

Échographie des déformations du pied du nourrisson

C. TRÉGUIER, C. ROZEL, M. PROISY, P. DARNAULT,
B. FRAISSE, M. CHAPUIS, S. MARLEIX, P. VIOLAS

Elle est indiquée chez le nourrisson pour faire le bilan des déformations ostéo-articulaires (métatarsus adductus, pied bot varus équin PBVE, pied convexe congénital...) et suivre leur évolution sous traitement.

Au cours de la première année, l'ossification du tarse n'est représentée que par les noyaux du calcaneus, du talus et du cuboïde. Les radiographies statiques et dynamiques du pied du nourrisson d'interprétation difficile du fait de la petite taille de ces noyaux ne fournissent aucun renseignement direct ni sur les déformations des maquettes cartilagineuses ni sur le tarse antérieur, en particulier le naviculaire qui ne s'ossifie qu'à partir de la troisième année [1]. C'est pourtant au cours de la première année, avant l'âge de la marche, que sont souvent posées les principales indications thérapeutiques. L'échographie visualise les noyaux d'ossification et les structures cartilagineuses, permet de quantifier les déformations et de juger les résultats du traitement fonctionnel.

L'échographie du pied bot varus équin : technique rennaise

L'examen nécessite une sonde linéaire et haute fréquence (au moins égale à 7.5 MHz).

Les coupes doivent être réalisées chez un enfant calme afin d'apprécier la mobilité des dif-

férentes articulations et d'effectuer les mesures d'angle en position maximale de correction des déformations, cette condition étant indispensable pour pouvoir comparer les résultats lors des examens successifs.

Coupe axiale par voie médiale

Elle visualise la colonne médiale du pied avec d'arrière en avant la malléole tibiale, le noyau d'ossification et le col du talus, le naviculaire, le premier cunéiforme et le premier métatarsien avec sa base cartilagineuse et sa diaphyse ossifiée. Les tangentes aux faces médiales du premier métatarsien, du cunéiforme médial et du col du talus (celle-ci est généralement parallèle à l'axe du noyau d'ossification) définissent l'orientation de ces éléments. Celle du naviculaire peut être déterminée en traçant la perpendiculaire à son grand axe ou à la tangente de sa face postérieure [2]. Il est alors possible de mesurer les angles talo-naviculaire (TN) et talo-métatarsal (TM) (fig. 1).

Coupe axiale par voie latérale

Elle explore la colonne latérale du pied avec d'arrière en avant le calcaneus cartilagineux et son noyau d'ossification, le cuboïde et le quatrième métatarsien. Celui-ci est préféré au cinquième métatarsien qui ne peut être habituellement aligné sur une même coupe avec le tarse. Les tangentes à la diaphyse du quatriè-

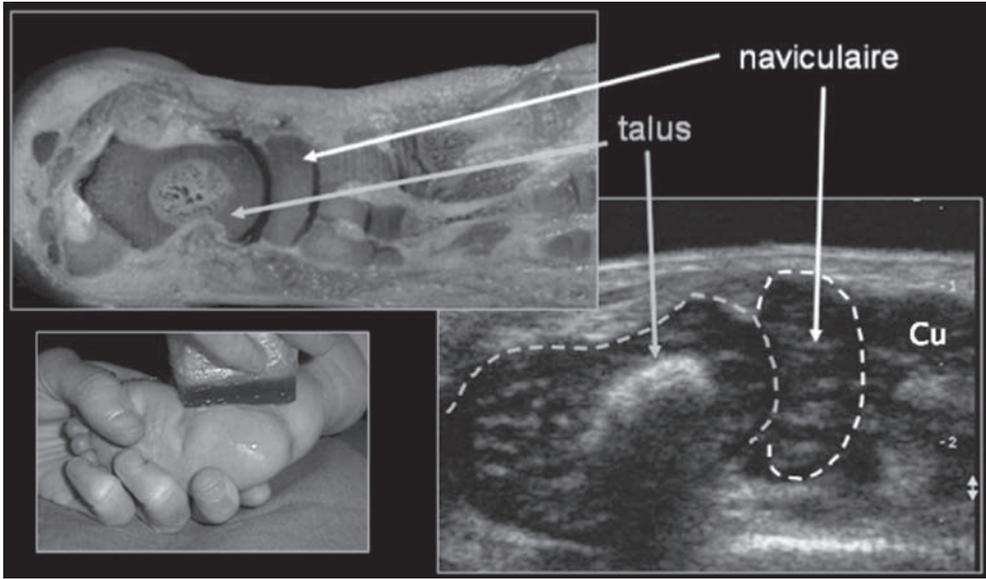


Fig. 1 : Coupe axiale par voie médiale normale. Les structures ostéo-cartilagineuses (talus, naviculaire, Cu : premier cunéiforme) sont visualisées.

me métatarsien et la face latérale du calcaneus permettent de définir l'angle calcanéo-métatarsal (CM).

Sur les coupes axiale médiale et axiale latérale, une valeur négative est donnée aux différents angles quand ceux-ci sont ouverts vers l'axe médian du pied, une valeur positive leur est donnée dans le cas contraire.

Coupe sagittale par voie antérieure

Elle permet de visualiser la position du naviculaire par rapport au col et à la tête du talus et son déplacement lors des mouvements de flexion plantaire et de flexion dorsale.

Coupe sagittale par voie postérieure

Cette coupe doit visualiser de haut en bas la métaphyse et l'épiphyse tibiale, le noyau d'ossification du talus et celui du calcaneus. La mobi-

lité du calcaneus par rapport au tibial peut être évaluée soit en mesurant la distance entre la physe tibiale et le noyau d'ossification du calcaneus [3] soit en mesurant l'angle métaphyso-talo-calcanéen (MTC) entre la tangente à la physe tibiale et la tangente aux faces postérieures des noyaux d'ossification du talus et du calcaneus.

Résultats normaux et dans le PBVE

Ils ont principalement été rapportés dans l'exploration du pied bot varus équin [4]. La valeur des angles observés chez des enfants de moins de 1 mois, indemnes de toute pathologie orthopédique et chez des enfants présentant un pied bot varus équin (PBVE) non encore traité est donnée dans le tableau 1.

Coupe axiale par voie médiale

Le naviculaire, en forme de haricot, ne débord normalement pas le bord médial du talus. L'angle talo-naviculaire est négatif de l'ordre

Tableau 1 : valeurs des angles mesurés en échographie.

Angle	Talo-naviculaire	Talo-cunéen	Talo-métatarsal	Calcanéo-métatarsal	Divergence talo-calcanéenne	Métaphyso-talo-calcanéen
Témoins (m ± DS)	- 26° ± 10°	- 25° ± 6	- 16° ± 10°	- 20° ± 10°	47 ± 5°	104 ± 10°
PBVE (m ± DS)	25° ± 15°	11° ± 14°	20° ± 15°	- 33° ± 11°	18° ± 10°	61° ± 14°

Résultats observés chez des enfants de moins de 1 mois, indemnes de toute pathologie orthopédique (n = 17) ou présentant un PBVE (n = 98) (série personnelle).

de - 26° dans notre travail, identique à la valeur de - 21° retrouvée par Hamel et Becker avec une technique un peu différente [5]. Le premier cunéiforme a la même orientation que le naviculaire, le premier métatarsien présente une adduction d'environ 10°.

Dans le PBVE, le naviculaire est subluxé en dedans, débordant la tête du talus, l'angle talo-naviculaire est positif (25 ± 15°). Au maximum, il est au contact de la malléole tibiale même en position de correction maximale. Il n'y a habituellement pas d'adduction supplémentaire du premier cunéiforme ou du premier métatarsien (fig. 2, 3).

Sous traitement médical, l'angle talo-naviculaire diminue. Il est observé une ouverture parfois très importante des angles naviculo-cu-

néen et cunéo-métatarsal. Ainsi, l'estimation de l'adduction résiduelle par la mesure de l'angle talo-métatarsal sous-estime fréquemment la subluxation persistante du naviculaire.

Coupe axiale par voie latérale

La colonne latérale du pied est normalement pratiquement alignée, l'angle calcanéo-métatarsal étant en moyenne de - 20°. La face latérale du cuboïde est rectiligne.

Dans le PBVE, l'angle calcanéo-métatarsal diminue, pouvant atteindre - 60°, l'angulation intéressant principalement l'articulation médio-tarsienne (fig. 4). Chez environ 25 % des enfants, existe un net déplacement médial du cuboïde comme cela a déjà été rapporté [6].

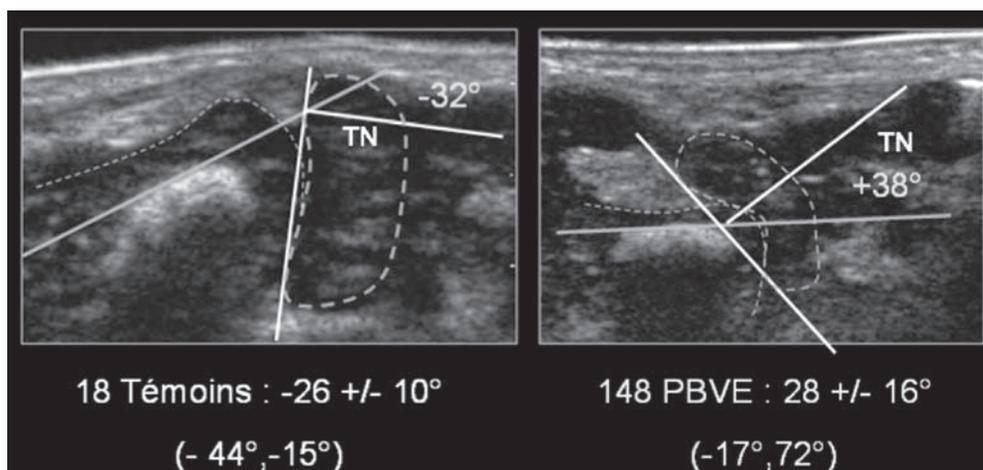


Fig. 2 : Coupe axiale par voie médiale normale. Mesure de l'angle talo-naviculaire (TN).

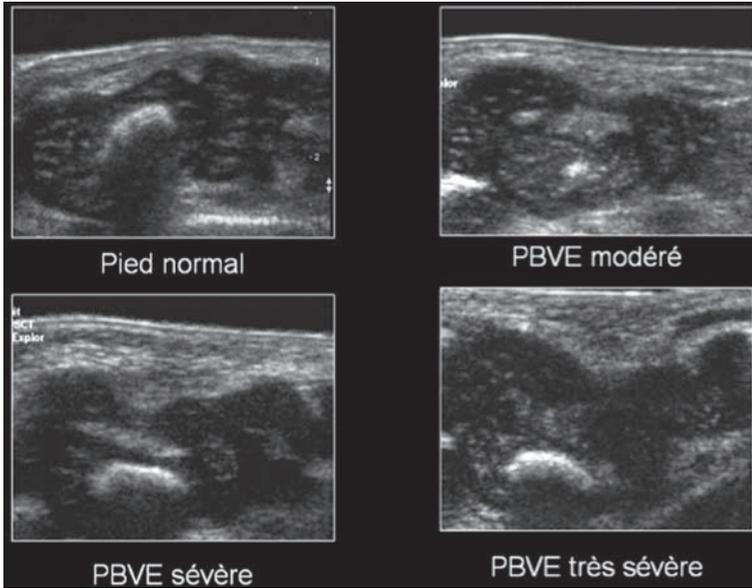


Fig. 3 : Luxation talo-naviculaire de gravité variable en échographie (coupe axiale médiale).

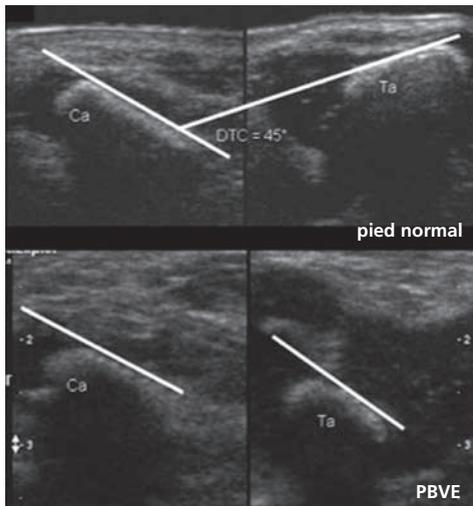


Fig. 4 : Mesure de la divergence talo-calcanéenne (DTC) par voie médiale. Sur un écran dédoublé, repérage successif du calcaneus et du talus par translation de la sonde. Elle est d'environ 45° dans le pied normal. Talus et calcaneus sont parallèles dans le PBVE.

La divergence talo-calcanéenne

La valeur observée chez les témoins est en moyenne de 47°, comparable à ce qui est retrou-

vé en radiographie sur l'incidence dorso-plantaire de face [7]. La divergence diminue dans le PBVE, elle est nulle dans les formes les plus sévères, le talus et le calcaneus sont parallèles (fig. 5).

La coupe sagittale par voie antérieure

Normalement le naviculaire ne dépasse pas la face supérieure du talus lors de la flexion dorsale.

La coupe sagittale par voie postérieure

La voie postérieure est réalisée en décubitus ventral et en correction maximale.

Normalement, les parties postérieures cartilagineuses de l'épiphyse tibiale, du talus et du calcaneus sont alignées ou déterminent une courbe convexe en arrière lors de la flexion dorsale. L'angle métaphyso-talo-calcanéen (MTC) est toujours supérieur à 90°.

Dans le PBVE, la tubérosité calcanéenne est ascensionnée et parfois déformée. L'angle MTC

diminue, pouvant atteindre 40° dans les équins sévères (fig. 6).

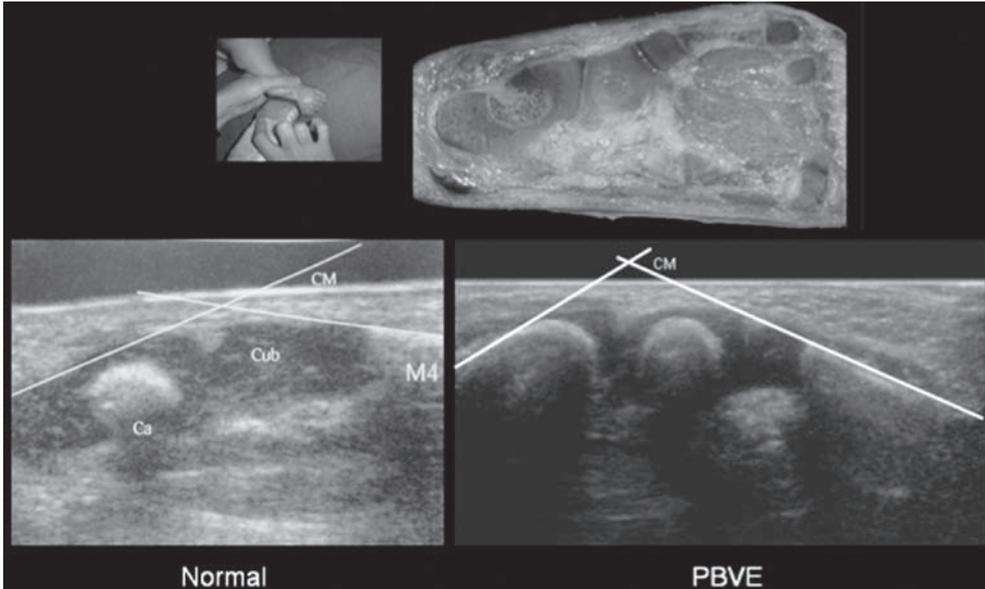


Fig. 5 : Coupe axiale par voie latérale normale. Structures ostéo-cartilagineuses (Ca : calcaneus, Cub : cuboïde, M4 : 4^e métatarsien) et mesure de l'angle calcanéoméatarsal (CaM). Il diminue dans le PBVE.

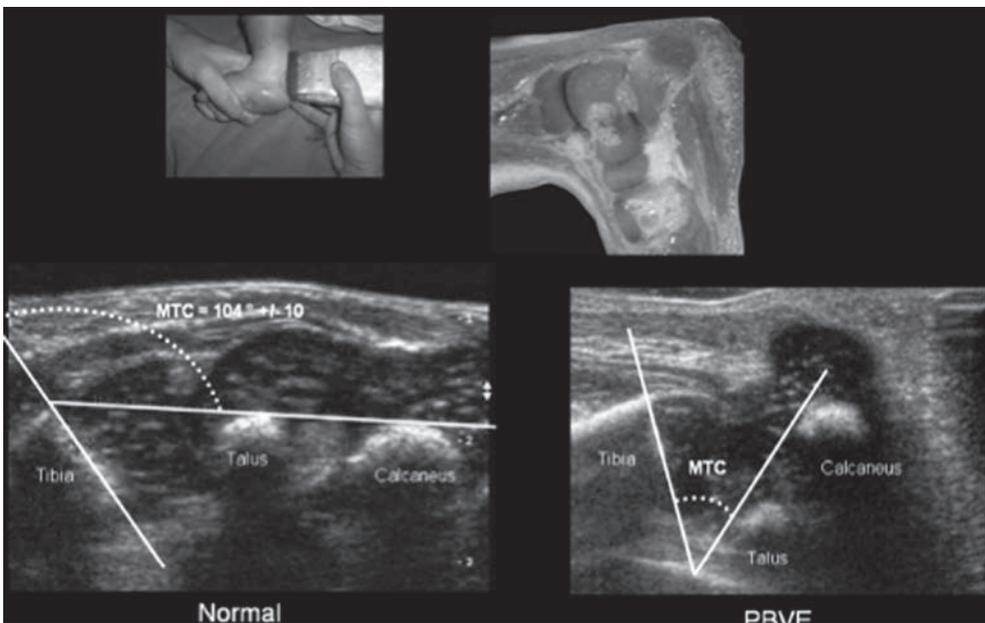


Fig. 6 : Coupe sagittale par voie postérieure. Elle visualise les structures ostéo-cartilagineuses (tibial, talus, calcaneus) et quantifie l'équin par la mesure de l'angle métaphyso-talo-calcanéen (MTC) en flexion dorsale 104°. Dans le PBVE, le talus est déplacé en avant par rapport au tibia et au calcaneus. Noter la déformation de la tubérosité du calcaneus.

La coupe plantaire

Elle permet de visualiser la voûte plantaire en passant par le calcaneus, le talus et le premier métatarsien.

L'échographie et le suivi thérapeutique du PBVE

La méthode de Ponseti a fait la preuve de son efficacité dans le traitement précoce du pied bot varus équin (PBVE) idiopathique [8, 9, 10,11]. Cette méthode consiste en la réalisation de plâtres correcteurs successifs modifiés toutes les semaines. Le relais est pris par des attelles de dérotation afin de conserver les corrections obtenues. Avant la réalisation du dernier plâtre, Ponseti propose une ténotomie percutanée du tendon calcanéen dans les cas où la dorsiflexion de la cheville reste inférieure à 15-20° ou lorsque le calcaneus apparaît encore "haut" dans la coque talonnière. Il rapporte 90 % de bons et excellents résultats.

L'échographie apporte des critères objectifs permettant d'adapter le suivi orthopédique et s'intègre dans la stratégie thérapeutique.

La technique de Ponseti est appliquée depuis 10 ans dans le service de chirurgie pédiatrique du CHU de Rennes pour la prise en charge du PBVE idiopathique.

L'échographie est réalisée en consultation conjointe écho-orthopédique selon le calendrier suivant :

- à la naissance,
- au 1^{er} mois de vie après la première série de plâtres,
- au 2^e mois de vie après la deuxième série de plâtres et la ténotomie
- au 3^e, 6^e, 9^e mois et à l'âge de 1 an.

Sous traitement médical, il est observé une réduction progressive de la luxation talo-naviculaire (fig. 7). L'angle talo-naviculaire diminue, mais de façon très variable d'un enfant à l'autre. Il est observé une ouverture parfois très

importante des angles naviculo-cunéen et cunéo-métatarsal. Ainsi, l'estimation de l'adduction résiduelle par la mesure de l'angle talo-métatarsal sous-estime la subluxation persistante du naviculaire (fig. 8).

La subluxation dorsale du naviculaire est rare lors du traitement fonctionnel. Il traduit un pied "hypercorrigé" par mauvaise technique de correction de l'équin et s'observe surtout après réduction chirurgicale. Lors de la surveillance évolutive, peut apparaître sur la coupe latérale, une déformation "en coin" du cuboïde donnant une saillie latérale.

Marleix *et al.* [12] rapportent l'expérience rennaise de la ténotomie percutanée systématique du tendon calcanéen basée sur les résultats du suivi conjoint écho-clinique. Cette étude rétrospective concerne 157 patients (230 PBVE idiopathiques) pris en charge entre 2002 et 2007 dans le service de chirurgie pédiatrique du CHU de Rennes et traités selon la méthode de Ponseti (groupe 1 sans ténotomie : 106 PBVE, groupe 2 avec ténotomie 115 : PBVE). Deux méthodes d'évaluation clinique et échographique sont utilisées : une méthode clinique selon la classification de Diméglio réalisée au début de la prise en charge avant le premier plâtre ainsi qu'au dernier recul et une méthode échographique selon la technique décrite ci-dessus. Les échographies ont été réalisées de façon systématique avant la réalisation du premier plâtre, avant la ténotomie lorsque celle-ci était proposée, puis à 3, 6 et 9 et 12 mois. La divergence talo-calcanéenne et l'angle métaphyso-talo-calcanéen sont mesurés et les résultats entre le début du traitement et à un an sont comparés. La nécessité d'une chirurgie secondaire (libération postéro-médiale) ou temps postérieur comportant un allongement du tendon calcanéen et l'ouverture des capsules talo-crurale et talo-calcanéenne a été prise en compte. Une amélioration globale des résultats dans le groupe 2 est constatée par rapport au groupe 1. Pour les PBVE de grade II : 96 % de bons et excellents résultats dans le groupe 2, versus 81 % dans le groupe 1. Pour les PBVE sévères et très sévères, les

bons et excellents résultats sont respectivement de 83 et 79 % dans le groupe 2 et de 60 et 57 % dans le groupe 1. Le nombre de chirurgie secondaire est significativement diminué dans le groupe 2 ($p < 0,01$). Ces constatations font proposer la ténotomie du tendon calcanéen de façon systématique quel que soit le résultat clinique à la fin de la série de plâtres, d'autant plus qu'il s'agit d'un geste simple et peu invasif.

L'évaluation échographique du traitement du PBVE selon Ponseti fait l'objet de très rares séries dans la littérature. Desai *et al.* [13] rapportent une série incluant 26 patients (32 PBVE idiopathiques) âgés de 12 jours à 3 mois, dont le suivi échographique a été réalisé au début du traitement, lorsque l'abduction a été obtenue et à l'arrêt des plâtres. Ils ont étudié par voie médiale la distance malléole médiale-naviculaire et l'angle talus-cunéiforme médial. Une

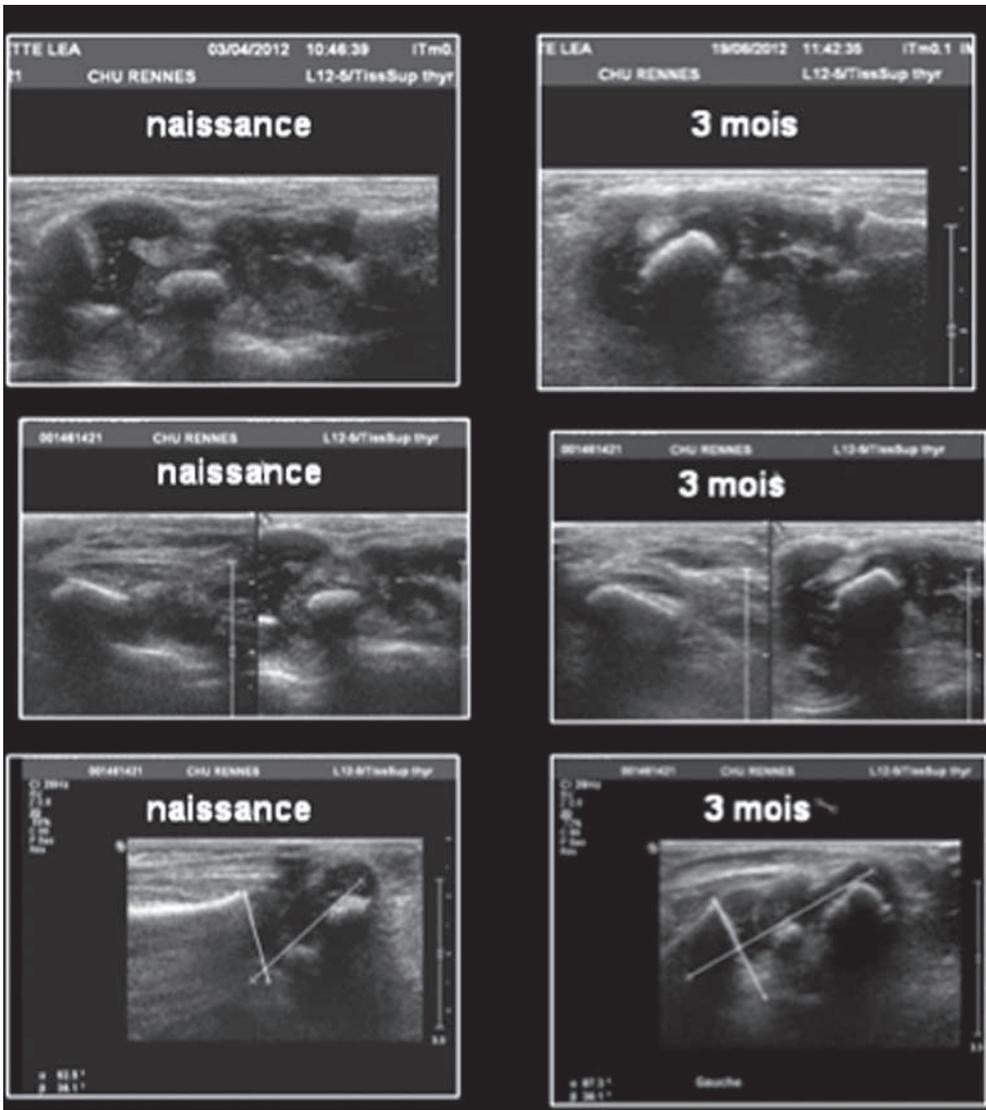


Fig. 7 : Evolution échographique après traitement de type Ponseti. La luxation talo-naviculaire est réduite, la divergence talo-calcanéenne est normale et l'équin a régressé (MCT 87° versus 62°).

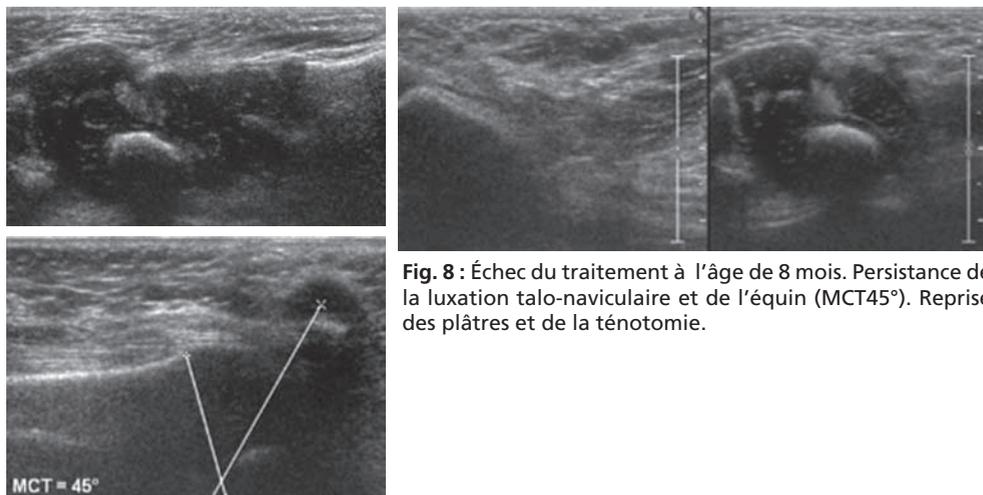


Fig. 8 : Échec du traitement à l'âge de 8 mois. Persistance de la luxation talo-naviculaire et de l'équin (MCT45°). Reprise des plâtres et de la ténotomie.

mauvaise correction talo-naviculaire est retrouvée dans 15 % des pieds étudiés alors que cliniquement ils paraissaient bien corrigés. Dans tous les cas, il s'agissait d'enfants âgés de plus de 6 semaines au début du traitement et de formes cliniques sévères.

Les autres techniques d'imagerie n'ont pas d'indication lors de la prise en charge initiale du PBVE. Elles évaluent les déformations résiduelles [14, 15, 16, 17].

L'échographie du PBVE dans la littérature

Certains auteurs préconisent la mesure de la distance malléo-naviculaire médiale [18]. Elle quantifie le déplacement médial du naviculaire en abduction reproduisant la manœuvre de Ponseti [19, 20]. Ainsi, plus le déplacement médial est important, plus la mobilité est faible. Elle varie avec l'âge [21] et apparaît reproductible en abduction [22]. Shiels [23] rapporte une valeur de distance moyenne dans le PBVE de 3.47 mm en position neutre et de 5.39 mm lors de la manœuvre de Ponseti (versus 8.78 mm et 11.90 mm dans le pied normal). Seuls 13 PBVE sont analysés. Kuhns [24] rapporte des valeurs de 8.4 mm et 11 mm

pour 28 PBVE et de 13 et 17 mm pour 10 pieds normaux. La mesure de la distance malléo-naviculaire médiale a également été proposée pour suivre l'évolution du traitement correcteur par plâtres successifs [25].

Une classification échographique en complément de la classification clinique est proposée par certains auteurs.

Aurell *et al.* ont étudié 30 PBVE, à partir de voies médiale, latérale et dorsale, en position de réductibilité et proposé une classification en trois stades estimant le déplacement du naviculaire sur le talus (*stade 1* : pas de déplacement, *stade 2* : déplacement < 50 %, *stade 3* : déplacement ≥ 50 % et luxation). Cette étude anatomique ne rapportait pas de corrélation écho-clinique. Suda *et al.* [26] ont proposé une classification échographique en 5 stades à partir des coupes de Hamel et Becker. Il a inclus 24 nourrissons (31 PBVE idiopathiques ; 16 grades II et 15 grades III), tous étudiés au début du traitement selon Ponseti et évalué selon Diméglio. Il a défini 4 mesures angulaires : angle talus-cunéiforme médial TnCe, angle talo-métatarsal TnMT1, angle postérieur, TTD et un angle calcanéocuboïdien CanCub. Ces mesures comparées à celles d'un groupe témoin permettent d'élaborer un score de gravité échographique corrélé à la gravité clinique.

L'échographie des autres déformations du pied du nourrisson

Metatarsus adductus et pied en Z

Il est difficile cliniquement de distinguer un pied en Z d'un métatarsus varus. Tous les deux se traduisent par une adduction de l'avant-pied mais dans le pied en Z, il existe une subluxation externe du naviculaire qui n'existe pas dans le métatarsus varus.

Les coupes proposées dans l'exploration du PBVE permettent également l'étude des déformations du métatarsus adductus en confirmant l'adduction des métatarsiens, la normalité de l'angle TN et l'absence d'équin (fig. 9). La coupe axiale médiale retrouve la luxation externe du naviculaire dans le pied en Z.

Le pied convexe

Il est caractérisé par un équin irréductible de l'arrière-pied, une dorsiflexion de l'avant-pied, un aspect concave de la plante et une saillie plantaire et interne du talus. Ainsi la luxation dorsale talo-naviculaire le différencie du pied talus vertical congénital postural.

La coupe sagittale antérieure visualise bien en flexion dorsale et plantaire la subluxation dorsale irréductible du naviculaire [27] et mesure l'angle tibio-talien (fig. 10). La coupe réalisée par voie plantaire évalue le déplacement du talus. Les coupes axiale latérale et plantaire étudient l'articulation calcanéo-cuboïdienne.

L'échographie [28] permet de suivre la réduction sous plâtre de la luxation talo-naviculaire dorsale dans le pied convexe congénital (fig. 11).

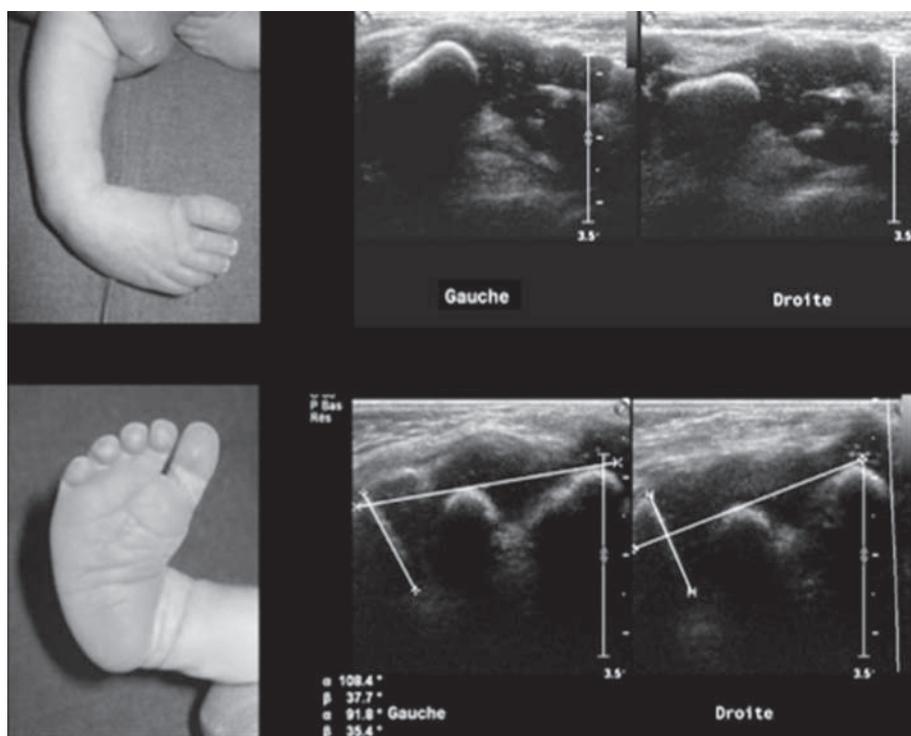


Fig. 9 : pied varus? PBVE modéré? L'échographie permet le diagnostic de PBVE modéré droit.

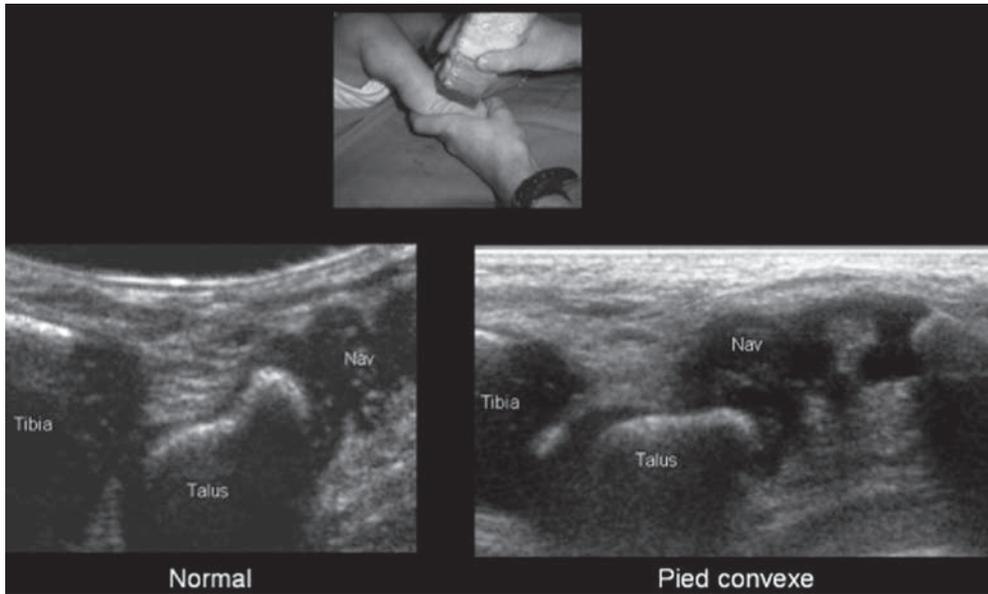


Fig. 10 : Coupe sagittale antérieure.
Luxation talo-naviculaire et talus vertical confirmant le diagnostic de pied convexe.

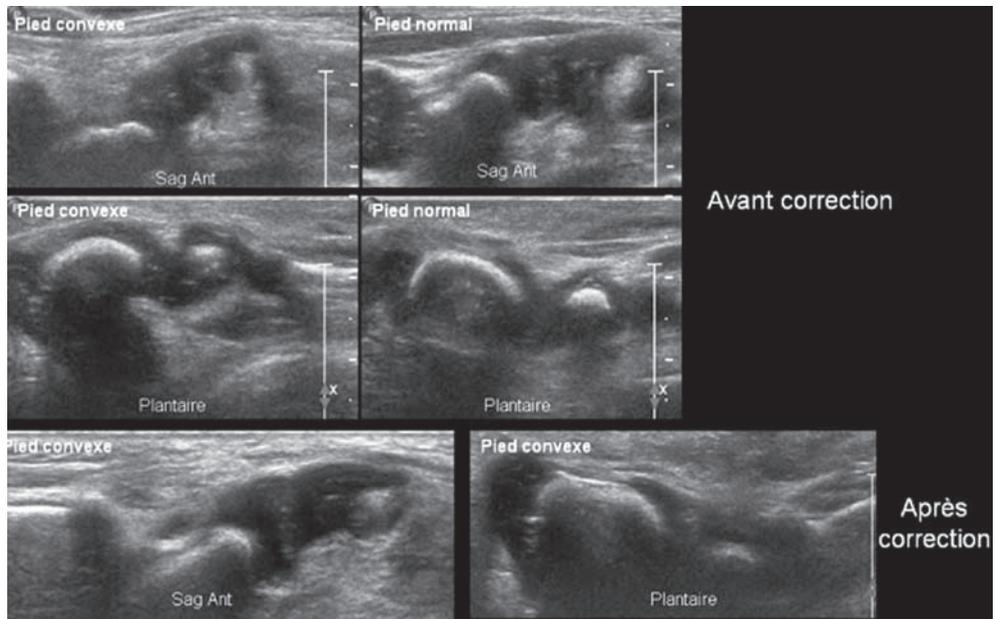


Fig. 11 : Suivi échographique du traitement du pied convexe congénital après 4 plâtres.
Réduction de la luxation talon-aviculaire dorsale.

Conclusion

L'échographie permet la description des déformations, donne des critères objectifs de surveillance et aide à la prise en charge thérapeu-

tique. Le suivi échographique accompagne ainsi toutes les étapes du traitement du PBVE selon Ponseti jusqu'à l'âge de 1 an.

RÉFÉRENCES

- [1] SIMMONS GW. Analytic radiography and the progressive approach in talipes equinovarus. *Orthop Clin North Am* 1978; 9: 187-206.
- [2] MAIN BJ, CRIDER RJ. An analysis of residual deformity in club feet submitted to early operation. *J Bone Joint Surg* 1978; 60: 536-43.
- [3] CHAMI M, DAOUD A, MAESTRO M, LAGRANGE A, GEOFFRAY A. Ultrasound contribution in the analysis of the newborn and infant normal and clubfoot: a preliminary study. *Pediatr Radiol* 1996; 26: 298-302.
- [4] DARNAULT P, CHAPUIS M, TRÉGUIER C. Échographie du pied de l'enfant in "Le pied de l'enfant", monographie du GEOP, Montpellier, Sauramps Medical 2001 : 67-73.
- [5] HAMEL J, BECKER W. Sonographic assessment of club-foot deformity in young children. *J Pediatr Orthop* 1996; 5: 279-86.
- [6] THOMETZ JG, SIMONS GW. Deformity of the calcaneocuboid joint in patients who have talipes equinovarus. *J Bone Joint Surg* 1993; 75: 190-5.
- [7] VANDERWILDE R, STAHELI LT, CHEW DE. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. *J Bone Joint Surg* 1988; 70: 407-15.
- [8] PONSETI I. Clubfoot Management. *J Pediatric Orthop* 2000 ; 20: 699-700.
- [9] CHOTEL F, PAROT R, SERINGE R, BERARD J, WICART P. Comparative study: Ponseti method versus French physiotherapy for initial treatment of idiopathic clubfoot deformity. *J Pediatr Orthop* 2011;31: 320-5.
- [10] SCHER DM, FELDMAN DS, VAN BOSSE HJP, SALA DA, LEHMAN WB. Predicting the need for tenotomy in the Ponseti method for correction of clubfeet. *J Pediatr Orthop* 2004; 24: 349-52.
- [11] MORCUENDE JA, ABBASI D, DOLAN LA, PONSETI IV. Results of an accelerated Ponseti protocol for clubfoot. *J Pediatr Orthop* 2005; 25(5): 623-6.
- [12] MARLEIX S *et al.* Idiopathic club foot treated with the Ponseti method. Clinical and sonographic evaluation of Achilles tendon tenotomy. A review of 221 club feet. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* (2012), doi:10.1016/j.otsr.2012.03.001.
- [13] DESAI *et al.* Ultrasound evaluation of clubfoot correction during Ponseti treatment: a preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 2008; 28(1): 53-9.
- [14] RADLER C, MANNER HM, SUDA R *et al.* Radiographic Evaluation of Idiopathic Clubfeet Undergoing Ponseti Treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89: 1177-83.
- [15] PIRANI S, ZEJNIK L, HODGES D. Magnetic resonance imaging study of the congenital clubfoot treated with the Ponseti method. *J Pediatr Orthop* 2001; 21: 719-26.
- [16] CAHUZAC J, NAVASCUES J, BAUNIN C *et al.* Assessment of the position of the navicular by three-dimensional magnetic resonance imaging in infant foot deformities. *J Pediatr Orthop B* 2002; 11: 134-8.
- [17] SAITO S, HATORI M, KOKUBUN S *et al.* Evaluation of calcaneal malposition by magnetic resonance imaging in the infantile clubfoot. *J Pediatr Orthop B* 2004; 13: 99-102.
- [18] AURELL Y, JOHANSSON A, HANSSON G *et al.* Ultrasound anatomy in the normal neonatal and infant foot: an anatomic introduction to ultrasound assessment of foot deformities. *Eur Radiol* 2002; 12: 2306-12.
- [19] AURELL Y, JOHANSSON A, HANSSON G *et al.* Ultrasound anatomy in the neonatal clubfoot. *Eur Radiol* 2002 : 12: 2509-17.
- [20] GIGANTE C, TALENTI E, TURRA S. Sonographic assessment of clubfoot. *J Clin Ultrasound* 2004; 32: 235-42.
- [21] COLEY BD, SHIELS WE, KEAN J, ADLER BH. Age dependent dynamic sonographic measurement of pediatric clubfoot. *Ped Radiol* 2007; 37: 1125-9.
- [22] AURELL Y, ADLERCREUTZ C, ANDRIESSE H *et al.* Repeatability of sonographic measurements in clubfeet. *Acta Radiol* 2004; 45: 622-7.
- [23] SHIELS WE, COLEY BD, KEAN J, ADLER BH. Focused dynamic sonographic examination of the congenital clubfoot. *Ped Radiol* 2007; 37: 1118-24.
- [24] KUHNIS L, KOUJOK K, HALL J *et al.* Ultrasound of the navicular during the simulated Ponseti maneuver. *J Pediatr Orthop* 2003; 23: 243-5.
- [25] EL-ADWAR KL, KOTB HT. The role of ultrasound in clubfoot treatment Correlation with the Pirani score and assessment of the Ponseti Method *Clin Orthop Relat Res* 2010; 468: 2495-506.
- [26] SUDA *et al.* Sonographic classification of idiopathic clubfoot according to severity. *J Pediatr Orthop B.* 2006 Mar; 15(2): 134-40.
- [27] SCHLESINGER AE, DEENEY VFX, CASKEY PF. Sonography of the nonossified tarsal navicular cartilage in an infant with congenital vertical talus. *Pediatr Radiol* 1989; 20: 134-5.
- [28] VIOLAS P, CHAPUIS M, TRÉGUIER C, DARNAULT P, BRACQ H. Ultrasound: a helpful technique in the analysis of congenital vertical talus. A case report. *J Pediatr Orthop B.* 2006 Jan; 15(1): 70-2.

