur le sol par leur face interne, cause ou conséquence de l'anomalie rotationnelle. Plus tard, cette attitude pourra se caractériser par la constatation d'un « strabisme rotulien » en position debout pieds joints, faisant alors apparaître un genu varum; celui-ci se corrige lorsque les rotules sont placées de face, les pieds se positionnent alors en rotation externe témoignant de la compensation de l'AVF par une forte TTE. Il faudra, là aussi, résister à la tentation de faire « quelque chose » pour rassurer les parents, compte tenu de la normalisation de l'angle du pas qui sera de règle à l'âge adulte.

Traitement : l'observation simple après un diagnostic précis sera la règle dans 99,99% des cas. Seulement 0,01% des enfants ou des adolescents marchant en rotation interne relèvent d'une indication opératoire. Celle-ci devra être longuement réfléchie et mûrie car les complications sont nombreuses (peu différent de 15%^[34]) : retard de consolidation, pseudarthrose, cal vicieux,



ILMI, infection, syndrome de loge, et la rançon cicatricielle n'est pas négligeable car ce traitement peut parfois nécessiter quatre ostéotomies de dérotation (deux fémorales intertrochantériennes et deux tibiales distales). Ces interventions ne devront jamais être pratiquées avant l'âge de 10 ans et uniquement pour des déformations très sévères avec une AVF supérieure à 50° et une rotation interne de hanche supérieure ou égale à 80° en l'absence de rotation externe. Par ailleurs, Bedouelle a bien montré dans une étude multicentrique d'enfants opérés^[5] que seuls 15 % de ceux-ci auraient gardé une AVF exagérée à l'âge adulte. L'indication opératoire doit donc être le plus possible retardée et réservée aux sujets présentant des troubles fonctionnels sévères, bien que certaines publications récentes fassent part de résultats plus satisfaisants^[5,35,36].

Démarche en rotation externe

Avant l'âge de 2 ans, l'attitude en rotation externe est relativement habituelle et secondaire aux rétractions musculaires liées à la position intra-utérine et limitant la rotation interne de hanche et l'extension des genoux. Traitement : cette attitude se résoudra d'elle-même.

Chez l'enfant et l'adolescent, la démarche en rotation externe est généralement secondaire à une TTE, exceptionnellement à une torsion fémorale externe qui sera plus communément observée chez l'enfant obèse. Lorsque cette position sera unilatérale, il faudra se méfier de la survenue d'une épiphysiolyse de hanche.

Le traitement chirurgical de la torsion tibiale sera également exceptionnel (0,1 %) pour des torsions supérieures en moyenne à 45° (60° de TTE au moins, ou 25 à 30° de TTI pour certains) et après l'âge de 10 ans. En association à une dérotation importante, une aponévrotomie de décharge systématisée et une ostéotomie péronière seront pratiquées de façon à éviter les complications vasculonerveuses assez fréquentes dans certaines séries^[5].

Anomalies secondaires ou acquises

Anomalies fémorales

Un certain nombre de pathologies peuvent être responsables d'anomalies de torsion fémorale. La plus fréquente est l'AVF exagérée des séquelles de LCH secondaires à la position intra-utérine et au traitement orthopédique, mais aussi :

- des séquelles d'IMOC engendrées par le déséquilibre musculaire au niveau de certains groupes (psoas, adducteurs), limitant la régression naturelle de l'AVF ;
- l'ILMI par malformation congénitale ;
- les séquelles de maladie de LPC (avec excès d'AVF) ;
- le cal vicieux post-traumatique avec décalage ;
- l'épiphysiolyse de hanche avec excès de rétroversion.

Anomalies tibiales

Une torsion tibiale est habituellement rencontrée dans les séquelles de PBVE congénitaux, dans les séquelles neurologiques de la PAA mais aussi dans les myéloméningocèles. Cette anomalie de torsion pourra également se rencontrer dans le tibia vara congénital (maladie de Blount), le rachitisme carenciel commun, bien exceptionnel de nos jours, et bien évidemment les cals vicieux post-traumatiques moins fréquents ici qu'au niveau fémoral. Certaines anomalies peuvent être responsables d'anomalies de torsions mixtes à la fois fémorales et tibiales comme la PAA, le rachitisme vitaminorésistant (RVR) ou l'arthrogrypose par exemple.

Traitement

L'indication de dérotation fémorale surtout, parfois tibiale, sera ici plus fréquente et parfois de règle pour certains (par exemple l'ostéotomie fémorale intertrochantérienne de dérotation dans les séquelles de LCH) ou cals vicieux unilatéraux importants. La technique d'Ilizarov pourra trouver certaines indications au niveau tibial (par exemple dérotation basse de jambe dans les séquelles de certains myéloméningocèles^[37]).

Anomalies de torsion chez l'adulte

Les anomalies de torsion de l'enfant ou de l'adolescent persistant à l'âge adulte sont généralement bien tolérées ; néanmoins un certain nombre de facteurs : âge (supérieur à 45 ans), surcharge pondérale, morphotype frontal (notamment en varus) ou sagittal, notion de torsion équilibrée ou déséquilibrée (index de torsion de Lerat^[4], index du cumul de torsion de Duparc et Thomine^[7]), pourront être considérés comme facteurs aggravants et incriminés dans la survenue de pathologies concentrées essentiellement au niveau du genou (gonarthroses fémorotibiales, chondropathies ou instabilités fémoropataillaires, etc.).

Leurs retentissements sur la hanche, la cheville ou le pied seront moins évidents ou font l'objet de controverses, notamment la survenue de coxarthrose pour laquelle il semble bien qu'il soit nécessaire que, à une AVF exagérée, soit associée une dysplasie antérieure du cotyle.

Ceci est dû au fait que les amplitudes articulaires rotatoires de la hanche d'une part, et de la cheville et du complexe de l'arrière-pied d'autre part, leur permettent d'échapper aux conséquences de cette anomalie de torsion ; mais du fait du secteur de mobilité, c'est le retentissement au niveau du genou qui est le mieux connu.

Évaluation du retentissement

Sur le bassin et le rachis

Un excès d'AVF peut être à l'origine d'une bascule du bassin en avant. Cette attitude permettrait, en verticalisant le cotyle, de diminuer sa propre antéversion et de gagner une partie de la rotation externe de hanche limitée par l'AVF. On observe également dans ces cas une hyperlordose lombaire destinée à recentrer le poids du corps, déjeté en avant des hanches par excès d'AVF^[4].

Sur la hanche^[38]

La dysplasie de hanche s'accompagne d'anomalies fémorales (avec en particulier une antéversion excessive) et cotyloïdiennes. L'AVF paraît en cause dans la subluxation de la hanche, associée à la dysplasie du cotyle, avec à terme une évolution vers l'arthrose. La coxa valga aurait également un rôle aggravant^[4,39].

Dans la coxarthrose primitive, en revanche, l'AVF paraît hors de cause, et la responsabilité des lésions semble incomber à l'acétabulum, ou à des facteurs dynamiques, comme l'angle du pas notamment^[40-45]. À l'opposé, certaines hanches rétroversées pourraient être exposées à l'arthrose^[46]. Dans le cadre des prothèses totales de hanche, les anomalies de position des pièces cotyloïdiennes et fémorales peuvent être à l'origine de limitation des amplitudes articulaires, de position vicieuse du membre inférieur, de luxations des implants, ou peuvent retentir sur le genou^[47-50].

Sur le genou

Cals vicieux

L'étude des cals vicieux rotatoires (post-traumatiques ou iatrogènes) offre un modèle expérimental pour démontrer les liens unissant trouble de torsion et arthrose. Le délai d'apparition de l'arthrose est de l'ordre de 20 ans. Un cal vicieux fémoral en « rotation » externe engendre une arthrose fémorotibiale interne, alors qu'un cal vicieux tibial en « rotation » interne engendre une arthrose fémorotibiale externe^[51]. Bretin a montré qu'un trouble de rotation « externe » d'origine diaphysaire entraîne une déformation en valgus de l'axe mécanique alors qu'un trouble de rotation « interne » entraîne au contraire une déformation en varus. Les cals vicieux rotatoires n'ont donc pas uniquement un retentissement esthétique, mais peuvent résulter dans une morbidité plus importante du fait de la déformation de l'axe mécanique^[33].

Le seuil de tolérance, même s'il est variable d'un individu à l'autre, paraît devoir se situer vers 20° [52,53]. Le cal vicieux retentira d'autant plus sur le genou qu'il sera proche de l'articulation.

Gonarthrose

En dehors des cals vicieux, il semble exister un lien entre anomalie de torsion et gonarthrose. Dans l'arthrose fémorotibiale interne, on observe une diminution de la TTE qui semble siéger le plus souvent dans la métaphyse proximale [54,55], associée à une faible ATF [56,57]. Par ailleurs, ces troubles de torsion ont un retentissement sur la cinématique fémorotibiale, ce qui peut expliquer la survenue d'arthrose: une torsion fémorale interne entraîne une augmentation de l'adduction tibiale et une diminution de la rotation interne lors de la flexion du genou [58]; des troubles de rotations externes (d'origine fémoral ou tibial) augmentent les contraintes fémorotibiales internes [59]. À l'inverse, l'arthrose fémorotibiale n'est pas toujours associée à un trouble de torsion [60].

Pathologie fémoropatellaire

Les anomalies de rotation des membres inférieurs s'observent également dans le cadre de la pathologie fémoropatellaire. Les syndromes douloureux rotuliens, mais surtout l'instabilité rotulienne, sont concernés. Un certain nombre de facteurs morphologiques ont été mis en évidence pour expliquer les luxations de la rotule en dehors. La dysplasie de trochlée est l'anomalie principale, sous forme d'une gorge trochléenne, comblée, plate, non congruente. L'excès de hauteur rotulienne [61,62] et la dysplasie du vaste interne contribuent également à l'instabilité [63].

Des anomalies de torsion peuvent être également associées, ayant pour effet de déporter en dehors le système extenseur :

- à l'étage fémoral, cela se traduit par une AVF excessive, qui tend à décaler la gorge trochléenne en dedans [4,64,65]. Pour autant, il n'y a pas de relation systématique entre une AVF excessive et l'existence d'anomalies morphologiques de l'articulation fémoropatellaire [66] mais beaucoup plus avec un quadriceps court [51,62,63,67,68]. Yildirim a montré également qu'un cal vicieux de plus de 10° en rotation externe pouvait entraîner une altération des scores cliniques fémoropatellaires [69];
- à l'étage tibial, cette désaxation est le fait d'un excès de latéralisation de la TTA, qui porte la rotule en dehors du rail trochléen. Il s'y associe volontiers une augmentation de la torsion dans le genou (+8° dans les instabilités contre +3° chez des sujets témoins). Cette désaxation se mesure par la TAGT (distance entre la tubérosité tibiale antérieure et le fond de la gorge trochléenne: valeur normale moyenne 16 ± 4 mm) [4,63,70,71].

Le morphotype frontal est également incriminé puisque dans sa série de la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (Sofcot), Lerat [4] relève dans sa population une plus

grande proportion de genu valgum, une AVF et une TTE plus fortes que dans la population témoin en association à une latéralisation de la TTA. Cela est également relevé par Eckhoff et Winter [40,56].

Enfin, une luxation de rotule peut être une des complications de la prothèse totale du genou en rapport avec une malposition d'un des composants prothétiques fémoraux ou tibiaux [72,73].

Sur la cheville et le pied

Les conséquences sur la cheville et le pied sont mal connues chez l'adulte. On sait cependant qu'il existe une relation entre TTE élevée et pied plat et inversement, entre TTE faible et pied creux [19]. Néanmoins, il semble que les mécanismes de compensation permettent à la cheville et au pied d'échapper à l'arthrose [74].

Dans la survenue des gonarthroses, si la notion d'anomalie de torsion ne permet pas d'établir une pathologie probante, la classification en fonction des index de torsion permet d'expliquer le retentissement variable de ceux-ci en fonction des phénomènes dynamiques (habitude de marche, possibilités rotatoires des articulations [7]).

■ Techniques chirurgicales

La correction des anomalies de torsion des membres inférieurs chez l'adulte fait appel à différentes techniques d'ostéotomies de dérotation (par définition, de rotation externe). Elles varient selon le segment de membre considéré, le siège (métaphysaire ou diaphysaire), le moyen de fixation et l'existence d'une déformation associée ou de la présence d'une arthrose que l'on souhaite traiter conjointement. Si le trait d'ostéotomie est asymétrique, il se produit conjointement à la dérotation une déformation axiale parasite.

Ostéotomies fémorales

Elles peuvent siéger au fémur proximal [75], le trait d'ostéotomie étant intertrochantérien (Fig. 6). Ce choix est dicté par la richesse vasculaire de la zone métaphysaire, garantissant une bonne consolidation. En effet, la zone diaphysaire haute (soustrochantérienne), mal vascularisée, est connue pour son taux élevé de pseudarthroses. À l'opposé, un trait proximal, proche du col fémoral, risque d'affecter la vascularisation du col avec comme conséquence possible une ostéonécrose de la tête fémorale. La fixation est habituellement assurée par une lame-plaque à 90°.

Les ostéotomies fémorales basses n'ont guère leur place dans les dérotations pures. Leur proximité par rapport au genou risque de

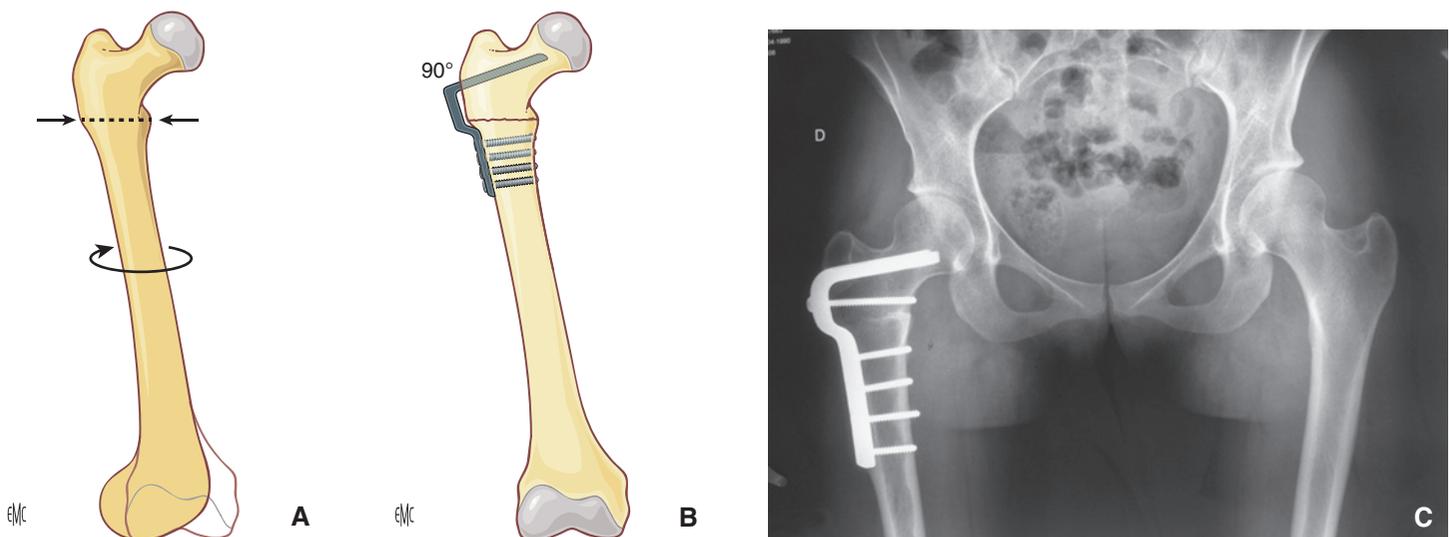


Figure 6. Ostéotomie métaphysaire proximale de dérotation fixée par une lame-plaque à 90° (flèches) (A, B) et radiographie postopératoire (C).

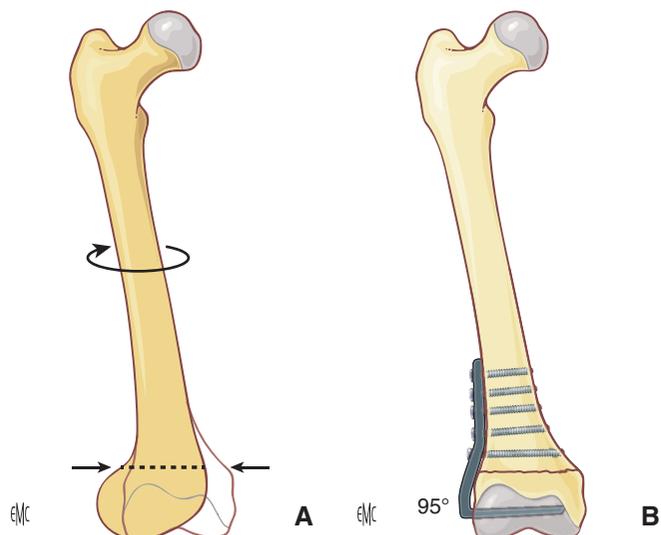


Figure 7. Ostéotomie métaphysaire distale de dérotation fixée par une lame-plaque à 95° (flèches) (A, B).

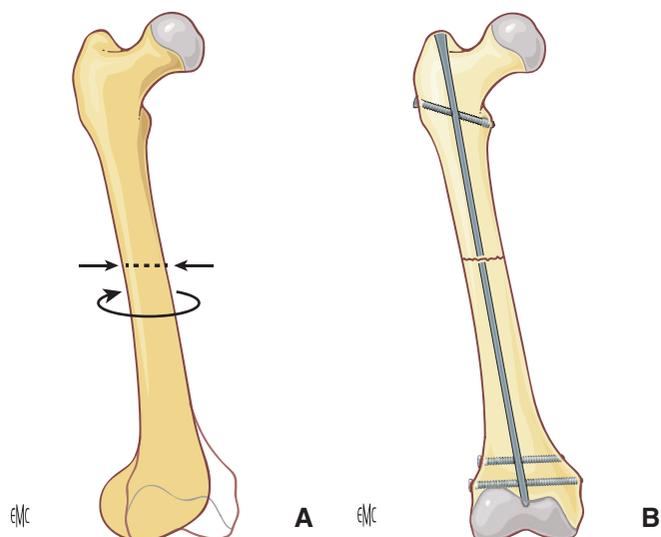


Figure 8. Ostéotomie fémorale diaphysaire de dérotation fixée par un enclouage centromédullaire (flèches) (A, B).

retentir sur l'axe fémorotibial et l'engagement de la rotule dans la trochlée^[76]. Elles sont fixées habituellement par une lame-plaque à 95° (Fig. 7).

Les ostéotomies médiadiaphysaires peuvent être effectuées au moyen d'une scie endomédullaire^[77] avec de bons résultats, ou par abord direct du fémur. Le moyen idéal de fixation étant l'enclouage centromédullaire verrouillé (Fig. 8).

Nelitz a montré l'importance du siège de l'ostéotomie de dérotation : les ostéotomies réalisées au niveau proximal résultent en une varisation fémorale, alors que celles réalisées sur le fémur distal entraînent au contraire une valgisation. Une ostéotomie de dérotation proximale sera donc proposée chez des patients avec un genu valgum, et distale chez ceux présentant au contraire un genu varum. Il faut également tenir compte de la courbure fémorale dans la décision, un antecurvatum important augmentant sensiblement le risque de déformations secondaires dans le plan frontal. Les ostéotomies médiadiaphysaires sont celles qui entraînent le moins de retentissement sur le plan frontal^[78].

Ostéotomies tibiales

Les ostéotomies tibiales métaphysaires hautes de dérotation interne ou externe font encourir un risque important de lésion vasculaire à type d'ischémie ou de syndrome de loge, l'artère popli-

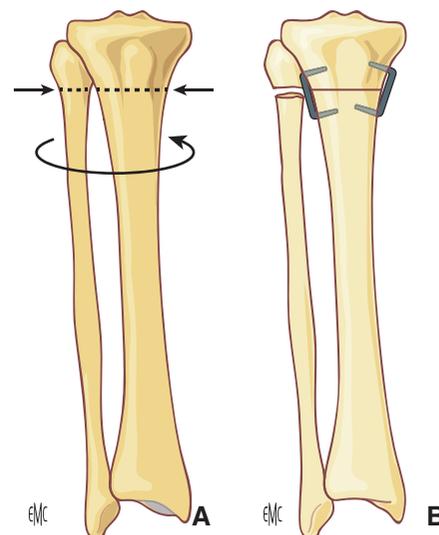


Figure 9. Ostéotomie tibiale proximale de dérotation associée à un relèvement de la tubérosité tibiale antérieure et une ostéotomie proximale du péroné (flèches) (A, B). Schéma sans relèvement de la tubérosité tibiale antérieure.

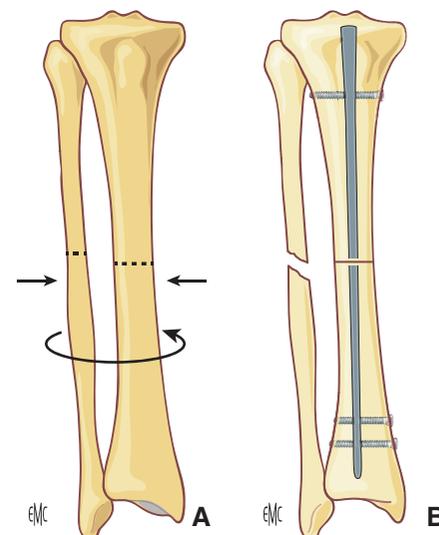


Figure 10. Ostéotomie tibiale diaphysaire de dérotation fixée par un enclouage centromédullaire (flèches) (A, B).

tée basse étant solidement amarrée au contact de l'os à l'extrémité supérieure du tibia. Les lésions nerveuses se rencontrent également par étirement du nerf sciatique poplitée externe au niveau du col du péroné. Lorsque le trajet du trait d'ostéotomie est sus-tubérositaire (au-dessus de la TTA), la dérotation a également pour effet de modifier la position finale de la TTA^[79]. Il faut en tenir compte, et cet effet peut être recherché en vue de recentrer (« médialiser ») l'appareil extenseur dans les instabilités rotuliennes^[79]. Ce trait proximal risque en outre d'entamer l'articulation péronéotibiale supérieure. Il est préférable de recourir à un trait plus distal, après relèvement de la tubérosité tibiale (Fig. 9). On peut ainsi régler à la demande la position finale de celle-ci^[4,79].

Les ostéotomies métaphysaires basses exposeront moins aux complications vasculonerveuses^[80]. Elles ont l'inconvénient théorique de corriger une déformation qui est de siège proximal dans les anomalies constitutionnelles.

Les ostéotomies diaphysaires reposent sur les mêmes principes que ceux exposés pour le fémur (Fig. 10).

Le péroné^[81] ne constitue habituellement pas un obstacle à la dérotation pure. Sa section est souvent indispensable lorsqu'une correction conjointe, le plus souvent une valgisation, est

567 envisagée. La section basse du péroné est plus sûre car, au niveau
568 du col, le nerf sciatique poplité externe risque d'être entrappé
569 dans l'ostéotomie [80, 82, 83]. Elle peut être évitée si la dérotation est
570 inférieure à 20°.

571 Transposition de la tubérosité tibiale 572 antérieure

573 Certains auteurs ont recours à des ostéotomies métaphysaires
574 sus-tubérositaires de dérotation pour corriger la TAGT [4, 79]. Cette
575 technique conduit à réduire simultanément la TTE.

576 Il est généralement préférable de modifier électivement la posi-
577 tion de la TTA par une transposition isolée : en dedans en cas de
578 TAGT excessive, ou en dehors pour corriger une hypertransposi-
579 tion iatrogène (« médialisation » excessive).

580 Techniques spéciales

581 En cas de déformations associées, certaines techniques per-
582 mettent de corriger conjointement une rotation et une déviation
583 axiale. Dans l'ostéotomie plane oblique, l'inclinaison du trait
584 d'ostéotomie permet de faire varier l'angle en fonction du degré de
585 rotation. Les valeurs d'angles souhaitées et l'inclinaison à donner
586 au trait sont fournies par des abaques [84, 85].

587 L'ostéotomie en « dôme » est de réalisation difficile. Elle a
588 l'avantage de ne pas créer de cal vicieux de l'extrémité supé-
589 rieure du tibia. Les méthodes exposées précédemment font appel
590 à une technique en un temps. Des déformations importantes
591 ou associées (en particulier raccourcissement) peuvent nécessi-
592 ter une correction progressive par la méthode d'Ilizarov [86]. On
593 aura alors recours au fixateur externe ou au clou d'allongement
594 progressif.

595 Dans certains cas syndromiques avec un trouble de torsion à la
596 fois fémoral et tibial, certains proposent d'associer simultanément
597 une ostéotomie fémorale proximale de rotation externe et une
598 ostéotomie tibiale distale de rotation interne [87].

599 Soins postopératoires

600 L'appui est retardé de deux à trois mois. L'emploi d'un clou
601 verrouillé peut permettre de raccourcir ce délai. S'agissant le plus
602 souvent de reprises chirurgicales, le risque infectieux est plus
603 élevé, faisant recourir à un protocole d'antibiothérapie préven-
604 tive de principe. Le risque thromboembolique est également élevé
605 et nécessite un traitement préventif systématique. Un contrôle
606 radiographique régulier permet de suivre l'évolution du cal.
607 L'ablation du matériel est programmée 18 mois après la conso-
608 lidation.

609 ■ Indications chirurgicales

610 Généralités

611 L'indication chirurgicale doit tenir compte de l'âge du sujet et de
612 la plainte fonctionnelle, qui doit être rattachée à la déformation.
613 Le degré de l'anomalie de torsion doit prendre en compte la capa-
614 cité de compensation par les amplitudes articulaires de la hanche
615 et de la détorsion sous-malléolaire. Il est également nécessaire de
616 tenir compte de l'existence d'une anomalie associée. La tolérance
617 varie d'un sujet à l'autre, et il est parfois difficile de retenir un seuil
618 critique pour guider l'indication.

619 Hanche

620 Dysplasie de hanche

621 L'excès d'antéversion du col fémoral, dans les dysplasies de
622 hanche, peut être corrigé par une ostéotomie fémorale haute de
623 dérotation externe [4]. La correction d'un angle du pas interne
624 excessif, pour des raisons esthétiques, est plus que discutable.

Coxarthrose

625 Le rôle de l'antéversion dans la genèse de la coxarthrose pri-
626 mitive, et donc l'intérêt de sa correction, est discuté et n'est pas
627 d'usage courant. 628

Prothèse totale de hanche

629 Les anomalies de positionnement (en rotation) des pièces fémor-
630 ales ou cotyloïdiennes dans les prothèses de hanches instables
631 sont clairement établies, et le diagnostic précis est parfois difficile
632 tant sur le plan clinique que radiographique. 633

634 Néanmoins, le recours au scanner peut parfois permettre, après
635 atténuation des artefacts liés à la présence de métal, d'incriminer
636 la pièce en cause. Ici, l'ostéotomie est illogique, et il faut parfois
637 envisager une reprise chirurgicale de stabilisation par croissant
638 antiluxation si le sujet est âgé et le défaut mineur, ou de modifica-
639 tion de la position de l'implant notamment chez les sujets jeunes
640 et/ou présentant une anomalie importante.

641 Néanmoins, d'autres facteurs sont en cause comme la restitui-
642 tion de la longueur et du déport latéral du col, la position du grand
643 trochanter, la qualité des muscles, la voie d'abord employée, l'âge,
644 etc.

Genou

645 Cals vicieux 646

647 Dans le cadre des cals vicieux, ce seuil (différentiel par rapport
648 au côté sain) est estimé à 20° pour le fémur, il est plus flou pour le
649 tibia. Il faut insister sur la prévention concernant le traitement des
650 fractures, le taux de malrotations postopératoires supérieures à 15°
651 est estimé à 20 % dont la moitié seulement est symptomatique.
652 Il est majoré en cas de fracture fémorale ; dans les fractures de
653 jambes, le péroné joue parfois le rôle de tuteur lorsqu'il est intact ;
654 et de fracture multifocale ou comminutive.

655 Au fémur, il s'agit le plus souvent d'un cal vicieux en rotation
656 externe [88].

657 Les mesures préventives font appel à des mensurations pré-
658 ou peropératoires comparatives, cliniques ou radiographiques,
659 prenant pour référence le membre sain. L'installation du blessé
660 sur table orthopédique est également importante, et le recours
661 à une traction transcondylienne permet de garantir un bon
662 contrôle du fragment distal. Le verrouillage des clous centro-
663 médullaires prévient des défauts de rotations postopératoires.
664 Un décalage, déposé précocement, avant la consolidation, sera
665 corrigé aisément par manœuvres externes, après déverrouillage
666 d'une des extrémités du clou (et il ne faudra pas hésiter, en
667 cas de doute, à réaliser une mesure comparative des torsions
668 comme nous l'avons vu précédemment). Le traitement des
669 cals vicieux fait appel soit à une ostéotomie dans le cal, sur
670 un clou, soit à une ostéotomie métaphysaire, proximale de
671 préférence [51, 89, 90].

672 En cas d'arthrose associée, le recours à une ostéotomie mé-
673 taphysaire fémorale basse et/ou tibiale haute permet la correction
674 du valgus ou du varus concomitant, en même temps que la déro-
675 tation [51, 91].

Gonarthrose

676 Dans la gonarthrose essentielle, certains auteurs suggèrent,
677 lorsque le traitement envisagé est une ostéotomie tibiale de
678 valgisation, d'associer une discrète rotation externe. L'intérêt
679 serait de compenser la rotation tibiale interne, observée dans les
680 arthroses fémorotibiales internes, associée à la déformation en
681 genu varum [53]. 682

683 En cas d'arthrose évoluée, le recours à une prothèse peut être
684 nécessaire. Si les déviations axiales sont modérées, elles peuvent
685 être corrigées par les coupes osseuses qui président à la mise en
686 place d'une prothèse totale. Lorsqu'elles sont importantes, il faut
687 associer une ostéotomie préalable ou dans le même temps [92]. Les
688 prothèses unicompartmentales sont ici bien évidemment contre-
689 indiquées.

Pathologie fémoropatellaire

Dans les luxations de rotule, ou certains syndromes douloureux rotuliens, où la TAGT excède 20 mm, le recours à une transposition de la TTA est d'usage courant^[4,50,67]. En cas d'antéversion ou de TTE excessive, une ostéotomie fémorale de dérotation externe et/ou tibiale de dérotation interne peut être proposée^[4]. Elle doit logiquement être proximale, proche du siège de la déformation. Fouilleron a montré de bons résultats dans cette indication en associant une ostéotomie tibiale de dérotation en zone métaphysaire proximale et à une médialisation de la TTA^[93].

L'instabilité fémoropatellaire peut être une complication d'une prothèse totale du genou, surtout en cas d'arthrose fémorotibiale externe avec déformation en valgus importante et fixée. Elle peut être liée à un mauvais positionnement du carter fémoral en rotation interne, diminuant la congruence fémoropatellaire ou à un positionnement en rotation interne du plateau tibial prothétique qui a pour effet de créer une TAGT excessive. Le traitement logique est lourd et consiste en une reprise de la prothèse avec changement de la pièce en cause. Il peut également consister en une transposition interne de la TTA. Il devrait être surtout préventif, et d'autres facteurs sont également en cause (rétraction d'un aileron, épaisseur excessive ou saillie trop importante du bouton rotulien par défaut de coupe rotulienne).

Conclusion

Les anomalies de torsion des membres inférieurs chez l'adulte sont difficiles à dépister cliniquement, et le scanner ou l'IRM apparaissent indispensables pour les quantifier précisément. L'apport récent du système de radiographie EOS® permettant une modélisation 3D du squelette entier ainsi que l'analyse 3D du schéma de marche laissent espérer obtenir une analyse plus précise et plus pertinente de ces anomalies.

La correction des anomalies acquises est logique et donne de bons résultats. Le rôle physiopathologique des anomalies de torsion congénitales est moins souvent établi, et le recours à un traitement chirurgical doit être envisagé avec une très grande circonspection. Il en est de même chez l'enfant où la simple surveillance des anomalies rotationnelles idiopathiques sera de règle dans 99,99 % des cas. En cas d'anomalies acquises secondaires, le traitement sera discuté au cas par cas.

“ Points essentiels

- Troubles fréquents chez l'enfant, très souvent isolés ou idiopathiques et évoluant favorablement sans traitement.
- Rassurer les parents.
- Évaluation clinique (intérêt de l'étude du schéma de marche) et radiologique (scanner indispensable et apport intéressant du système EOS®).
- Le meilleur traitement, c'est la prévention (attention aux cals vicieux postopératoires notamment en traumatologie).
- Bien évaluer le retentissement global de la déformation avant toute décision chirurgicale.
- Penser au retentissement sur les articulations adjacentes en fonction du siège de l'ostéotomie.

Déclaration d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts en relation avec cet article.



Références

- [1] Kinzinger H, Castiaux P. Les vices de torsion des membres inférieurs. Historique, évolution clinique. *Acta Orthop Belg* 1977;**43**:379-470.
- [2] Reikeras O. Is there a relationship between femoral anteversion and leg torsion? *Skeletal Radiol* 1991;**20**:409-11.
- [3] Le Damany P. La torsion du tibia normale, pathologique, expérimentale. *J Anat Physiol* 1909;**45**:598-615.
- [4] Lerat JL, Taussig G. Les anomalies de rotation des membres inférieurs. *Rev Chir Orthop* 1982;**68**:1-74.
- [5] Mechin JF. Troubles torsions des membres inférieurs. *Ann Orthop Ouest* 1995;**27**:195-220.
- [6] Cahuzac JP, Hobatho MC, Baunin C, Boulot J, Darmana R. Classification of 125 children with rotational abnormalities. *J Pediatr Orthop* 1992;**12**:59-66.
- [7] Duparc F, Thomine JM, Simonet J, Biga N. Torsions osseuses fémorales et tibiales associées à la gonarthrose fémorotibiale interne. *Rev Chir Orthop* 1992;**78**:430-7.
- [8] Netter R. Note sur un procédé clinique de mesure de l'antéversion du col fémoral. *Rev Chir Orthop* 1939;**26**:347-51.
- [9] Chung CY, Lee KM, Park MS, Lee SH, Choi IH, Cho TJ. Validity and reliability of measuring femoral anteversion and neck-shaft angle in patients with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am* 2010;**92**:1195-205.
- [10] Seber S, Hazer B, Köse N, Gökürk E, Günal I, Turgut A. Rotational profile of the lower extremity and foot progression angle: computerized tomographic examination of 50 male adults. *Arch Orthop Trauma Surg* 2000;**120**:255-8.
- [11] Kim HD, Lee DS, Eom MJ, Hwang JS, Han NM, Jo GY. Relationship between physical examinations and two-dimensional computed tomographic findings in children with intoeing gait. *Ann Rehabil Med* 2010;**35**:491-8.
- [12] Radler C, Kranzl A, Manner HM, Höglinger M, Ganger R, Grill F. Torsional profile versus gait analysis: consistency between the anatomic torsion and the resulting gait pattern in patients with rotational malalignment of the lower extremity. *Gait Posture* 2010;**32**:405-10.
- [13] Bruce WD, Stevens PM. Surgical correction of miserable malalignment syndrome. *J Pediatr Orthop* 2004;**5**:294-8.
- [14] Bennett JT, Bunnell WP, MacEwen GD. Rotational osteotomy of the distal tibia and fibula. *J Pediatr Orthop* 1985;**20**:217-20.
- [15] Sayli U, Bolukbasi S, Atik OS, Gundogdu S. Determination of tibial torsion by computed tomography. *J Foot Ankle Surg* 1994;**33**:144-7.
- [16] Jaarsma RL, Bruggeman AW, Pakvis DFM. Computed tomography determined femoral torsion is not accurate. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;**124**:552-4.
- [17] Viel T, Casin C, Ducellier F. Is radiographic measurement of distal femoral torsion reliable? *Orthop Traumatol Surg Res* 2013;**99**:517-22.
- [18] Folinis D, Thelen P, Delin C. Measuring femoral and rotational alignment: EOS system versus computed tomography. *Orthop Traumatol Surg Res* 2013;**99**:509-16.
- [19] Berman L, Mitchell R, Katz D. Ultrasound assessment of femoral anteversion. A comparison with computerised tomography. *J Bone Joint Surg Br* 1987;**69**:268-70.
- [20] Hinderaker T, Uden A, Reikeras O. Direct ultrasonographic measurement of femoral anteversion in newborns. *Skeletal Radiol* 1994;**23**:133-5.
- [21] Joseph B, Carver RA, Bell MJ, Sharrard WJ, Levick RK, Aithal V, et al. Measurement of tibial torsion by ultrasound. *J Pediatr Orthop* 1987;**7**:317-23.
- [22] Lausten GS, Jorgensen F, Boesen J. Measurement of anteversion of the femoral neck. Ultrasound and computerised tomography compared see comment. *J Bone Joint Surg Br* 1989;**71**:237-9.
- [23] Pasciak M, Stoll TM, Hefti F. Use of ultrasonography for measurement of femur anteversion and tibial torsion in children. *Chir Narzadow Ruchu Orthop Pol* 1994;**59**:279-83.
- [24] Terjesen T, Anda S, Svenningsen S. Femoral anteversion in adolescents and adults measured by ultrasound. *Clin Orthop* 1990;**256**:274-9.
- [25] Tomczak R, Gunther K, Pfeifer T, Haberle HJ, Rieber A, Danz B, et al. The measurement of the femoral torsion angle in children by NMR tomography compared to CT and ultrasound. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 1995;**162**:224-8.
- [26] Upadhyay SS, O'Neil T, Burwell RG, Moulton A. A new method using ultrasound for measuring femoral anteversion (torsion): technique and reliability. *Br J Radiol* 1987;**60**:519-23.
- [27] Muhamad AR, Freitas JM. CT and MRI lower extremity torsional profile studies: measurement reproducibility. *J Child Orthop* 2012;**6**:391-6.

- [28] Bretin P, O'Loughlin PF. Influence of femoral malrotation on knee joint alignment and intra-articular contract pressures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2011;**131**:1115–20.
- [29] Kohler R, Fournet Fayard J. Technique et intérêt de l'échographie dans la mesure de l'antérotation fémorale. *Chir Pédiatr* 1986;**27**:79–83.
- [30] Hinterwimmer S, Graichen H, Vogl TJ, Abolmaali N. An MRI-based technique for assessment of lower extremity deformities—reproducibility, accuracy, and clinical application. *Eur Radiol* 2008;**18**:1497–505.
- [31] Vardon D, Cahuzac JP, Sales DE, Gauzy J, Darodes PH. *Évolution des morphotypes frontal et transversal des membres inférieurs entre 6 et 16 ans. Communication SOFCOT*. Paris: Expansion scientifique française; 1995.
- [32] Seringe R, Bonnet JC, Katti C. Pathogeny and natural history of congenital dislocation of the hip. *Rev Chir Orthop* 1990;**76**:391–402.
- [33] Svenningsen S, Apalset K, Terjesen T, Anda S. Osteotomy for femoral anteversion. Complications in 95 children. *Acta Orthop Scand* 1989;**60**:401–5.
- [34] Fonseca AS, Bassett GS. Valgus deformity following derotation osteotomy to correct medial femoral torsion. *J Pediatr Orthop* 1988;**8**:295–9.
- [35] Delgado ED, Shoenecker PL, Rich MM, Capelli AM. Treatment of severe torsional malalignment syndrome. *J Pediatr Orthop* 1996;**16**:484–8.
- [36] Mylle J, Lammens J, Fabry G. Derotation osteotomy to correct rotational deformities of the lower extremities in children. A comparison of three methods. *Acta Orthop Belg* 1993;**59**:287–92.
- [37] Berard J. Ostéotomie de dérotation jambière dans les myélo-méningocèles. Communication au IIe cours supérieur de l'ASAMIF. *Rev Chir Orthop* 1993;**79**:250–2.
- [38] Frain PH. Action mécanique de l'antéversion fémorale sur la hanche, degré de validité de la théorie de Pauwels. *Rev Chir Orthop* 1981;**67**:1–19.
- [39] Anda S, Terjesen T, Kvistad KA, Svenningsen S. Acetabular angles and femoral anteversion in dysplastic hips in adults: CT investigation. *J Comput Assist Tomogr* 1991;**15**:115–20.
- [40] Eckhoff DG, Kramer RC, Alongi CA, Van Gerven DP. Femoral anteversion and arthritis of the knee. *J Pediatr Orthop* 1994;**14**:608–10.
- [41] Hubbard DD, Staheli LT, Chew DE, Mosca VS. Medial femoral torsion and osteoarthritis. *J Pediatr Orthop* 1988;**8**:540–2.
- [42] Kitaoka HB, Weiner DS, Cook AJ, Hoyt WA, Askeon MJ. Relationship between femoral anteversion and osteoarthritis of the hip. *J Pediatr Orthop* 1989;**9**:396–404.
- [43] Menke W, Schmitz B, Schild H, Koper C. Transverse skeletal axes of the lower extremity in coxarthrosis. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 1991;**129**:255–9.
- [44] Reikeras O, Hoiseth A. Femoral neck angle in osteoarthritis of the hip. *Acta Orthop Scand* 1982;**53**:78.
- [45] Wedge JH, Munkacsi I, Loback D. Anteversion of the femur and idiopathic osteoarthritis of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 1989;**71**:1040–3.
- [46] Tonnis D, Heinecke A. Diminished femoral anteversion syndrome: a cause of pain and osteoarthritis. *J Pediatr Orthop* 1991;**11**:419–31.
- [47] Delp SL, Komattu AV, Wixson RL. Superior displacement of the hip in total joint replacement: effects of prosthetic neck length, neck-stem angle, and anteversion angle on the moment-generating capacity of the muscles. *J Orthop Res* 1994;**12**:860–70.
- [48] Fontes D, Benoit J, Lortat Jacob A, Didry R. Luxation of total hip prosthesis. Statistical validation of a modelization, a propos of 52 cases. *Rev Chir Orthop* 1991;**77**:163–70.
- [49] Herrlin K, Pettersson H, Selvik G, Lidgren L. Femoral anteversion and restricted range of motion in total hip prosthesis. *Acta Radiol* 1988;**29**:551–3.
- [50] Mian SW, Truchly G, Pflum FA. Computed tomography measurement of acetabular cup anteversion and retroversion in total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 1992;**276**:206–9.
- [51] Dejour H, Nove Josserrand L, Neyret PH. Gonartrosis y callo vicioso diafisario. Observacion de 35 casos. *Mapfre Med* 1991;**2**:101–7.
- [52] Buttermann G. A simple roentgenographic measurement of femoral anteversion. A short note letter; comments. *J Bone Joint Surg Am* 1994;**76**:312–3.
- [53] Sennerich T, Sutter P, Ritter G, Zapf S. Computerized tomography follow-up of the antetorsion angle after femoral shaft fractures in the adults. *Unfallchirurg* 1992;**95**:301–5.
- [54] Turner MS. The association between tibial torsion and knee joint pathology. *Clin Orthop* 1994;**302**:47–51.
- [55] Yagi T. Tibial torsion in patients with medial-type osteoarthrotic knees. *Clin Orthop* 1994;**302**:52–6.
- [56] Eckhoff DG, Johnson KK. Three-dimensional computed tomography reconstruction of tibial torsion. *Clin Orthop* 1994;**302**:42–6.
- [57] Moussa M. Rotational malalignment and femoral torsion in osteoarthrotic knee with patello femoral joint involvement. A CT scan study. *Clin Orthop* 1994;**304**:176–83.
- [58] Sobczak S, Dugailly PM, Baillon P. In vitro biomechanical study of femoral torsion disorders: effect on femoro-tibial kinematics. *Clinical Biomechanics* 2012;**27**:1011–6.
- [59] Kenaway M, Liodakis E, Krettek C. Effect of the lower limb rotational alignment on tibiofemoral contact pressure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;**19**:1851–9.
- [60] Bombaci H, Kilicoglu G, Onur G, Yanik G, Gorgec M. Tibial torsion: cause or consequence of osteoarthritis? *Acta Orthop Traumatol Turc* 2012;**46**:181–5.
- [61] Caton J. Méthode de mesure de hauteur de la rotule. *Acta Orthop Belg* 1989;**55**:385–6.
- [62] Caton J. Les rotules hautes idiopathiques de l'enfant et de l'adolescent. *Rev Chir Orthop* 1990;**76**:253–60.
- [63] Dejour H, Walch G, Neyret PH, Adeleine P. La dysplasie de la trochlée. *Rev Chir Orthop* 1990;**76**:45–54.
- [64] Airanow S, Zippel H. Femoro-tibial torsion in patellar instability. A contribution to the pathogenesis of recurrent and habitual patellar dislocations. *Beitr Orthop Traumatol* 1990;**37**:311–6.
- [65] Eckhoff DG, Montgomery WK, Kilcoyne RF, Stamm ER. Femoral morphometry and anterior knee pain. *Clin Orthop* 1994;**302**:64–8.
- [66] Reikeras O. Patellofemoral characteristics in patients with increased femoral anteversion. *Skeletal Radiol* 1992;**21**:311–3.
- [67] Chambat P, Dejour H. Les transpositions de la tubérosité tibiale antérieure avec un seuil supérieur à 10 ans. *Rev Chir Orthop* 1980;**66**:222–5.
- [68] Chapman ME, Duwelius PJ, Bray TJ, Gordon JE. Close intramedullary femoral osteotomy. Shortening and derotation procedures. *Clin Orthop* 1993;**287**:245–51.
- [69] Yildirim AO, Aksahin E, Sakman B, Kati YA, Akti S, Dogan O, et al. The effect of rotational deformity on patellofemoral parameters following the treatment of femoral shaft fracture. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013;**133**:641–8.
- [70] Bernageaud J, Goutallier D, Lecudonnet B, Larde D. Mesure de l'écart TAGT (tubérosité antérieure, gorge de la trochlée). Techniques résultats, intérêts. *Rev Chir Orthop* 1978;**64**:423–8.
- [71] Jones RB, Barlett EC, Vainright JR, Carroll RG. CT determination of tibial tubercle lateralization in patients presenting with anterior knee pain. *Skeletal Radiol* 1995;**24**:505–9.
- [72] Grace JN, Rand JA. Patellar instability after total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 1988;**237**:184.
- [73] Mochizuki RM, Shuman DJ. Patellar complications following total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg* 1979;**61**:879.
- [74] Olerud C, Rosendahl Y. Torsion-transmitting properties of the hind foot. *Clin Orthop* 1987;**214**:285–94.
- [75] Langlais F, Vielpeau C, Postel M. Les ostéotomies intertrochantériennes: étude critique et du bilan radioclinique. *Rev Chir Orthop* 1977;**63**:635–50.
- [76] Payne LZ, De Luca PA. Intertrochanteric versus supracondylar osteotomy for severe femoral anteversion. *J Pediatr Orthop* 1994;**14**:39–44.
- [77] Gérard R, Stindel E, Moineau G, Le Nen D, Lefèvre C. Rotational femoral osteotomies using an endomedullary saw. *Orthop Traumatol Surg Res* 2009;**95**:414–9.
- [78] Nelitz M, Wehner T, Steiner M, Dürselen L, Lippacher S. The effects of femoral external derotational osteotomy on frontal plane alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;**22**:2740–6.
- [79] Cameron JC, Saha S. External tibial torsion. An underrecognized cause of recurrent patellar dislocation. *Clin Orthop* 1996;**328**:177–84.
- [80] Krengel WF, Staheli LT. Tibial rotational osteotomy for idiopathic torsion. A comparison of the proximal and distal osteotomy levels. *Clin Orthop* 1992;**283**:285–9.
- [81] Manouel M, Johnson LO. The role of fibular osteotomy in rotational osteotomy of the distal tibia. *J Pediatr Orthop* 1994;**14**:611–4.
- [82] Miller F, Merlo M, Liang Y, Kupcha P, Jamison J, Harcke HT. Femoral version and neck shaft angle. *J Pediatr Orthop* 1993;**13**:382–8.
- [83] Rattey T, Hyndman J. Rotational osteotomies of the leg: tibia alone versus both tibia and fibula. *J Pediatr Orthop* 1994;**14**:615–8.
- [84] Frain PH, Merle d'Aubigné R. Comment réaliser une ostéotomie plane oblique. *Rev Chir Orthop* 1983;**69**:425–32.
- [85] Merle d'Aubigné R, Frain PH. Théorie des ostéotomies. *Rev Chir Orthop* 1972;**58**:159–68.
- [86] Paley D. The principles of deformity correction by the Ilizarov technique; technical aspects. *Tech Orthop* 1989;**4**:15–29.

- 963 [87] Leonardi F, Rivera F, Zorzan A, Mohsin Ali S. Bilateral double osteo- 974
 964 tomy in severe torsional malalignment syndrome: 16 years follow-up. 975
 965 *J Orthop Traumatol* 2014;**15**:131–6. 976
 966 [88] Braten M, Terjesen T, Rossvoll I. Femoral shaft fractures treated by 977
 967 intramedullary nailing. A follow-up study focusing on problems related 978
 968 to the method. *Injury* 1995;**26**:379–83. 979
 969 [89] Braten M, Terjesen T, Rossvoll I. Femoral anteversion in normal adults. 980
 970 Ultrasound measurements in 50 men and 50 women. *Acta Orthop* 981
 971 *Scand* 1992;**63**:29–32. 982
 972 [90] Tornetta P, Ritz G, Kantor A. Femoral torsion after interlocked nailing 983
 973 of unstable femoral fractures. *J Trauma* 1995;**38**:213–9. 984
- [91] Kempf I, Grosse A, Dagrenat D. *Les applications du clou ver-* 974
rouillé dans les ostéotomies correctrices. Cahiers d'enseignement 975
de la SOFCOT n°39. Paris: Expansion scientifique Française; 976
 1990;97p. 977
 [92] Van De Velde D, Briard JL, Neyret PH, Maudhuit B. Cals vicieux 978
 fémoraux et arthroplastie du genou. *Ann Orthop Ouest* 1996;**28**: 979
 99–105. 980
 [93] Fouilleron N, Marchetti E, Autissier G, Gougeon F, Migaud H, Girard 981
 J. Les ostéotomies tibiales de dérotation pour défauts torsionnels du 982
 tibia à l'origine de syndromes fémoro-patellaires. *Rev Chir Orthop* 983
 2010;**96**:842–9. 984

985 P. Chaudier, Interne des Hôpitaux.
 986 V. Villa, Assistant des Hôpitaux, chef de clinique à la faculté (vincent.villa@yahoo.fr).
 987 P. Neyret, Professeur des Universités, praticien hospitalier, chef de service.
 988 Centre Albert-Trillat, Service de chirurgie orthopédie, Hôpital de la Croix-Rousse, 103, Grande-Rue de la Croix-Rousse, 69004 Lyon, France.

989 Toute référence à cet article doit porter la mention : Chaudier P, Villa V, Neyret P. Anomalie de torsion du squelette. EMC - Podologie 2015;0(0):1-11 [Article
 990 27-060-A-53].

Disponibles sur www.em-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos/
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations



Cas
clinique