

Le contrôle des instruments géodésiques

■ **Rudolf STAIGER** (version française : Olivier Reis)

Une des missions primordiales de l'ingénieur géomètre consiste à déterminer des points dans un système de référence à une, deux ou trois dimensions. Il recourt pour cela à une large gamme d'instruments dont les principaux sont les niveaux numériques, les tachéomètres électroniques, les chambres métriques numériques et les récepteurs GPS.

En mettant en œuvre ces technologies modernes, le professionnel de la topographie se mue en utilisateur d'un système de mesure complexe intégrant des composants mécaniques, optiques et électroniques, et présentant les caractéristiques suivantes :

- La productivité des systèmes de mesure géodésiques s'est considérablement accrue au cours des 20 dernières années.
- L'automatisation croissante relègue peu à peu le savoir-faire, autrement dit l'"art de la mesure" au second plan, tandis que l'élaboration de canevas de mesure et la gestion de données ne cessent de gagner en importance.
- L'utilisateur ne dispose plus des valeurs de mesure originales. Un ensemble de correction est appliqué en interne à ces dernières avant même leur présentation sur l'affichage, les valeurs de correction provenant d'étalonnages effectués par le fabricant ou ayant été préalablement définies par l'opérateur.
- La rapidité des mesures, leur résolution élevée et la grande reproductibilité des instruments actuels incitent très fortement l'opérateur à estimer que ses résultats sont "corrects".
- Il n'existe pas de module de contrôle apte à exécuter une procédure de tests rapide et sûre de l'équipement et des résultats de mesure sur le terrain.

Cumulées, ces différentes raisons conduisent fréquemment à une totale absence de transparence en pratique. En effet, l'opérateur lance la mesure en pressant un bouton et le résultat est affiché ou stocké en mémoire, tandis que les processus internes à l'instrument restent parfaitement opaques pour l'utilisateur.

Le contrôle régulier et minutieux des instruments de mesure a toujours été au cœur des préoccupations des profession-

nels de la topographie, et il n'est pas apparu soudainement lors de l'introduction des systèmes d'assurance qualité dont le plus connu fait partie de la famille des normes ISO 9000. Les systèmes d'assurance de la qualité se limitent toutefois à la documentation et à la traçabilité au sein d'un processus de fabrication ou de service, de sorte que c'est finalement l'ingénieur géomètre chargé de leur exécution qui assume la responsabilité de la conception technique et du bon déroulement des mesures de contrôle.

Il va être tenté, dans la suite, de brosser un portrait fidèle de l'état actuel des techniques de contrôle des systèmes de mesure géodésiques (en particulier des tachéomètres électroniques), bien des éléments étant du reste transposables à d'autres systèmes de mesure. Une méthode de contrôle bien adaptée à la pratique, scindée en plusieurs étapes, sera enfin proposée.

Evolution des instruments géodésiques au cours des quinze dernières années

C'est en 1988 que démarra la commercialisation des premiers systèmes GPS destinés aux travaux topographiques courants. Leurs fabricants proclamèrent ouvertement la fin de la "topographie terrestre" et dépeignirent les instruments de nivellement et les tachéomètres électroniques comme des outils technologies dépassés (ou obsolètes).

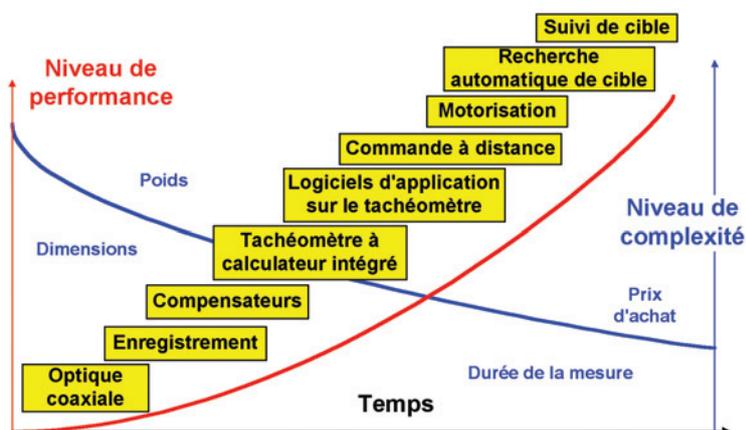


Figure 1 : Evolution technique des tachéomètres depuis 1980

■ ■ ■ En dépit (ou peut-être en raison ?) de ce pronostic pessimiste, des progrès notables ont été accomplis depuis dans le domaine des systèmes de mesure terrestres :

- En 1990, Leica a présenté le premier niveau compensateur à saisie et exploitation électronique de l'image et l'a baptisé niveau numérique. Aujourd'hui, outre Leica, Sokkia, Topcon et Trimble (Zeiss) proposent également des niveaux numériques dans leurs gammes de niveaux de précision ou de niveaux d'ingénieur.
- Les tachéomètres électroniques (simplement appelés tachéomètres dans la suite) sont désormais dotés d'un large éventail de fonctions schématiquement représentées sur la figure 1. Ces développements présentent de l'intérêt à plusieurs titres : la résolution de problèmes connus et existants est plus rapide et plus simple et de nouvelles tâches (telles que la saisie d'objets en mouvement) peuvent dorénavant être accomplies, des travaux financièrement inabornables jusqu'alors (tels que des mesures de surveillance permanentes) devenant par ailleurs possibles grâce à l'automatisation des instruments.

Au début des années 90 du siècle précédent, les systèmes GPS étaient encore commercialisés comme des substituts des tachéomètres. Cette vision n'a plus cours aujourd'hui puisqu'on considère à présent que les deux techniques (tachéométrie et GPS) se complètent avantageusement. Elles sont du reste mise en œuvre en conséquence.

■ La situation du marché

Une forte concentration s'est opérée sur le marché au cours des quinze dernières années puisque ses trois acteurs majeurs (Leica, Topcon et Trimble) totalisent à eux seuls plus des deux tiers du chiffre d'affaires global de la vente d'instruments sur les marchés industriels principaux que sont l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Extrême-Orient.

Toutes les entreprises proposent aujourd'hui des équipements de mesure de grande qualité (cf. Evolution des précisions de mesure) garantissant une productivité élevée ; en d'autres termes, ils permettent d'effectuer des mesures précises en très peu de temps, quelques secondes à peine, sans disposer d'un savoir-faire étendu, condition auparavant requise par les instruments. En outre, les systèmes de mesure sont actuellement proposés à un prix très abordable et n'entraînent que de faibles surcoûts pour la maintenance ou la formation. Leur durée d'utilisation s'est cependant réduite – conséquence de la durée de vie limitée des composants électroniques – pour s'établir dans une fourchette allant de dix à quinze ans.

Les cycles de vie des produits, autrement dit les périodes durant lesquelles un type d'instrument donné est proposé sur le marché, se sont très fortement contractés. Une comparaison, en guise d'exemple : aujourd'hui, les tachéomètres sont remplacés par un nouveau modèle au bout de trois à cinq ans au plus, alors que le théodolite de précision T2 de Wild a été fabriqué et commercialisé entre 1929 et 1996 tout en n'étant modernisé qu'à deux reprises dans l'intervalle. Les cycles de vie des produits sont souvent trop courts pour l'utilisateur -

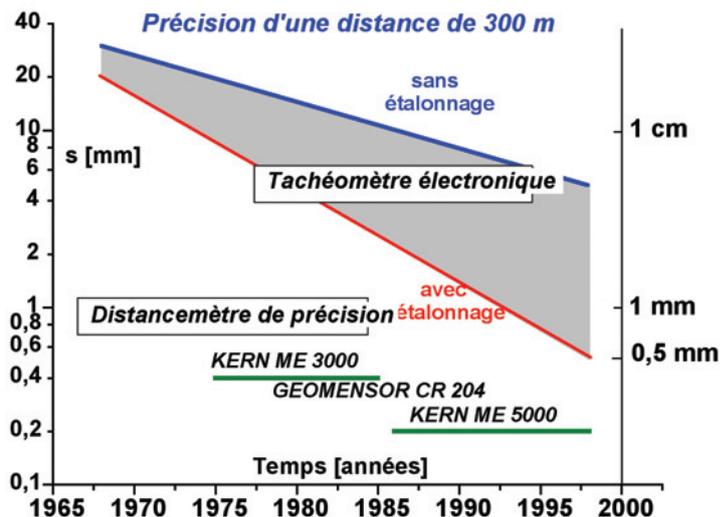


Figure 2 : Précision de mesure atteignable (angulaire et linéaire) sur la distance représentative de 300 m

aucune intervention n'est nécessaire au niveau logiciel (une extension de l'applicatif, par exemple) – qui est ainsi contraint de se familiariser avec une nouvelle interface utilisateur à chaque acquisition d'un nouveau modèle.

■ Evolution des précisions de mesure

La précision de mesure altimétrique qui peut être atteinte au moyen d'instruments de nivellement n'a guère varié au cours des dernières décennies. Les niveaux numériques ont permis de gagner en vitesse d'exécution et en simplicité d'emploi, pas en précision. Un écart-type de 0,3 à 0,4 mm par kilomètre de nivellement double peut être donné à titre indicatif. La même réflexion s'applique aux mesures angulaires dont la précision ne s'est pas non plus accrue (cf. figure 2).

Les précisions qui peuvent être atteintes pour la mesure électronique de distances sont présentées sur la figure 2 pour une longueur type de 300 m. Les fabricants d'instruments disposent à présent de technologies permettant d'envisager un nouvel accroissement de précision. La mise en œuvre de tels instruments de précision ne pourra toutefois se révéler judicieuse que lorsque de nouvelles méthodes affinées permettant une détermination nettement plus précise de l'indice de réfraction de l'atmosphère seront devenues réalité.

■ Les pratiques actuelles en matière de mesure et de contrôle

Aujourd'hui, la majorité des mesures est effectuée sans la redondance nécessaire au contrôle et à l'accroissement de la précision, et l'utilisateur suppose - en raison entre autres de la rapidité et de la simplicité du processus de mesure - que les résultats sont exempts de toute erreur et d'écart systématique de mesure.

Les contrôles instrumentaux actuels consistent souvent en une simple répétition du processus de mesure. Ainsi, dans le

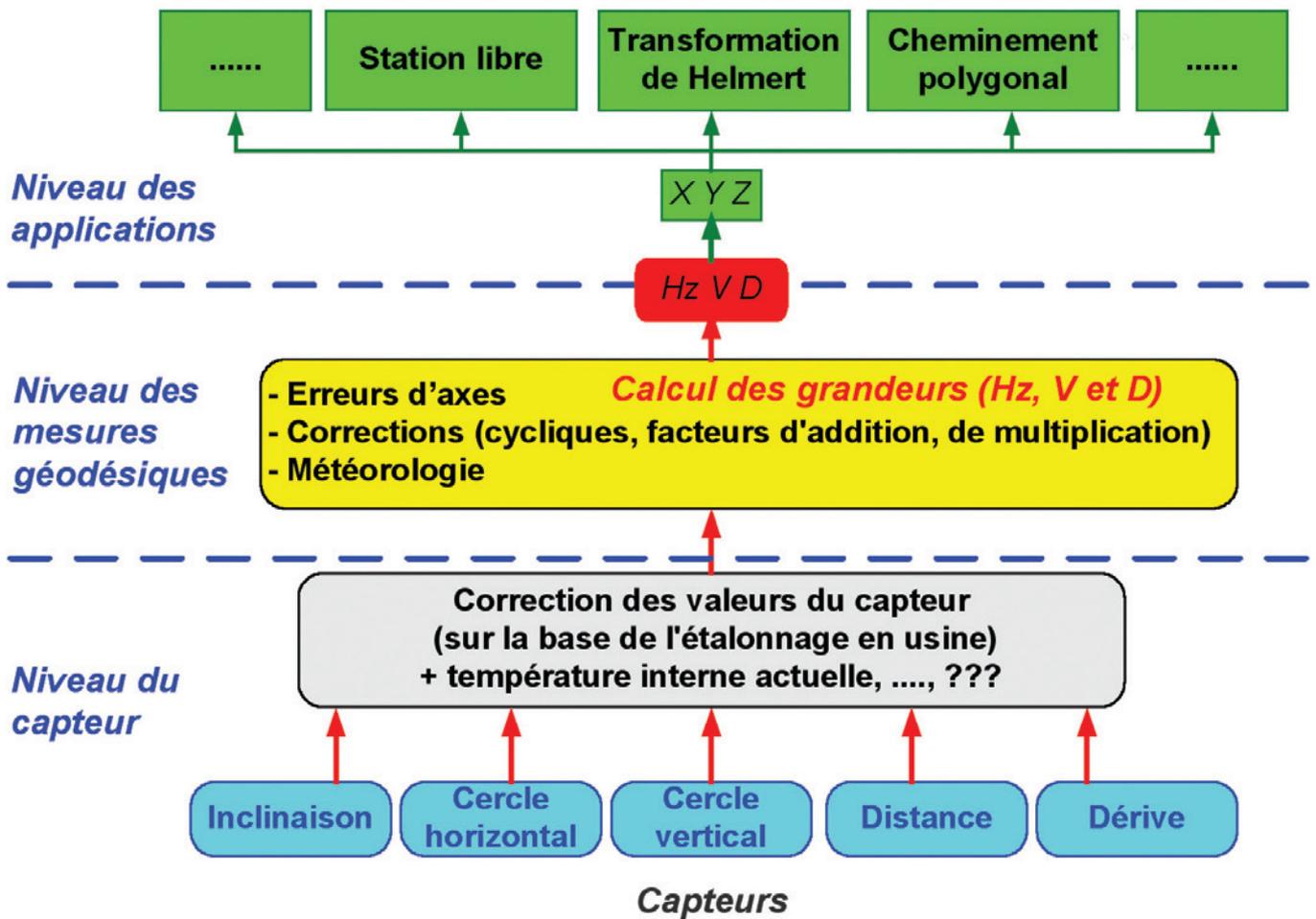


Figure 3 : Niveaux d'utilisation du tachéomètre

cas concret des distances, la mesure est déclenchée à plusieurs reprises et les écarts enregistrés entre les différentes valeurs sont interprétés à tort comme des indicateurs de précision (cf. Indications relatives aux incertitudes de mesure).

Valeurs de mesure et de correction

■ Résultats de mesure

Actuellement, l'utilisateur n'a plus accès aux valeurs de mesure brutes que sont les directions horizontales, les dénivelées ou les distances en pente non corrigées. Ces valeurs sont corrigées au préalable des influences géométriques et physiques par l'intermédiaire des grandeurs stockées dans l'instrument. Le niveau du capteur échappe donc totalement à l'utilisateur (figure 3). Le niveau des corrections géodésiques n'est quant à lui accessible et modifiable que de façon très restreinte dans le cas d'instruments de bas à milieu de gamme.

Sur tous les instruments, il est possible d'introduire la correction d'addition (distances) ou de zéro (cercle horizontal) (figure 4). L'erreur de collimation horizontale est soit directement introduite, soit déduite à l'issue des mesures effectuées dans les deux positions de la lunette. En revanche, la correction de l'erreur de tourillonnement n'est que partiellement accessible (lecture seule) ou modifiable (lecture et écriture).

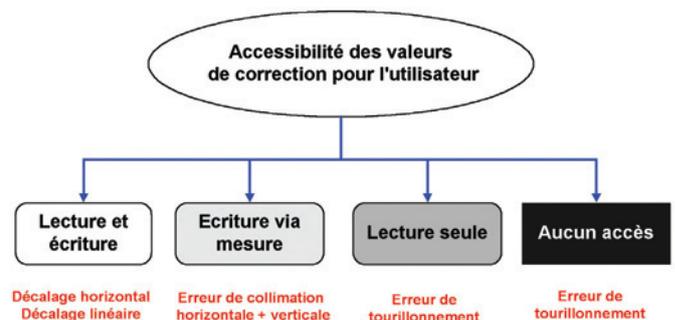


Figure 4 : Accessibilité des valeurs de correction

■ Systèmes de mesure

Un système de mesure ne se limite pas à l'instrument de mesure proprement dit et à ses accessoires, il intègre l'ensemble des composants intervenant dans le processus de mesure. Outre l'équipement de mesure complet et l'objet à mesurer, ce système englobe l'observateur, la méthode de mesure et de calcul ainsi que les conditions ambiantes de la mesure regroupant les diverses influences physiques s'exerçant sur elle (température, pression, rayonnement solaire, etc.) (figure 5).

Tous les composants contribuent à la détermination de la valeur mesurée, ce qui signifie également que chaque élément

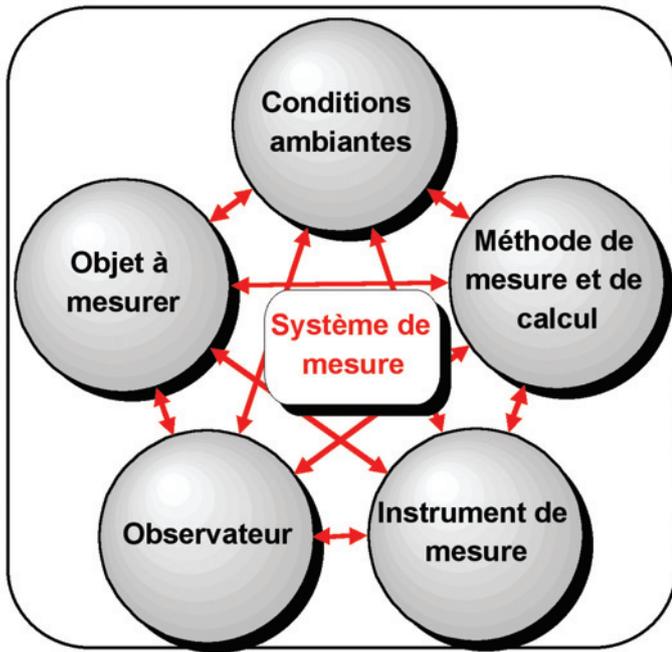


Figure 5 : Composants du système de mesure

peut fausser le résultat. Il n'est possible d'obtenir des résultats précis et corrects qu'à condition de connaître l'influence réciproque des différents composants, pour sa prise en compte dans la modélisation du processus d'acquisition puis d'exploitation de la valeur mesurée.

Les sources d'erreurs possibles sont schématiquement récapitulées au sein d'un modèle en couches successives établi pour le cas spécifique du tachéomètre.

Facteurs à même d'influer sur des mesures géodésiques

Les influences possibles peuvent être sommairement subdivisées en trois catégories : les influences instrumentales, celles commises par l'opérateur et les autres facteurs à caractère physique.

Influences instrumentales

Les instruments actuels sont tous des systèmes multicapteurs, c'est à dire que la valeur mesurée affichée est déduite des résultats fournis par les différents capteurs (balayage des cercles horizontaux et verticaux, inclinaison, dérive, mesure

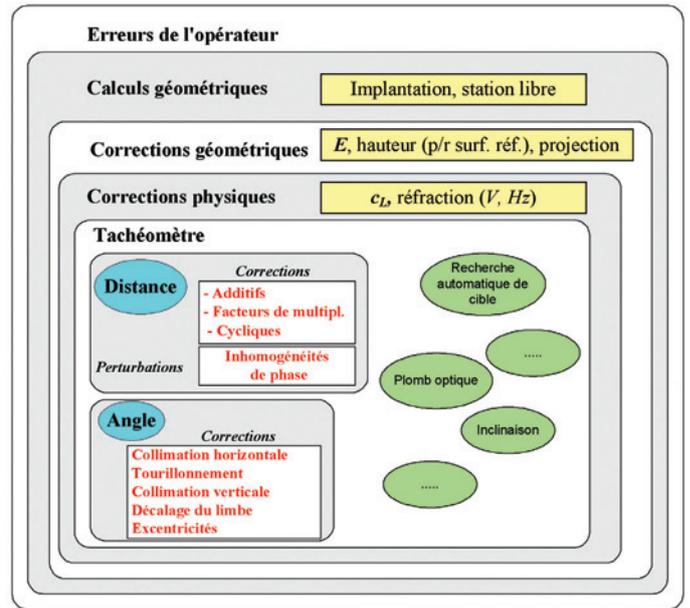


Figure 6 : Modèle en couches successives des facteurs d'influence possibles (tachéomètre)

de distance, heure, température, etc.). Les erreurs systématiques et aléatoires dont les différents résultats partiels sont entachés se répercutent sur le résultat final (direction horizontale H_z , angle vertical V et distance inclinée s'). Aujourd'hui, de nombreux utilisateurs travaillent directement en "coordonnées". Dans ce cas, il est légitime de considérer comme des erreurs instrumentales les erreurs (bogues) que le logiciel géodésique (station libre, implantation, transformation de coordonnées, calcul de surfaces, etc.) utilisé sur le terrain peut comporter.

Influences exercées par l'opérateur

Le centrage et le calage de l'instrument de mesure ne sont réalisés qu'une seule fois en un point de station donné. Par conséquent, les écarts aléatoires qui y sont attachés exercent ensuite une influence systématique sur toutes les observations effectuées depuis cette station.

L'importance de l'observateur (en tant que source potentielle d'erreurs de mesure) décroît à mesure que l'automatisation s'accroît. Le tableau 1 répertorie les influences que l'opérateur

Tableau 1 : Influences exercées par l'observateur sur les résultats des mesures

| Niveau de sophistication de l'instrument | Mise en station | Pointé | Lecture | Tenue du carnet de terrain |
|--|-----------------|--------|---------|----------------------------|
| Tachéomètre (théodolite) opto-mécanique | ● | ● | ● | ● |
| Tachéomètre électronique (T) sans enregistrement | ● | ● | ● (1) | ● |
| Tachéomètre électronique (T) avec enregistrement | | | | |
| - à pointé manuel | ● | ● | | |
| - à pointé automatique | ● | | | |

(1) Au sens uniquement d'une erreur grossière

peut exercer en fonction du niveau d'automatisation de l'équipement de mesure, à l'exemple du tachéomètre (théodolite) électronique (DEUMLICH & STAIGER 2001).

Il n'en reste pas moins que la possibilité d'une erreur commise par l'opérateur subsiste, même dans le cas de systèmes entièrement automatiques. Concrètement, elle peut se traduire de l'une des manières suivantes :

- par l'entrée erronée de coordonnées ou de désignations de points
- par l'entrée ou la sélection erronée de valeurs de correction (facteur d'échelle, correction d'addition, correction de collimation horizontale, etc.)
- plus généralement, par toute erreur commise par l'opérateur.

Une erreur due à l'opérateur est d'ordinaire rangée dans la catégorie des erreurs grossières (ou fautes), qui devraient être détectées par l'emploi d'un dispositif de mesure approprié. Elles sont du reste à éviter de manière générale. Si les mesures s'effectuent malgré tout sans redondance ni contrôle, les erreurs commises par l'opérateur ne sont détectables que lorsqu'elles provoquent des écarts proportionnellement importants, par exemple dans le cas de coordonnées grossièrement fausses. Des écarts plus modestes, tels qu'un biais de 35 mm dans la correction d'addition (erreur de saisie ou acceptation à tort), restent indétectables sans contrôle direct de la grandeur en question.

D'une manière générale, le risque d'erreur due à l'observateur est favorisé par :

- Un logiciel d'application complexe dont le mode d'emploi fournit bien souvent de trop maigres informations sur les algorithmes, les modèles et les corrections utilisés.
- Une interface utilisateur dont le caractère intuitif incite à limiter la consultation du mode d'emploi à un bref survol à l'occasion de son utilisation initiale.
- Des mises à jour régulières du logiciel et des modifications fréquentes des modèles entreprises par les fabricants. Ce point est d'importance dans la mesure où l'utilisation du logiciel ne subit pas de bouleversements majeurs. Cette remarque ne s'applique toutefois pas nécessairement à la modification isolée de l'un ou l'autre paramètre.

Autres facteurs d'influence

Les conditions ambiantes régnant lors de la mesure constituent l'essentiel des autres facteurs d'influence. Utilisons l'exemple de la mesure électronique des distances pour l'illustrer.

Toutes les méthodes de mesure électronique des distances employées en géodésie reposent sur la détermination du temps de transit de la lumière dans l'atmosphère sur un parcours donné. La vitesse de propagation de la lumière dans l'atmosphère sur le trajet de mesure est alors déduite des paramètres météorologiques saisis (température, pression et degré d'humidité de l'air). Une erreur dans la saisie de la température ambiante fausse la mesure de la distance à raison de 1 ppm

par °C. Autrement dit, une erreur de 2 °C dans la saisie de la température ambiante (considérée comme étant applicable à l'ensemble du parcours) provoque un écart de 1 mm sur une distance de 500 m. En conséquence, tout utilisateur désireux d'exploiter au maximum le potentiel de précision d'un tachéomètre moderne pour la mesure électronique de la distance (au niveau du millimètre), se doit de procéder à la détermination des paramètres météorologiques avec le plus grand soin.

Des paramètres supplémentaires, parmi lesquels la synchronisation entre les différents éléments, sont à prendre en compte lors d'étalonnages basés sur des mesures dynamiques.

Les procédures de test des instruments géodésiques

L'assurance de la qualité intègre l'ensemble des dispositions qu'il est indispensable de prendre pour garantir effectivement le niveau de qualité visé sinon requis par le produit. Dans le cas concret des travaux topographiques, la qualité du produit (l'ensemble des résultats de mesure) dépend pour l'essentiel du respect de tolérances prescrites ou d'écarts de mesure prédéfinis. Cela semble aller de soi et pourtant bon nombre d'utilisateurs font une confiance plus ou moins aveugle aux résultats de mesure affichés ou stockés par leur instrument. D'ailleurs, les contrôles les plus simples ou les étalonnages ne sont effectués que trop rarement. Et si l'étalonnage est imposé par le donneur d'ordre ou l'autorité de surveillance, elle est bien souvent perçue comme inopportune et superflue.

■ Définition des notions principales

Les procédures de test des équipements de mesure

La notion de *procédure de test* est ici comprise au sens le plus large, couvrant tous les types de tests que des équipements de mesure géodésiques peuvent subir. Un *contrôle* a pour objet d'établir le niveau de respect d'une exigence donnée par l'élément à contrôler, lequel peut être un produit (composant d'un système ou prestation de service), mais également l'équipement de mesure lui-même. Le contrôle est toujours lié à la comparaison avec une exigence pouvant être imposée ou établie d'un commun accord. Le contrôle d'un instrument de mesure a pour but principal de déterminer les écarts fournis, lesquels ne devraient en aucun cas dépasser les prévisions du constructeur.

Etalonner signifie établir une relation entre la valeur affichée et la valeur effective d'une grandeur. Cette opération permet de déterminer des écarts de mesure. Et si des écarts systématiques sont clairement mis en évidence à cette occasion, ils pourront servir à améliorer la précision de mesure. Un *réglage* implique une intervention mécanique ou informatique à effet permanent, réalisée sur l'instrument, par laquelle les écarts systématiques constatés sont éliminés ou compensés. Actuellement, le réglage s'effectue principalement par l'enregistrement de valeurs de correction déterminées.

- La *vérification* d'un instrument de mesure englobe les contrôles de qualité et la délivrance d'un certificat conformément aux prescriptions en vigueur (loi ou ordonnance régissant la vérification).

Indications relatives aux incertitudes de mesure

La *résolution* d'un instrument de mesure décrit sa capacité à saisir et à représenter distinctement deux valeurs mesurées très proches. Dans le cas d'un instrument à affichage numérique, la résolution correspond à une mesure d'une quantité égale à la dernière décimale affichée.

La valeur vraie d'une grandeur mesurée reste généralement inconnue. Par valeur *exacte*, on entend ici une valeur connue de la grandeur recherchée, l'écart par rapport à la valeur vraie étant parfaitement négligeable. La *précision* est définie comme étant l'écart séparant la valeur mesurée x de la valeur exacte. Elle comprend une partie systématique et une partie aléatoire.

Si des mesures sont répétées, les valeurs obtenues sont distribuées de façon aléatoire autour de l'*espérance mathématique* μ . Plus le nombre d'observations est élevé, plus la moyenne arithmétique de l'ensemble des mesures se rapproche de l'espérance mathématique. L'influence des écarts aléatoires peut de la sorte être minimisée. La dispersion des valeurs mesurées est généralement quantifiée par l'*écart type*.

Une distinction est à établir entre des mesures effectuées dans des *conditions de répétition* et des mesures réalisées dans des *conditions de comparaison*. Dans le premier cas, les facteurs d'influence maîtrisables restent tous quasiment inchangés. Parmi ceux-ci on compte l'observateur, la méthode de mesure, le dispositif de mesure, l'équipement de mesure de même que d'autres facteurs d'influence externes (par exemple la mise en station, l'influence exercée par les conditions ambiantes, etc.). En revanche, si de nombreux facteurs d'influence sont modifiés, les résultats de mesure différents et indépendants obtenus permettent de déduire des écarts systématiques. En règle générale, la dis-

persion des mesures est plus forte dans le cas de conditions de comparaison que dans celui de conditions de répétition.

Les écarts systématiques régnant durant la mesure ne sont qu'imparfaitement connus. Ils conduisent, après correction, à la valeur de mesure rectifiée (figure 7). Dans bon nombre de méthodes de mesure géodésiques, les précisions atteignables sont limitées par les écarts systématiques inconnus.

Objectifs des procédures de test

Un contrôle a pour objet de vérifier si l'équipement de mesure respecte les indications fournies par son constructeur. Le test concerne en priorité les écarts de mesure annoncés, mais d'autres grandeurs telles que la portée (mesures de distance sans réflecteur) ou le nombre maximal de mesures de distance exécutables avec une batterie en pleine charge présentent également de l'intérêt. Dans l'idéal, l'opérateur peut contrôler son équipement sur le terrain sans l'aide d'aucun moyen auxiliaire et sans connaissance de la valeur théorique. **GOTTWALD (1998)** parle alors de méthodes de contrôle de terrain, **BECKER (2000)** de méthodes simplifiées.

Un *étalonnage* vise au moins à prouver le respect d'un niveau de précision donné. Si les écarts de mesure systématiques sont significatifs, les corrections peuvent également servir à accroître la précision. Il existe deux méthodes fondamentalement différentes :

- l'*étalonnage* dit *de système* (**BRUNNER et WOSCHITZ 2001**) qui envisage le système de mesure globalement dans des conditions aussi proches que possible de la réalité, le résultat final étant directement comparé à des valeurs théoriques connues
- l'*étalonnage de composants* qui considère en revanche les facteurs d'influence isolément, se concentrant par exemple sur l'effet produit par un champ magnétique sur le compensateur d'un instrument de nivellement (**SCHWARZ 2001**). L'étalonnage de système constitue la méthode correcte du point de vue théorique. Elle est toutefois d'une grande complexité et impose toujours de connaître des valeurs de référence.

L'*étalonnage de composants isolés* constitue au contraire une méthode standard pour déterminer la plupart des facteurs d'influence (par exemple pour la mesure électronique des distances).

Le *réglage* est toujours lié à un étalonnage préalable. Il consiste soit à stocker les résultats de l'étalonnage de façon permanente dans l'équipement de mesure, soit à les prendre en compte directement via un réglage mécanique.

Lorsqu'une nouvelle technologie de mesure est mise sur le marché (par exemple le niveau numérique, le capteur GPS, la mesure de distance sans réflecteur, etc.), une *étude approfondie* doit être menée afin d'analyser les forces et les faiblesses inhérentes à ce type d'équipement de mesure. Des indications précieuses en découlent pour le constructeur comme pour les utilisateurs (figure 3).

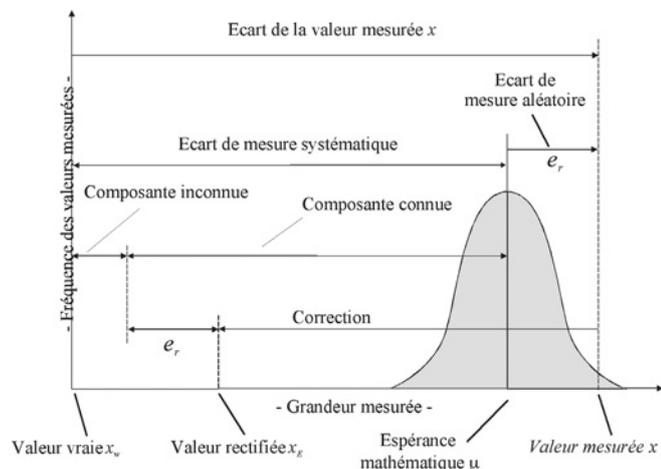


Figure 7 : Résultats de mesures

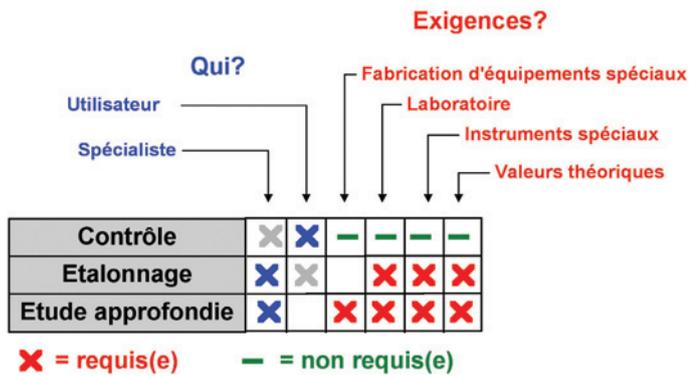


Figure 8 : Exigences propres aux différents buts poursuivis par les contrôles

■ Stratégies de test

Il existe diverses possibilités pour tester un équipement de mesure. Le présent paragraphe n'a pas pour objet d'exposer des solutions toutes faites, il tente plutôt de mettre en parallèle les différentes méthodes envisageables et les résultats qu'elles entraînent à l'aide d'exemples.

Indépendamment de la manière dont le contrôle s'effectue et de son niveau d'intensité, il est recommandé d'ouvrir un registre pour chaque instrument, consignait l'ensemble des événements importants le concernant, à savoir les contrôles, les étalonnages, les réparations, les utilisations exceptionnelles, etc. Sa tenue facilite également le respect de la périodicité des contrôles que l'on s'impose.

Quand procéder à un contrôle ?

Il convient, avant la première utilisation d'un équipement de mesure, de procéder à la réception du produit, aussi bien pour des systèmes complets que pour des éléments isolés (par exemple des mires de nivellement, des trépieds ou des réflecteurs). Aucune distinction ne devrait par ailleurs être effectuée entre un équipement acquis à l'état neuf et un matériel acheté d'occasion. Tous les instruments de mesure en service sont par ailleurs à vérifier régulièrement après la réception du produit, la périodicité étant à définir au cas par cas. Des tests semblent toutefois opportuns pour les événements ou les intervalles suivants :

- à intervalles de six mois au plus pour un contrôle régulier
- avant et après des mesures de précision
- au terme d'une période d'inutilisation prolongée de l'équipement (au sortir de l'hiver par exemple)
- après un transport "mouvementé".

Il est évident qu'une procédure de contrôle est également à engager en dehors des intervalles prescrits en cas d'irrégularités dans les résultats de mesure, de dommages apparents, de perturbations dans le fonctionnement de l'équipement, etc.

4.3.2 Comment procéder aux tests ?

Le calendrier et l'ampleur des vérifications à prévoir sont à définir sur une période prolongée. Une procédure en plu-

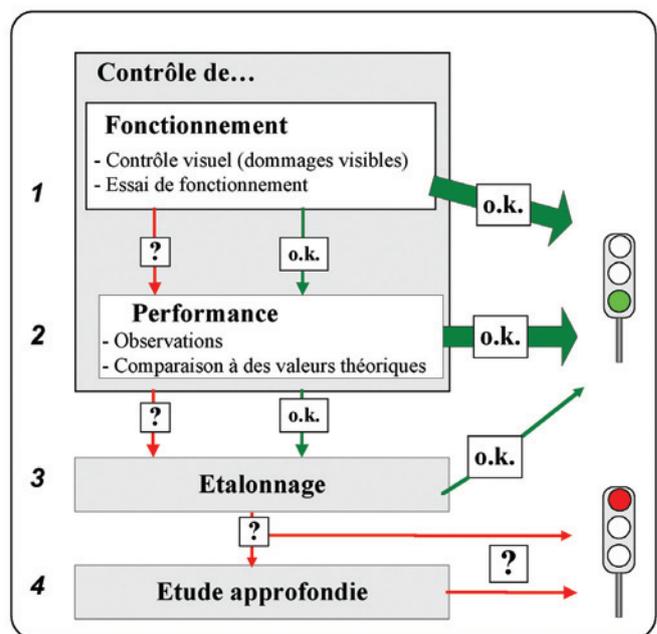


Figure 9 : Le modèle à 4 phases (sur la base de la recommandation FIG 5.1, 1994)

sièrs étapes présente des avantages : l'utilisateur de l'équipement de mesure peut effectuer lui-même les contrôles de routine usuels tandis que les étalonnages, exécutés plus rarement, sont pris en charge par des établissements (écoles d'ingénieurs, laboratoires d'étalonnage, service des poids et mesures) spécialement équipés à cet effet.

Le programme de contrôle ne devrait pas être figé, il devrait au contraire pouvoir être modifié en fonction des résultats obtenus : si un contrôle de terrain faisait par exemple apparaître des écarts trop importants, ces derniers seraient à analyser de façon approfondie dans le cadre d'un étalonnage.

Entre 1990 et 1994, la commission 5 de la FIG a élaboré des recommandations relatives aux vérifications de routine des distancemètres (FIG WG 5.1 1994). Ces recommandations se fondent sur une stratégie de contrôle à plusieurs niveaux visant principalement à réduire le volume de travail inhérent au contrôle. Elles ont été décrites en détail par GOTTWALD (1998) et constituent une base solide pour l'établissement de programmes de contrôle individualisés.

■ Effets produits par des méthodes de contrôle différentes

Les résultats obtenus varieront en fonction de la méthode de contrôle retenue et leur interprétation sera à envisager différemment. Le simple exemple de la vérification d'un distancemètre (composant d'un tachéomètre destiné à la mesure de distance) permet d'illustrer les différences pouvant apparaître (tableau 2).

Méthode 1 : une distance inconnue est observée à plusieurs reprises, sans modification de la mise en station, à l'aide du distancemètre faisant l'objet du contrôle. La dispersion résultante

| Distance connue ? | Matérialisation | Résultat de mesure | Affirmation concernant la... possible |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| Non | Aucune | Espérance mathématique & dispersion | Reproductibilité en conditions de répétition |
| Non | Points au sol | Espérance mathématique & dispersion | Reproductibilité en conditions de comparaison |
| Oui | Points au sol | Espérance mathématique & dispersion | Reproductibilité et précision, centrage et influence des conditions ambiantes compris |
| Oui | Piliers avec centrage forcé | Espérance mathématique & dispersion | Reproductibilité et précision, influence des conditions ambiantes comprise |

Tableau 2 : Mesures de comparaison effectuées avec un distancemètre électronique

■ ■ ■ des valeurs mesurées ne permet de tirer de conclusions qu'en ce qui concerne la reproductibilité en cas de répétition, aucune affirmation n'étant possible quant à la précision de l'instrument.

Méthode 2 : une distance inconnue, matérialisée par des points au sol, est observée à intervalles réguliers à l'aide du distancemètre faisant l'objet du contrôle. La dispersion résultante des valeurs mesurées renseigne sur la reproductibilité en cas de comparaison.

Méthode 3 : une distance connue, matérialisée par des points au sol, est observée à l'aide du distancemètre faisant l'objet du contrôle. L'écart entre la valeur moyenne des mesures (espérance mathématique) et la valeur effective de la distance renseigne sur la précision des mesures (centrage et influence des conditions ambiantes compris).

Méthode 4 : une distance connue est observée à l'aide du distancemètre faisant l'objet du contrôle, avec centrage forcé sur des piliers. L'écart entre la valeur moyenne des mesures (espérance mathématique) et la valeur effective de la distance renseigne sur la précision des mesures (influence des conditions ambiantes comprise).

Contact

Prof. Dr. Rudolf STAIGER
 Uni Duisburg-Essen
 FB Vermessungswesen
 Henri-Dunant-Strasse 65
 D-45 131 Essen
 Courriel : rudolf.staiger@uni-essen.de

Bibliographie

BECKER, J.M. (2000) : *The International Technical Developments and their Implications for the Land Surveyor.* Séminaire de la FIG "Mediterranean Surveyors in the new Millennium", Malte, 2000.

BRUNNER, F.K. et WOSCHITZ, H. (2001) : *Kalibrierung von Messsystemen : Grundlagen und Beispiele.* Contribution au 54^e séminaire du DVW "Qualitätsmanagement in der Geodätischen Messtechnik", Konrad Wittwer-Verlag, Stuttgart.

DEUMLICH, F. et STAIGER, R. (2001) : *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik.* 9^e édition, Wichmann-Verlag, Heidelberg.

GOTTWALD, R. (1998) : *Prüfung und Kalibrierung von Vermessungsinstrumenten - Grundsätzliche Überlegungen und Konzepte.* Mesuration, photogrammétrie, génie rural (MPG), pages 409-413.

SCHWARZ, W. (2001) : *Geodätische Laborkalibrierung - Stand der Technik.* Contribution au 54^e séminaire du DVW "Qualitätsmanagement in der Geodätischen Messtechnik", Konrad Wittwer-Verlag, Stuttgart.

STAIGER, R. et HUEP W. (1998) : *Measuring Device Checks and advanced Surveying equipment : A Contribution to Quality Control.* Commission 5 de la FIG, actes du congrès, Brighton, 1998.

STAIGER, R. (2000) : *Calibration Methods for Modern Survey Equipment : A Contribution to Quality Control.* Séminaire de la FIG "Mediterranean Surveyors in the new Millennium", Malte, 2000.

STEMPFHUBER, et MAURER, W. (2001) : *Leistungsmerkmale von zielverfolgenden Tachymetern bei dynamischen Applikationen,* Contribution au 54^e séminaire du DVW "Qualitätsmanagement in der Geodätischen Messtechnik", Konrad Wittwer-Verlag, Stuttgart.

ABSTRACT

Do we still have to check modern surveying equipment like electronic tacheometers, digital levels, GPS receivers or digital cameras? All systems available nowadays on the market provide good performance. This means that the effort needed (time spent, skills required, etc.) to achieve precise results is rather small but does certainly not mean that the measurements made are error-free.

After a brief description of the state of the art, the checking methods of surveying measurement systems and the different aims they follow are discussed before the 4-phase-method proposed by FIG WG 5.1 is explained and recommended. Finally, different checking strategies are exposed.