

# Trépieds topographiques – White Paper

Caractéristiques et influences



- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems

Mars 2010

Daniel Nindl, Mirko Wiebking  
Heerbrugg, Suisse

## Trépieds topographiques – caractéristiques et influences

Daniel Nindl, Mirko Wiebking

### Résumé

Dans le cadre de son travail quotidien, le topographe ne pense pas à l'influence que peuvent avoir les accessoires sur la précision des mesures. Mais, s'il accomplit des levés et mesures de précision sur une longue durée, ce facteur devient important. Il est donc nécessaire d'avoir quelques connaissances à cet égard.

Ce document évalue l'effet des trépieds sur la précision de l'instrument. Les exigences de stabilité en hauteur et de rigidité en torsion auxquelles doit satisfaire un trépied sont définies par la norme internationale ISO 12858-2. En plus de ces prescriptions, Leica Geosystems évalue la dérive horizontale. Dans le cadre de la présente étude, ces trois propriétés ont été examinées sur une série de trépieds. Les résultats obtenus permettent de faire des recommandations concernant le choix d'un trépied pour un instrument et une application donnés.

Tous les tests ont été effectués dans des conditions de laboratoire stables afin de permettre la meilleure comparaison. L'influence de la température et de l'humidité n'a pas été prise en compte. En vue d'obtenir des résultats comparables, toutes les vis de trépied ont été serrées avec le même couple au moyen d'une clé dynamométrique.

Les tests ont été effectués avec deux trépieds de chaque type de Leica Geosystems. Pour fournir des résultats comparables pour les trépieds en fibre de verre, tous les tests ont aussi été réalisés avec des trépieds Trimax de Crane Enterprises. Les résultats ont été similaires pour le trépied A et le trépied B de chaque type (modèle). C'est pourquoi les diagrammes de ce document se limitent à reproduire les résultats obtenus pour le trépied A.

Le document présente la structure suivante :

- Critères de qualité – description des paramètres de test étudiés
- Résultats des tests – résumé et évaluation des résultats
- Recommandations à l'attention de l'utilisateur

## Critères de qualité – mesures de qualité standardisées selon la norme ISO 12858-2

La norme ISO 12858-2 classe les trépieds en modèles à conception lourde et à conception légère. Un trépied lourd doit avoir une masse supérieure à 5,5 kg. Ce type de trépied peut supporter des instruments jusqu'à 15 kg. Les trépieds plus légers conviennent seulement aux instruments d'un poids de moins de 5 kg, C'est-à-dire aux équipements Builder TPS, antennes GPS et prismes si l'on se réfère au matériel de Leica Geosystems.

### Stabilité en hauteur

La norme ISO prescrit que la tête du trépied ne doit pas se décaler verticalement de plus de 0,05 mm si elle subit le double du poids maximal de l'instrument. Les trépieds lourds GST120-9, GST101 et Trimax exigent de ce fait un test avec 30 kg. Les modèles GST05, GST05L et GST103, légers, ont été testés avec 10 kg.



**Figure 1** - étapes de l'assurance qualité concernant le montage des trépieds de Leica Geosystems

La déformation verticale prescrite de 0,05 mm est si faible que son effet sur la précision angulaire des équipements TPS est négligeable. Par contre, les applications de nivellement de précision requièrent la prise en compte de la stabilité en hauteur.

Pour des raisons de précision de mesure et de fonctionnement automatique, on a utilisé un niveau numérique Leica DNA03 pour mesurer les déformations. Les mesures ont été effectuées sur une échelle invar GWCL60 fixée à la vis de blocage du trépied (voir la figure 1). Les 100 premières mesures ont été faites avec un trépied sans charge. A l'aide d'une poulie, on a descendu doucement un poids sur la plaque de

trépied. Après 400 nouvelles mesures, le poids a été retiré.

## Rigidité en torsion

Quand un instrument tourne, les forces exercées génèrent une rotation horizontale de la plaque de tête de trépied. La rigidité en torsion définit la capacité du trépied à absorber cette rotation horizontale en retournant dans sa position d'origine lorsque l'instrument est immobile. La précision du déplacement de retour du trépied est appelée hystérésis.

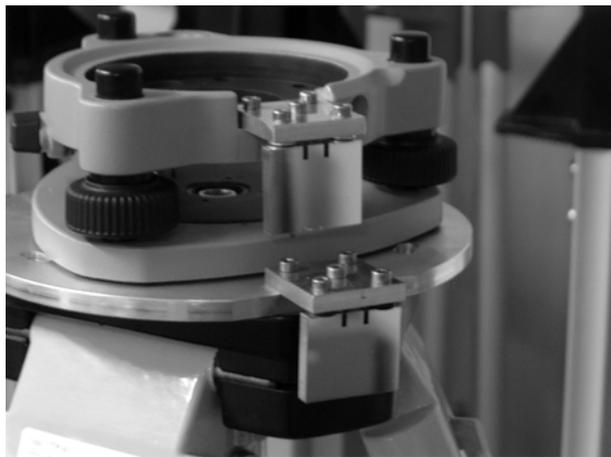


Figure 2 - miroirs d'autocollimation montés sur le trépied et l'embase pour la détection de déformations rotatoires.

La norme ISO prescrit en cas de rotation de la plaque de trépied de 200cc (env. 70") une hystérésis maximale de 10cc (3") pour les trépieds lourds et de 30cc (10") pour les trépieds légers. Pour obtenir plus de résultats pratiques, on a testé l'effet d'un instrument motorisé en rotation. On a utilisé pour cela un TPS1200 exerçant un couple horizontal de 56 Ncm pendant l'accélération et la décélération. Au moyen

Tableau 1 - modèle de trépied testé

Modèle	GST120-9	GST101	Trimax	GST05	GST05L	GST103
						
<b>Matériau</b>	Hêtre	Pin	Fibre de verre	Pin	Aluminium	Aluminium
<b>Traitement de surfaces</b>	Huile & peinture	Peinture	Sans	Revêtement PVC	Sans	Sans
<b>Vis de jambe</b>	Vis latérale	Vis latérale	Bride à verrouillage rapide	Vis centrale	Vis centrale	Vis latérale
<b>Pays d'origine</b>	Hongrie	Chine	Etats-Unis	Hongrie	Hongrie	Chine
<b>Poids</b>	6,4 kg	5,7 kg	7,4 kg	5,6 kg	4,6 kg	4,5 kg
<b>Hauteur maximale</b>	180 cm	166 cm	175 cm	176 cm	176 cm	167 cm
<b>Classification ISO</b>	Lourd	Lourd	Lourd	Léger	Léger	Léger

de l'application "Tours d'horizon", on a réalisé des observations sur deux prismes en alternance. Ceci a généré une rotation continue dans les deux directions pendant la durée d'observation. L'enregistrement des mesures a duré au moins 200 secondes. La détermination de la rigidité en torsion s'est effectuée au moyen d'un collimateur électronique qui surveillait les déformations par autocollimation. Une fréquence de sortie de 16 Hz a garanti un relevé rapide des déformations. On a intercalé une plaque spécialement confectionnée à cet effet entre la tête du trépied et l'embase, et on a exécuté des mesures sur un miroir fixé sur la plaque. La figure du haut montre le deuxième miroir monté sur l'embase. Ce montage a permis de réaliser des mesures additionnelles tenant compte de l'effet combiné du trépied et de l'embase sur l'instrument.

## Dérive horizontale

La dérive horizontale d'un trépied est la variation de l'orientation au fil du temps. Ce n'est pas une exigence ISO, mais Leica Geosystems vérifie ce paramètre sur ses trépieds dans le cadre de l'assurance qualité. On a appliqué à cet effet une méthode de mesure similaire à celle utilisée pour déterminer la rigidité en torsion, mais les mesures se sont étendues sur au moins 3 heures. Pour réduire le volume de données, on a diminué la fréquence du collimateur à 0,5 Hz.

Puis on a remis en place l'équipement TPS1200 sur l'embase. Mais cette fois, l'instrument est resté immobile pendant la phase de mesure.

L'instrument n'exerce donc pas de force rotatoire sur le trépied. Le mouvement du trépied résulte seulement du poids de l'instrument. Le tableau 1 répertorie les caractéristiques des modèles de trépied utilisés dans le cadre des tests.

## Résultats des tests - stabilité en hauteur

Le GST120-9 fournit les meilleurs résultats, avec une stabilité en hauteur de 0,02 mm.

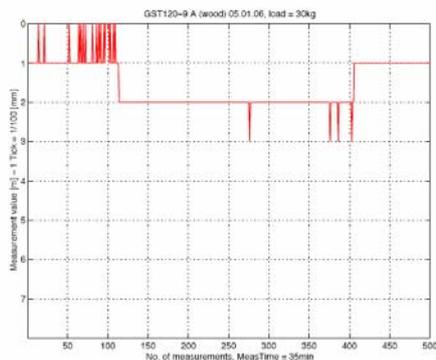


Figure 3a - trépied Leica GST120-9

Les jambes du trépied GST101 sont 14 cm plus courtes que celles du GST120-9, ce qui contribue à rendre le premier plus stable.

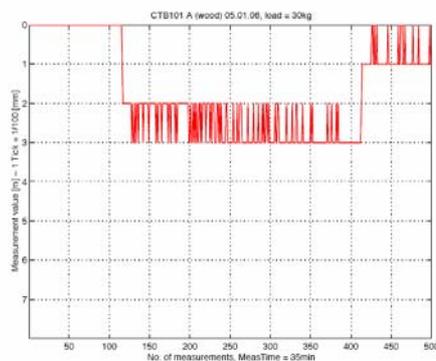


Figure 3b - trépied Leica GST101

Le Trimax présente une distorsion maximale de 0,05 mm. Cette valeur est à la limite des prescriptions ISO. Le trépied testé était muni de brides à verrouillage rapide, alors que les trépieds de Leica Geosystems étaient tous pourvus de vis de blocage. Il se peut que la faible stabilité en hauteur soit due aux brides.

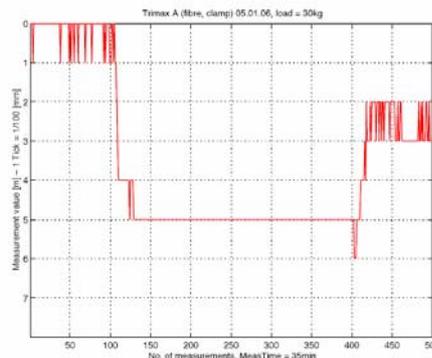


Figure 3c - trépied en fibre de verre Crain Trimax

## Trépieds légers

Dans cette catégorie, le modèle GST05 affiche les meilleures performances. Après avoir subi une charge de 10 kg, il se déforme de seulement 0,02 mm max.

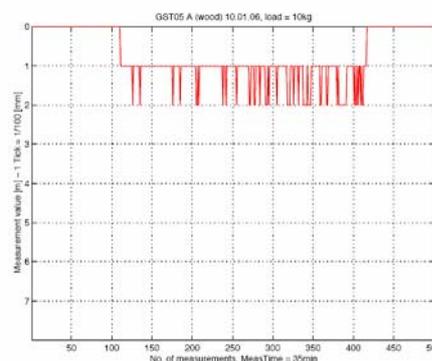


Figure 4a - trépied Leica GST05

Le GST05L présente une déformation verticale légèrement supérieure au GST05 en bois, à savoir 0,03 mm.

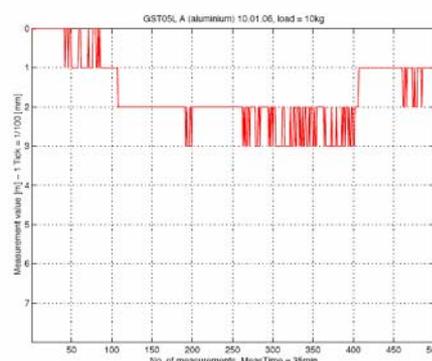


Figure 4b - trépied Leica GST05L

Le GST103 affiche des caractéristiques analogues au GST05L, avec un mouvement vertical de 0,03 mm max. Bien que cet accessoire soit recommandé pour les instruments de moindre précision, il n'en remplit pas moins les critères de la norme ISO.

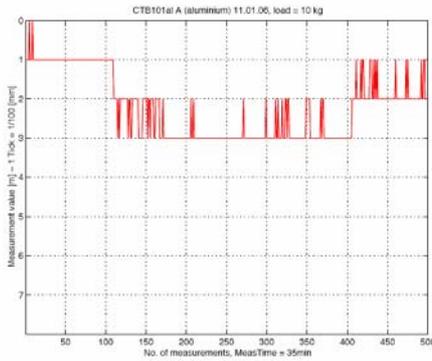


Figure 4c - trépied en alu Leica GST103

## Résultats des tests – rigidité en torsion

Les pics de grande amplitude surviennent pendant l'accélération et la décélération de l'instrument en rotation. Comme il est impossible d'enregistrer les valeurs angulaires durant cette phase, on peut ignorer ces influences. La valeur de l'hystérésis découle de l'amplitude maximale de la courbe quand les pics sont ignorés.

Les résultats font apparaître clairement la différence de stabilité entre les trépieds lourds et légers. Les trépieds légers présentent une distorsion bien plus forte. Par ailleurs, les trépieds en fibre de verre et en aluminium se caractérisent par une courbe linéaire. En d'autres termes, l'instrument subit une dégradation constante de l'orientation avec le temps.

## Trépieds lourds

Parmi tous les trépieds testés, le modèle GST120-9 a la plus faible hystérésis,  $2^{\text{cc}}$  (0,7"). Pendant la mesure, la plaque de tête de trépied est restée extrêmement stable.

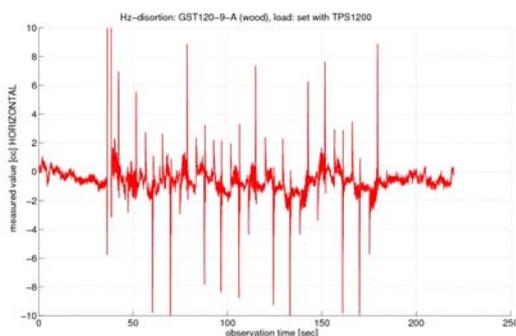


Figure 5a - trépied Leica GST120-9

Le GST101 se caractérise par une amplitude similaire,  $3^{\text{cc}}$  (1"). Le modèle Trimax affiche une amplitude deux fois plus élevée que les autres trépieds, à savoir  $6^{\text{cc}}$

(2"). La courbe linéaire montre que l'hystérésis augmente constamment pendant le temps de stationnement.

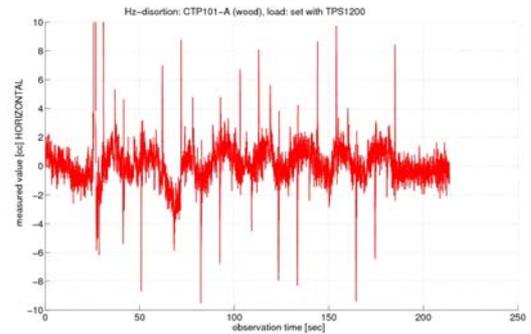


Figure 5b - trépied en bois Leica GST101

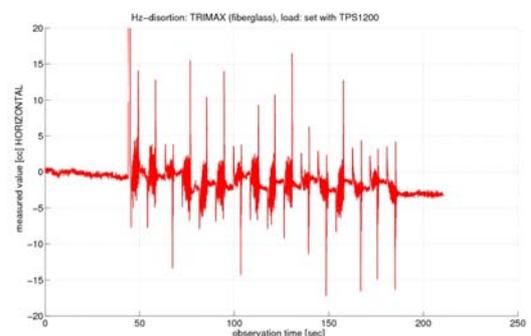


Figure 5c - trépied en fibre de verre Crain Trimax

## Trépieds légers

Dans la catégorie des trépieds légers, le GST05 se révèle être le plus stable, avec une hystérésis de  $8^{\text{cc}}$  (2,7").

Les deux trépieds en aluminium font état d'une déviation rotatoire importante au fil du temps. Après 200 secondes, le GST05L a une hystérésis de  $11^{\text{cc}}$  (3,7") et le GST103 une hystérésis de  $30^{\text{cc}}$  (10"). La valeur de  $30^{\text{cc}}$  (10") est à la limite des prescriptions de la norme ISO pour les trépieds légers.

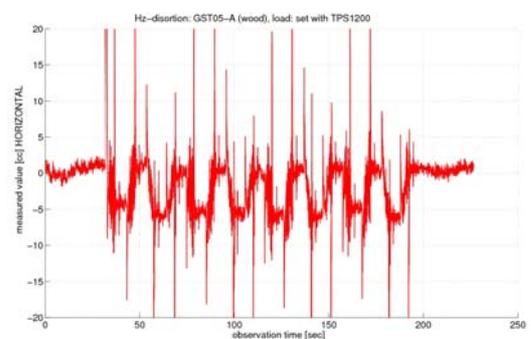


Figure 6a - trépied Leica GST05

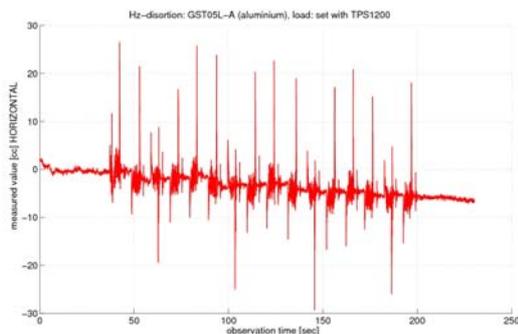


Figure 6b - trépied Leica GST05L

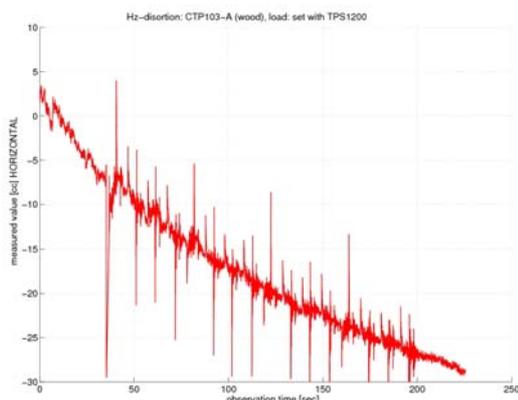


Figure 6c - trépied Leica GST103

## Résultats des tests – dérive horizontale

Comme pour le test de rigidité en torsion, l'orientation des trépieds en fibre de verre et en aluminium se dégrade avec le temps. Ceci dure environ 1 200 s. Au bout de ce temps, le trépied Trimax devient stable. Les trépieds en aluminium continuent à tourner, mais plus lentement.

## Trépieds lourds

Le GST120-9 fait état d'une variation linéaire constante pendant la période de mesure. Mais la dérive reste faible au bout de 3 heures : 7<sup>cc</sup> (2,3").

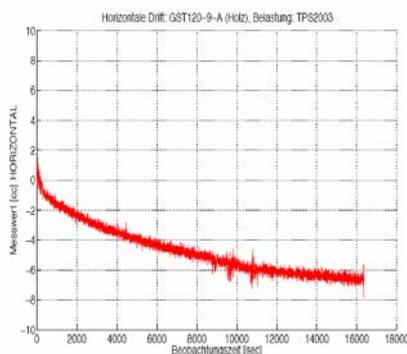


Figure 7a - trépied Leica GST120-9

Le CTP101 affiche la plus faible dérive, 4<sup>cc</sup> (1,3") au maximum.

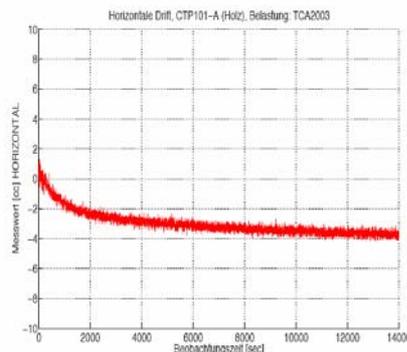


Figure 7b - trépied Leica CTP101

Le modèle Trimax dérive rapidement après la mise en station, jusqu'à 12<sup>cc</sup> (4") pendant les 600 premières s. Mais au bout d'environ 20 minutes, il reste stable à 14<sup>cc</sup> (4,7").

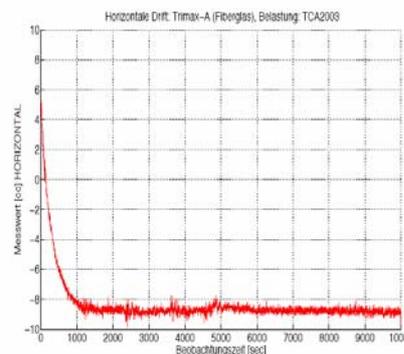


Figure 7c - trépied Crain Trimax

## Trépieds légers

Le GST05 est le plus stable des trépieds testés. Sa dérive est inférieure à 3<sup>cc</sup> (1"). Les trépieds en aluminium continuent à se déformer tout au long des mesures. Après 3 heures, le GST05L a dérivé de 23<sup>cc</sup> (7,7") et le GST103 de 9<sup>cc</sup> (3").

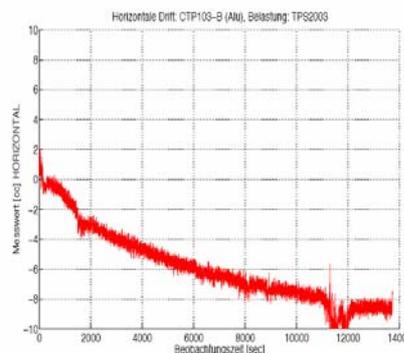


Figure 8a - trépied Leica CTP103

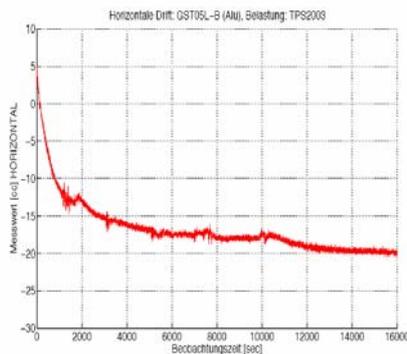


Figure 8b - trépied Leica GST05L

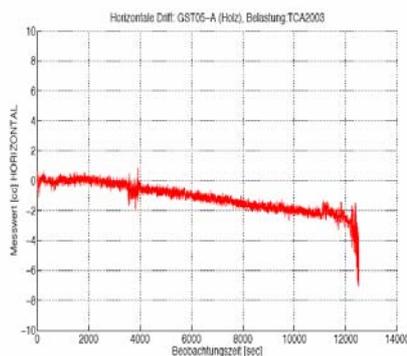


Figure 8c - trépied Leica GST05

## Articles Leica d'origine / copies

Diverses copies de trépied sont disponibles sur le marché.

En raison de leur excellence, les trépieds de Leica Geosystems sont souvent perçus comme des références sur le marché.

<p><b>Vous recevez une boîte noire, quelque chose qui ressemble à un accessoire Leica d'origine, mais en fin de compte vous ne savez pas ce que vous avez acheté ...</b></p>		
	Qualification du fournisseur pour une qualité de produit durable	
	Qualification du matériel et des processus	
	Trépied en bois ou trépied en aluminium	
	Structure de la surface de la plaque de tête de trépied	
	Pointes de trépied - acier spécial	
	Rigidité en torsion	
	Stabilité en hauteur	
	Dérive horizontale	
	Surveillance du processus d'assemblage	
Respect des essais et prescriptions au niveau national		
Requalification de la spécification technique à certains intervalles		
Ajustement fin des trépieds aux instruments pour une stabilité et une longévité maximales		

Tableau 1 - étapes de l'assurance qualité concernant le montage des embases de Leica Geosystems

Il en résulte que les trépieds Leica donnent souvent lieu à des copies. Plusieurs fabricants ont commencé à proposer des copies de trépied bon marché sans assurance qualité. La colonne de droite du tableau 2 montre les étapes de réalisation d'un trépied Leica Geosystems authentique. La plupart de ces étapes échappent au client, mais sont conformes à notre système de gestion qualité sévère. Nous garantissons la fourniture des meilleurs produits à nos clients.

## Recommandations à l'attention de l'utilisateur

Le tableau 2 récapitule les résultats de toutes les mesures effectuées dans le cadre de ce projet. Les valeurs indiquées représentent l'erreur maximale survenue pendant la phase de mesure. En vue de déterminer l'effet total sur la précision TPS, la valeur de l'hystérésis de l'embase est aussi représentée. Leica Geosystems recommande d'utiliser l'embase GDF121 (1") avec des trépieds lourds et l'embase GDF111-1 (3") avec des trépieds légers. Lors de l'analyse de l'influence totale, il apparaît clairement que le trépied et l'embase ont une influence significative sur la précision angulaire du matériel TPS. Le bois procure la meilleure stabilité. Le GST120-9 a enregistré les meilleurs résultats pour la stabilité en hauteur et la rigidité en torsion. Il convient de ce fait à tous les instruments Leica TPS. Les résultats de la dérive horizontale montrent que le trépied en bois GST05 a la plus faible distorsion pendant une période prolongée. C'est donc un accessoire idéal pour les antennes GPS et prismes installés pendant une longue durée.

Les trépieds en aluminium procurent une bonne stabilité en hauteur, mais leur orientation horizontale est assez faible. Il convient donc de les éviter en combinaison avec des instruments mesurant des

angles. Comme les trépieds en aluminium sont plus économiques que les modèles en bois, plus légers aussi et plus résistants, ils sont recommandés pour les applications de nivellement.

Conformément aux courbes relatives à la dérive horizontale, les modèles en aluminium et en fibre de verre subissent de grandes distorsions pendant les 20 premières minutes de stationnement. Pour obtenir des résultats fiables, il convient de ne pas démarrer des observations avant la fin de cette phase. Par ailleurs, il est recommandé de contrôler régulièrement l'orientation pendant la mesure.

Tous les tests de trépieds ont eu lieu dans des conditions de laboratoire. Sur le terrain, des effets supplémentaires, tels que la température, l'humidité, le type de sol, le vent, affectent la stabilité. Quand les trépieds prennent de l'âge, on peut aussi s'attendre à une dégradation de la stabilité. Il faut donc toujours tenir compte de l'influence du trépied et de l'embase pour déterminer la précision angulaire donnée.

Les valeurs du tableau permettent de choisir le trépied le mieux adapté à l'application prévue. Pour des levés de précision de longue durée, il est recommandé d'utiliser un pilier en béton ou d'appliquer un procédé de mesure sophistiqué capable de compenser ces erreurs.

Modèle	GST120-9	GST101	Trimax	GST05	GST05L	GST103
<b>Adapté aux produits Leica suivants</b>	Tous TPS	Tous TPS	TPS >5"	Antenne GPS, prismes	Prismes, niveaux	Prismes, niveaux
<b>Matériau</b>	Bois de hêtre	Bois de pin	Fibre de verre	Bois de pin	Aluminium	Aluminium
<b>Classification ISO</b>	Lourd	Lourd	Lourd	Léger	Léger	Léger
<b>Stabilité en hauteur</b>	0,02 mm	0,03 mm	0,05 mm	0,02 mm	0,03 mm	0,03 mm
<b>Hystérésis du trépied</b>	1" (2 <sup>cc</sup> )	1" (3 <sup>cc</sup> )	2" (6 <sup>cc</sup> )	3" (8 <sup>cc</sup> )	4" (11 <sup>cc</sup> )	10" (30 <sup>cc</sup> )
<b>Hystérésis de l'embase</b>	1" (3 <sup>cc</sup> )	1" (3 <sup>cc</sup> )	1" (3 <sup>cc</sup> )	3" (10 <sup>cc</sup> )	3" (10 <sup>cc</sup> )	3" (10 <sup>cc</sup> )
<b>Influence maximale possible</b>	<b>2" (5<sup>cc</sup>)</b>	<b>2" (6<sup>cc</sup>)</b>	<b>3" (9<sup>cc</sup>)</b>	<b>6" (18<sup>cc</sup>)</b>	<b>7" (21<sup>cc</sup>)</b>	<b>13" (40<sup>cc</sup>)</b>
<b>Dérive Hz au bout de 3 heures</b>	2" (7 <sup>cc</sup> )	1" (4 <sup>cc</sup> )	5" (14 <sup>cc</sup> )	1" (3 <sup>cc</sup> )	8" (23 <sup>cc</sup> )	3" (9 <sup>cc</sup> )

Tableau 2 - récapitulatif des résultats et recommandations

## Source

Ce document est un résumé et une traduction de la thèse *Genauigkeitsanalyse von Vermessungsstativen und Dreifüssen unter der Belastung verschiedener Instrumente* (Analyse de la précision de trépieds topographiques et d'embases subissant le poids de différents instruments). Elle a été réalisée en 2006 par Daniel Nindl, du département Génie géodésique de l'université technique de Vienne, sous la direction de Mirko Wiebking, de

Leica Geosystems AG, Heerbrugg. Le but de cette thèse était d'analyser l'effet de trépieds et d'embases sur la précision de l'instrument de mesure. L'analyse des embases ne fait pas partie de ce document, mais un livre blanc intitulé "Embases topographiques - caractéristiques et Influences" est disponible séparément.

Que vous souhaitiez ausculter un pont ou un volcan, lever un gratte-ciel ou un tunnel, implanter un chantier ou réaliser des mesures de contrôle, vous aurez toujours besoin d'un équipement fiable. Les accessoires Leica Geosystems d'origine sont adaptés à vos tâches exigeantes. Ils garantissent le respect des spécifications techniques des équipements de Leica Geosystems. Vous pouvez donc vous fier à leur précision, à leur qualité et à leur durabilité. Ils vous assurent des résultats de mesure fiables et vous permettent de tirer le maximum de votre instrument Leica Geosystems.

**When it has to be right.**

Illustrations, descriptions et données techniques non contractuelles. Sous réserve de modifications.  
Imprimé en Suisse - copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Suisse, 2010.  
VII.10 - INT