

Prévention des erreurs en topographie souterraine

Par Thomas Bitterli(†)

Actualisé par Rolf Kummer

Résumé

Les relevés topo de quelques grands réseaux de l'Oberland bernois contenaient un nombre étonnamment élevé d'erreurs, comme l'ont révélé bouclages et retopographies. Erreurs souvent dues à des fautes dans l'utilisation des instruments ou à la Méconnaissance des règles de base de la topographie. Le présent article fait un inventaire des principales causes d'erreur et des règles à respecter pour les prévenir. Il propose ensuite une Méthode pour faire le contrôle régulier des instruments et pour détecter d'éventuels défauts de la vue utilisant l'infrastructure de la HRH au Chromatte.

Introduction

Un mémoire fort complet est paru il y a onze ans dans "Stalactite" sur la fiabilité des très populaires instruments SUUNTO (HOF 1988). L'auteur y arrive à la conclusion que ces instruments maniables et robustes répondent bien aux exigences de la topographie souterraine, tant que l'on respecte certaines règles de base et au prix de contrôles préalables. Depuis lors, que de temps perdu à la recherche des erreurs dans les topos de grands réseaux, en particulier dans le domaine Sieben Hengste-Hohgant! Voilà qui montre bien qu'il n'est pas inutile de rappeler ces règles de temps en temps. Il arrive trop souvent que le spéléologue se fie aveuglément aux indications de précision impressionnantes du fabricant. Les causes de tellement d'erreurs grossières: ignorance, mauvais choix des points topo, erreur de manipulation des instruments, erreur dans la transmission des données, et enfin baisse de concentration due à la fatigue et au manque de motivation.

Le but de cet article est de montrer les nombreux pièges qui guettent une équipe topo, et surtout de donner des indications pour les éviter. Autant que possible j'éviterai d'exposer ici les bases scientifiques, que l'on trouvera dans l'article de HOF (1988). Pour des informations plus détaillées sur les méthodes de relevé, on se référera à GROSSENBACHER (1991). Et quant à la question du dessin d'habillage, au moins aussi importante que celle du cheminement, elle ne sera pas traitée ici. Une dernière remarque préliminaire: le papier est indulgent, et les programmes d'ordinateur le sont (parfois) aussi. Mais même le meilleur programme ne corrige jamais les erreurs; au contraire, il les répercute sur l'ensemble d'une topo. Les possibilités de l'informatique ne dispensent donc pas de l'obéissance aux règles de la topographie. Ajoutons encore qu'une topo erronée est pire qu'aucune, car la recherche des

erreurs est plus laborieuse qu'une retopographie complète.

Remarques générales sur les erreurs de mesure

La topographie souterraine procède par un cheminement fait de visées successives. Il en résulte qu'une erreur de visée se rapporte sur les points topo suivants. Il y a peu de moyens de contrôle, et on les utilise trop rarement pour des questions de temps: contrôles systématiques par visée retour, analyse des erreurs de bouclage et retopographie.

Les erreurs aléatoires ont les conséquences les moins graves, à l'exception des erreurs grossières sur de longues visées. En effet, elles se compensent mutuellement jusqu'à un certain point dans de longs cheminements. En faisant chez soi sans délai et méticuleusement la mise au net du dessin, il semblerait qu'on puisse repérer au moins les erreurs les plus grossières (plus de 30g). Pourtant, l'expérience montre que c'est rarement le cas.

Les erreurs systématiques faussent chaque visée dans la même mesure et donc s'additionnent. Même une faible déviation systématique, de quelques dixièmes de degré, peut produire une erreur de plusieurs dizaines de mètres sur une distance suffisante (voir l'écart de 80m en dénivellation lors de la jonction F1 - Sieben Hengste!). Mais, contrairement aux erreurs aléatoires, les erreurs systématiques peuvent être

corrigées si on connaît la valeur.

Entre deux, il y a une grande gamme d'erreurs plus ou moins aléatoires, qui prennent un caractère systématique selon la direction générale des galeries et les habitudes du topographe. L'erreur étant variable, il est alors impossible de la compenser au moyen d'une simple valeur de correction. Dans le but de donner des recommandations pratiques, nous utiliserons ici un critère de classification différent, d'après les cas cités, les erreurs peuvent être aussi bien systématiques qu'aléatoires.

Le choix des points topo

La méthode la plus utilisée en Suisse consiste à marquer avec du vernis à ongle directement le point d'ou on fait la visée; elle a fait ses preuves depuis des dizaines d'années en matière de reproductibilité et de précision. Elle exige cependant l'observation de quelques règles importantes:

Des visées trop longues (>20 m) sont à éviter, ne serait-ce que pour la fidélité du dessin. En pareil cas, comme de petites erreurs (systématiques ou non) affectent déjà la précision d'ensemble de manière disproportionnée, on devrait être spécialement attentif aux principales causes d'erreur: pas de visibilité barrée par une arête proéminente, point à viser marqué par une source de lumière (il n'est pas suffisant de l'éclairer), position confortable pour la visée, contrôle des mesures, éventuellement aussi par visée

retour. les stations qui ne permettent pas une visée confortable sont l'une des plus grandes causes d'erreur. Souvent on peut l'éviter en choisissant une station intermédiaire.

Il est parfois impossible de placer l'instrument exactement sur le point topo. Dans ce cas, la visée doit être décalée mais faite de manière parfaitement parallèle à la visée théorique. Des erreurs grossières peuvent se produire si la décalage n'est pas marquée au point visé, mais compensé à l'estime par le spéléomètre.

Une méthode souvent utilisée, surtout lors des topos de surface, - visée sur les yeux du coéquipier et non sur de véritables points topo - s'est avérée très imprécise, en particulier parce qu'il s'agit souvent de longues visées. D'ailleurs le marquage au vernis à ongles ne fonctionne pas à l'extérieur (sensibilité à la lumière), et doit être fait à la peinture (par exemple en utilisant des tubes de peinture avec applicateur à bille).

Fig. 1: Boussole SUUNTO



Fig. 1: Boussole SUUNTO avec un cylindre de verre comme dispositif complémentaire de visée. La lumière issue du point à viser apparaît comme une ligne verticale dans le cylindre de verre. Ce dispositif améliore la précision des visées en forte pente, en évitant que la prolongation visuelle du repère de visée s'écarte de la verticale. Les erreurs qui peuvent en découler sont plus importantes qu'on ne le pense, surtout pour des visées en forte pente (plus de 30g). On trouve une description détaillée du système et du montage chez Weissensteiner & Trüssel (1991). Photo M. Trüssel..

Les visées très inclinées (>40g) sont nuisibles à la précision pour deux raisons. D'une part il est alors assez difficile de lire l'azimut et

de tenir en même temps l'instrument horizontal, d'où un blocage fréquent du disque de la boussole. D'autre part l'oeil est facilement trompé

par les structures obliques des parois au moment de prolonger mentalement le repère de la boussole vers le haut ou le bas. On résout ce problème en prolongeant le repère de visée par un fil à plomb (par exemple le clisimètre suspendu à son cordon), ou en munissant la boussole d'un accessoire optique (comme un cylindre de verre, selon WEISSENSTEINER & TRÜSSEL, 1991; voir fig. 1). Il faut éviter dans la mesure du possible les visées trop inclinées et les remplacer par des visées intermédiaires verticales.

Les erreurs sur les points de raccordement causent de graves déformations à un réseau de mesures et posent des problèmes difficiles à résoudre après coup. On en diminue le risque par une réalisation soignée du dessin, et par un marquage et une numérotation systématique des points. En plus du vernis à ongle, discret dans le paysage souterrain, un marquage complémentaire avec de la bande fluorescente s'est montré fort utile. Elle n'est pas trop voyante non plus, mais la lumière qu'elle réfléchit est visible à 10m de distance et les numéros du point peuvent y être notés au feutre indélébile. On peut conseiller aussi les billets de Synthosil annotés, à placer aux stations principales, aux embranchements et aux départs de cheminées.

Influence des objets en fer

Il est bien connu que le fer dévie l'aiguille des boussoles. Malheureusement, il entre largement dans l'équipement du spéléologue, et il n'est pas

toujours possible de le remplacer par du plastique, de l'aluminium ou du laiton. En outre, les fabricants d'équipement ne sont guère incités à prendre en compte les désirs des topographes: ces derniers sont en effet peu nombreux à côté des simples visiteurs de caverne, et beaucoup de spéléologues, même expérimentées, ne sont pas assez conscients de l'importance de cette source d'erreur. Les topos ainsi faussés pourraient atteindre 20 à 30%.

Dans cette situation peu satisfaisante, il ne reste rien d'autre à faire que de remplacer systématiquement les pièces en fer par du laiton dans l'environnement de la boussole. Et c'est justement les éclairages de casque Petzl, si populaires, qui ont comme protection du bec une barrette en acier qui vient se placer à peine 2cm au-dessus de la boussole! Des erreurs en azimut de 10 grades ou plus ont été garanties (mais ne sont mentionnées dans aucune garantie). Par contre, la construction bien étudiée de cette lampe permet de remplacer sans trop de peine presque toutes les pièces en fer. Comme les vis en laiton de dimensions correspondantes ne se trouvent pratiquement que dans le commerce de gros (spécifications, voir fig. 2), Spelemant à Pully offre comme service supplémentaire aux clients la vente au détail de ces pièces de rechange. La SSS-Berne possède un stock qui est à disposition aussi.

Fig. 2:

Fig. 2. Visserie de rechange en laiton pour adapter l'éclairage de casque Petzl (Laser) à la topographie.			
Article	nb.	taill	en remplacement de / fonction
Vis cyl., tête plate	1	M 5/35	goupille d'acier près du bec, fixation du porte-bec.
Vis cyl., tête plate	1	e.M 3/60	fixation du réflecteur (sur la face arrière)
Vis cyl., tête plate	1	M 3/30	axe du piézo
Vis cyl., tête plate	2	M 3,5/6	fixation de la lampe électrique
Contre-écrou	2	M 3	fixation du réflecteur et de l'axe du piézo

Le piézo par contre pose un problème plus compliqué. On peut bien remplacer les ressorts par des élastiques, mais le marteau risque de venir se placer juste au-dessus du compas, suivant comment le montage a été fait. Les erreurs qui en découlent, jusqu'à 5 grades, prennent un caractère systématique si la direction de la galerie est constante. Elles sont toutefois trop variables et aléatoires pour pouvoir être compensées après coup par ne valeur de correction. Comme le piézo est installé le plus souvent à droite du bec, viser avec l'oeil gauche apporte déjà une amélioration substantielle. En outre, il faut veiller lors du montage à installer le piézo aussi haut que possible, pour éloigner au maximum le marteau de la boussole. Personnellement, j'ajouterais que l'on peut aussi installer le piézo de manière à pouvoir le démonter avant la séance topo; peut-être qu'un esprit ingénieux trouvera une solution simple à réaliser.

En cas de doute sur l'influence magnétique de son casque, il faudrait l'ôter et le tenir à distance avant chaque visée. Une manoeuvre pour laquelle chaque station topo n'offre pas forcément toutes les commodités.

Les autres pièces en acier, certaines plutôt massives, sont normalement suffisamment loin de la boussole pour qu'on puisse en principe exclure un effet important. Pourtant, on l'oublie facilement, ces objets aussi peuvent s'en approcher dangereusement: par exemple en poussant le générateur à acétylène devant soi dans une étroiture (surtout si on le porte à une cordelette passée autour du cou), en effectuant une visée à la corde qui risque d'amener la poignée à deux doigts de la boussole, ou en topographiant avec un sac plein de quincaillerie sur le dos (attention au générateur à acétylène lors des topos de surface!). Il y a encore d'autres causes de perturbation

magnétiques; ne mentionnons que la lampe électrique d'appoint pour la lecture de la boussole et certaines montures de lunettes. Enfin, lors des topos de surface, les spéléologues tombent régulièrement près de piquets en fer et de fils de fer barbelés.

Utilisation des instruments

Les visées exigent toujours beaucoup de concentration (mauvais éclairage, mauvaise position de lecture, saleté, blocage du disque de la boussole, échelle inversée, etc.), et donc un entraînement en conséquence. Dans les cours topo, on constate régulièrement que des mesures faites par des débutants ou des gens peu entraînés peuvent présenter des taux d'erreur très élevés (jusqu'à 50% des mesures !). Les topographes expérimentés ne sont pas non plus vaccinés contre toutes les possibilités d'erreur: la fatigue et le manque de motivation contribuent beaucoup à amoindrir la précision des mesures (lecture trop rapide, pas de vérification, erreur sur le point à viser, et.). On observe souvent que la fiabilité des mesures ne diminue pas de manière progressive lors des longues séances topo, mais qu'elle tombe brusquement à partir d'un certain état de fatigue. La difficulté consiste à reconnaître le bon moment pour arrêter la séance.

Un bon conseil est de faire les lectures en maintenant un oeil fermé. D'une part l'oeil se fatigue moins vite, et d'autre

part les défauts de la vue du topographe, qui sont assez fréquents, prennent moins d'importance (surtout lorsque la fatigue se fait sentir et que la concentration faiblit).

Il est important que l'Instrument soit tenu droit, et il faut s'y exercer en situation inconfortable. Il suffit que le boîtier de la boussole ne soit pas bien horizontal, donc parallèle au disque mobile, pour que celui-ci se bloque. L'erreur peut atteindre facilement 30g et plus. En absence de niveau à bulle, il faut vérifier avant chaque lecture que le disque tourne librement. La mesure de l'azimut est d'autant plus délicate que la visée est inclinée. Une lecture trop rapide peut aussi conduire à des erreurs, puisque la stabilisation du disque n'est pas instantanée.

Le clisimètre ne se bloque normalement pas lorsqu'il est de travers. Il faut malgré tout le tenir aussi vertical que possible, sinon il produit une erreur systématique qui peut atteindre un bon degré (pour les explications théoriques, voir HOF, 1988). S'agissant d'une surestimation systématique de la pente, cela conduit à une exagération de la profondeur de la caverne. Le meilleur exemple en est donné par la liaison du F1 avec le réseau des Sieben Hengste: l'erreur de 80m en dénivellation correspond à une erreur moyenne sur la pente de moins de 1%!

La lecture des instruments (lecture des chiffres et

décompte des subdivisions) est une source permanente d'erreurs même à la lumière du jour, donc d'autant plus avec un éclairage médiocre et en position inconfortable. On dispose de plusieurs moyens pour améliorer la lisibilité en mauvaise lumière: usage d'instruments ayant des marques fluorescentes au tritium ou un éclairage

incorporé, lampe de poche d'appoint (mais attention à un risque sérieux de déviation de la boussole par les piles !) ou encore utilisation de la paume de la main comme réflecteur improvisé. Enfin, les débutants surtout commettent régulièrement des erreurs en lisant la mauvaise échelle.

Fig. 3. Lecture des instruments

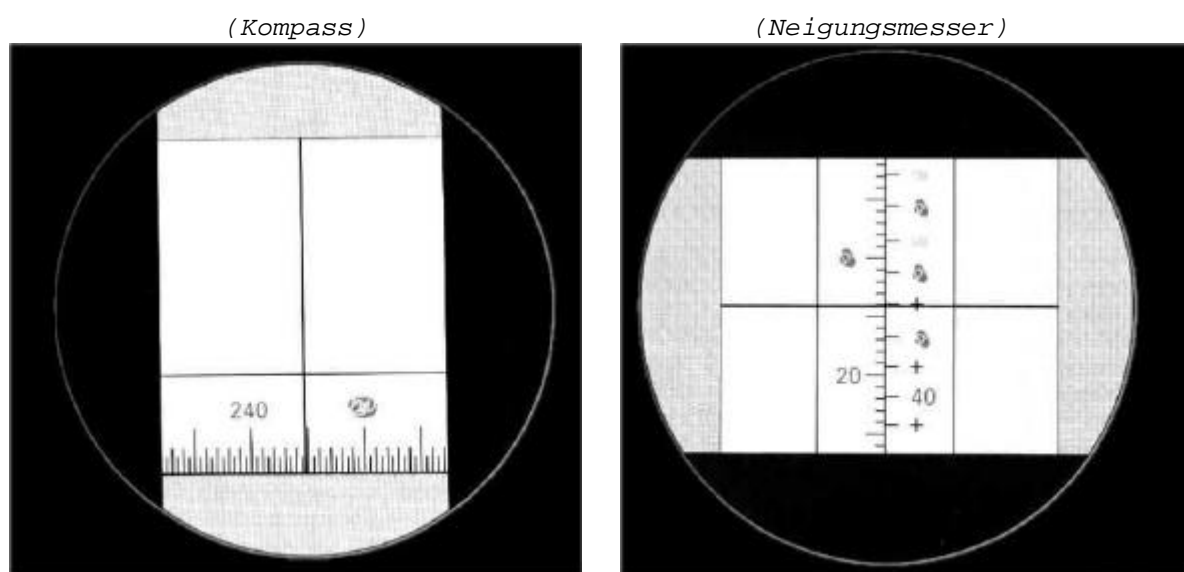


Fig. 3: En mauvaise lumière et en position inaccoutumée, on risque de commettre des erreurs d'extrapolation lors de la lecture des instruments. Généralement l'échelle est plus ou moins visible, mais les chiffres par contre ne le sont plus toujours. On doit alors faire le décompte des divisions depuis le dernier chiffre lisible. L'image de gauche représente typiquement ce qu'on peut voir dans un clisimètre (échelle de gauche en degrés) et celle de droite dans une boussole. A quelles valeurs de la pente et de l'azimut cela correspond-il?

Réponse à la fin de l'article.

La lecture des nombres par extrapolation sur une échelle inversée est également une cause d'erreur fréquente, aussi bien sur la boussole que le clisimètre (voir fig. 3). Même s'il ne s'agit pas d'erreurs systématiques, une différence de 10g (par exemple 75g à la place de 85g) produit déjà un erreur de 3.8m sur une visée de

20m. Les expériences faites lors des cours pour débutants montrent à quel point la lecture sur une échelle de droite à gauche ou de haut en bas est déroutante: le taux d'erreur est voisin de 50%! Beaucoup de spéléologues expérimentés même ne sont pas conscients de cette source d'erreur, dont l'importance

croit avec la fatigue. Le risque de confusion est particulièrement élevé entre des valeurs de la pente faiblement négatives et positives.

Transmission des données

Habituellement, ce n'est pas le spéléomètre qui note les mesures, mais plutôt l'équipier chargé du dessin, à qui revient aussi l'estimation des largeurs et des hauteurs. Les données devant être transmises, cela implique un risque important d'erreurs dues à toutes sortes de causes d'incompréhension: couverture glaiseuse qui absorbe le son, bruits d'eau, risque de confusion entre les nombres, diversité des oublier les erreurs dues à l'inversion des chiffres, par exemple 76 à la place de 67 (Note vengeresse du traducteur francophone: si c'est un germanophone qui le dit!). Par expérience, on constate jusqu'à 10% d'erreur de transmission en cas de fatigue et de concentration faiblissante. Pour cette raison, il faut:

- transmettre les valeurs distinctement et à haute voix;
- que le dessinateur note sans délai les valeurs et les répète;
- que le spéléomètre contrôle et quittance les valeurs répétées.

Une source d'erreur dangereuse est la conversion des visées retour. Les instruments gradués en 400 divisions offrent à cet égard une sécurité sensiblement plus grande. Par principe, on doit avoir convenu et noté,

avant de commencer les mesures, qui effectue les conversions (risque de double conversion) et l'échelle utilisée, en degrés ou en grades (pour les clisimètres, il y a même encore une échelle en pour cents !). Nous conseillons de toujours transmettre les données brutes, et de marquer spécialement sur la feuille topo quelles sont les valeurs converties (cela peut être important pour d'éventuelles corrections ultérieures). Pour éviter les erreurs d'interprétation, il est également préférable de ne pas arrondir inutilement les distances à 5 ou même 10 cm près.

Il y a risque d'erreur aussi au moment de noter les données. Trop souvent on donne la priorité au dessin, et pour avoir négligé de noter tout de suite une valeur isolée, il faut la retrouver dans sa mémoire quelques visées plus tard. Parfois les chiffres sont à ce point illisibles qu'il faut s'aider d'une pièce de monnaie et jouer à pile ou face pour les relire à la maison. Trop souvent aussi le dessinateur néglige le premier commandement: garder les mains propres!

Soin des instruments

Les instruments SUUNTO donnent une impression de grande robustesse qui trompe sur la fragilité de leurs organes. En réalité, ces instruments sont assez sensibles à l'humidité, à la saleté et aux coups. Généralement, aucun indice n'attire la méfiance du topographe sur le comportement fautif d'un instrument, qui

peut donner régulièrement pendant des années des valeurs erronées. Seul un étalonnage régulier permet de détecter de telles erreurs.

Ces instruments ne sont pas du tout étanches et ne doivent jamais être mis directement dans l'eau. En outre, une immersion fait pénétrer de fines particules de saleté. Pour nettoyer les instruments, il ne faut par principe utiliser qu'un chiffon humide. Il semblerait évident de maintenir des instruments de ce prix aussi propres que possible, donc les porter sous la combi, ôter les deux gants pour faire la visée et garder les mains propres. Le port d'une combinaison néoprène impose des précautions particulières; à cause de l'humidité, la condensation formée à l'intérieur de l'instrument a déjà plus d'une fois rendu toute visée impossible.

On peut améliorer l'étanchéité des instruments soit en remplaçant le joint caoutchouc par un joint plus épais, soit en bourrant une pâte d'étanchéité dans l'interstice autour de la capsule; cette dernière solution a toutefois le désavantage de gêner la lecture en diminuant l'entrée de lumière. Il est possible d'ouvrir l'instrument pour nettoyage, mais l'opération est très délicate et nécessite un étalonnage ultérieur.

Les chocs peuvent déformer l'ace ou le mettre de biais. On risque alors une erreur systématique, ou bien des frottements qui empêchent le

disque d'osciller librement (le disque croche). Contrairement à l'opinion généralement répandue, il n'y a pas besoin de chocs importants pour produire de tels dégâts; les chocs répétés entre des instruments portés autour du cou suffisent amplement. Le plus souvent, les dégâts surviennent à des instruments qui n'ont pas été rangés dans leur étui ou sous la combi entre deux visées; attention aux topos de surface! On peut fixer les deux instruments l'un sur l'autre; parmi d'autres avantages, cette mesure a celui de réduire fortement le risque de chocs. Le problème dans ces dégâts accidentels ne tient pas tant aux indications erronées données par l'instrument qu'à la détection du défaut. Seuls remèdes: traitement soigneux des instruments, contrôles et étalonnages réguliers.

Les bulles d'air peuvent gêner considérablement la libre oscillation du disque. Si elles ne viennent pas que des variations de la pression atmosphérique (changements d'altitude), elles trahissent le vieillissement de l'instrument. Il est possible de refaire le remplissage avec du pétrole pur, mais c'est très délicat et ne prolonge en général la durée de vie de l'instrument que de quelques mois.

Si le décamètre ne pose pas de problème d'entretien, il faut quand même veiller à ce que les chiffres restent bien lisibles. Cela concerne surtout le point zéro: un rivet élimine toute hésitation. Il est vivement déconseillé de raccourcir la

bande; les erreurs de conversion qui en résultent sont bien plus fréquentes qu'on ne le pense, même pour un raccourcissement de 10m juste. On trouve d'ailleurs du ruban de rechange dans le commerce de détail, sensiblement meilleur marché que l'instrument complet.

Erreurs instrumentales et défauts de la vue

Malgré la garantie, on n'a aucune assurance à l'achat que l'instrument soit exact. Des déviations systématiques de 2g ne sont pas rares, produisant des dizaines de mètres d'erreur sur de longs cheminements. A cela s'ajoutent ensuite les déviations dues aux déformations accidentelles de l'axe. De telles erreurs peuvent être en partie compensées par soustraction

d'une valeur de correction spécifique à l'instrument, la constante instrumentale. la difficulté est alors de déterminer cette valeur, et surtout de savoir quand apparaît une déviation supplémentaire. Le seul moyen de déterminer la constante instrumentale est un étalonnage à intervalles réguliers. L'HRH dispose d'une infrastructure qui permet de déterminer:

1. le degré de reproductibilité; puis, si elle est assurée,
2. la déviation de l'instrument par rapport au nord magnétique (ou par rapport à l'horizontale pour un clisimètre), et
3. la déviation par rapport au nord magnétique (ou par rapport à l'horizontale) due à un défaut de la vue.

Fig. 5: tests de boussoles

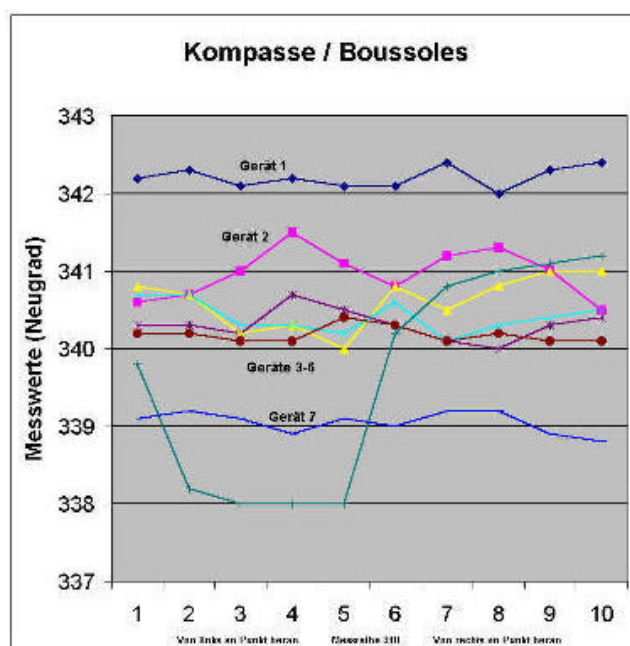


Fig.5: Résultat des tests de boussoles SUUNTO. Sur l'échelle verticale sont reportées les valeurs lues en visant un point fixe, et sur l'échelle horizontale les dix mesures successives obtenues avec chaque instrument. Les cinq premières visées ont été faites en arrivant sur le point à viser depuis la gauche, et les

cing dernières depuis la droite. Les instruments 3 à 6 ont donné des valeurs dans un intervalle de 0.5g et peuvent donc être considérés comme bons à suffisants. On peut supposer, même sans étalonnage, que la valeur exacte doit se trouver dans cet intervalle. Par comparaison l'instrument 1 montre une déviation de presque +2g, que l'on peut corriger sans autre grâce à son excellente reproductibilité (intervalle de 0.3g). Il en est de même de l'instrument 7 avec une déviation d'environ -1g. Quand à l'instrument 2, il montre une déviation de 1g qui est déjà inférieure à la dispersion des mesures. Enfin l'instrument 8, avec des valeurs comprises dans un intervalle de 3g, ne devrait plus être utilisé; le saut entre la première et la deuxième série de mesures suggère que son axe est faussé, empêchant la libre rotation du disque.

Fig.6: tests des clisimètres

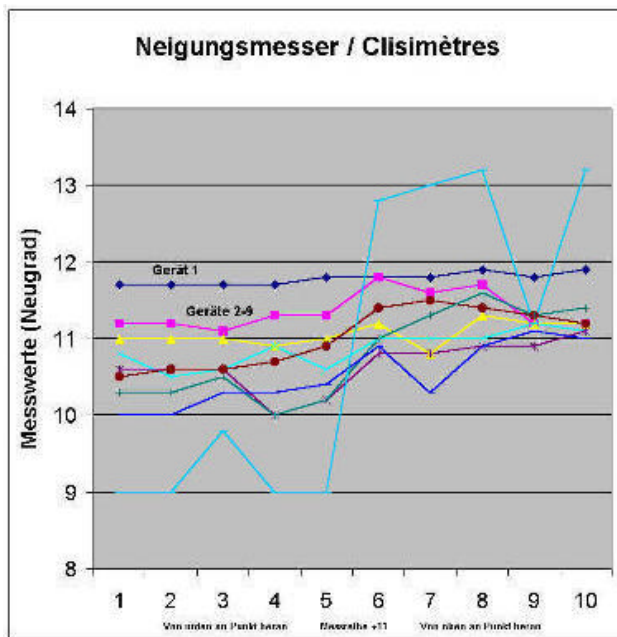


Fig 6.: Résultat des tests réalisés avec des clisimètres SUUNTO. Diagramme présenté comme celui de la fig. 5; les cinq premières lectures ont été faites en arrivant sur le point à viser par le bas, et les cinq dernières en arrivant par le haut. On constate d'une manière générale une moins bonne reproductibilité qu'avec les boussoles. De plus, on constate avec presque tous les instruments une différence sensible entre les cinq premières mesures et les cinq dernières; la plupart des instruments donnent en moyenne une mesure plus élevée de 0.5g lorsqu'on arrive sur le point à viser depuis le haut. Cela peut tout à fait produire une erreur systématique suivant les habitudes du spéléomètre. La valeur exacte devrait se trouver dans la gamme des valeurs données par les instruments 2 à 8, qui est large de plus de 1g.

L'instrument 1 montre une excellente reproductibilité, mais ses mesures doivent être corrigées par soustraction d'une constante instrumentale. Quand à l'instrument 9, de nouveau, son axe faussé gêne la rotation du disque; il faut le retirer du service.

Par contre, les erreurs dues à une excentricité de l'axe (déviations variable suivant l'azimut ou l'inclinaison) sont généralement plus difficiles à repérer et risquent de passer inaperçues. Surtout, déterminer

les valeurs de correction est une opération très laborieuse.

Le théodolite ne fait pas partie de l'équipement de base du spéléologue et l'étalonnage réciproque de plusieurs sets

d'instruments est un long travail. Il n'y a donc actuellement qu'un faible pourcentage d'instruments et de paires d'yeux qui soient régulièrement testés. L'étalonnage par visée sur des repères naturels est long à réaliser et demande un nombre conséquent de visées pour être suffisamment précis.

En se basant sur les tests réalisés dans le cadre de l'HRH, on a défini les gradations de précision suivantes:

- Variations jusqu'à 0.3g excellent (instruments 1 et 7 de la fig. 5, instrument 1 de la fig. 6);
- Variations jusqu'à 0.5g bon.
- Variations jusqu'à 1g moyen à médiocre (instrument 2 de la fig. 5).
- Variations supérieures à 1g inutilisable (instrument 8 de la fig. 5, instrument 9 de la fig. 6).

La correction par soustraction d'une constante instrumentale n'a un sens que pour les deux premières catégories. En effet, pour les plus mauvais instruments, l'incertitude de mesure dépasse une éventuelle valeur de correction. De tels instruments ne sont utilisables que pour la topographie de petites grottes, et en aucun cas pour des topographies de surface.

La comparaison entre les instruments permet déjà de se faire une idée de leurs déviations effectives (absolues). La proportion des instruments qui ont une reproductibilité bonne à excellente, mais qui présentent une déviation systématique de 1 à 2g (en plus ou en moins), est d'environ 10 à 20% (voir instrument 5 de la fig. 5 et instrument 1 de la fig. 6). Pour la détermination des constantes instrumentales, il faut mettre de côté un instrument de référence qui offre une excellente reproductibilité et dont on connaisse la déviation systématique. On peut ainsi attribuer des valeurs absolues de pente ou d'azimut aux repères de référence arbitrairement choisis. En cas d'étalonnages effectués sur plusieurs années, il ne faut pas oublier de tenir compte de la variation de la déclinaison magnétique. La même méthode peut aussi être utilisée pour corriger l'effet d'éventuels défauts de la vue, en faisant effectuer des visées avec le même instrument (si possible étalonné) à plusieurs personnes. On détermine ainsi une deuxième valeur de correction, qui est spécifique à l'oeil du topographe.

Pour que la détermination de la constante instrumentale ait un sens, il faut bien sûr que l'instrument reçoive un marquage durable (à moins d'utiliser le numéro de série gravé). A chaque séance topo, il faut noter l'identification des instruments (Même encore non étalonnés) et le nom du spéléomètre (à cause d'un

éventuel défaut de la vue). Malheureusement, il y a beaucoup trop d'anciens relevés dont les erreurs ne peuvent plus être corrigées, les feuilles topo ne portant aucune indication des instruments utilisés. Il arrive d'ailleurs trop souvent que des instruments retirés du service finissent à la poubelle sans qu'aucune mesure de contrôle n'ait été faite.

Bouclages, visées retour et retopographie

La règle qui est de fermer autant de boucles que possible est valable de toute façon, mais il ne faudrait pas surestimer les possibilités de la compensation des erreurs. Les bouclages ne peuvent que stabiliser un réseau de mesures, et encore à la condition qu'il n'y ait que des erreurs non systématiques bien réparties. C'est rarement le cas lorsqu'une boucle ne comporte que peu de visées. Une véritable recherche d'erreur prend énormément de temps, plus qu'il n'en faut normalement pour refaire toutes les mesures. Cette analyse est très difficile, et elle conduit à de fausses déductions en particulier dans les cas suivants:

- Déviation systématique de la boussole. Elle produit simplement une rotation d'un ensemble de visés, et n'a ainsi qu'une faible influence sur l'erreur de bouclage.
- Grosse erreur isolée. Comme l'erreur de bouclage est la somme des erreurs de toutes les visées, il est hautement improbable

de parvenir à localiser l'unique grosse erreur. Il ne faut pas fermer la boucle en tel cas, car l'erreur va alors être répartie entre toutes les visées, ce qui ne va pas stabiliser le réseau, mais au contraire le déformer.

- Erreur sur le point de raccordement.

Par principe on peut conseiller, dans un premier temps, de ne refermer les boucles (par compensation de l'erreur) que si l'erreur globale s'avère faible. Dans le cas contraire, il ne reste plus qu'à tenter de localiser la (ou les) grosses erreurs grâce à un travail à domicile qui est long et minutieux, par exemple par comparaison avec les dessins faits dans la caverne, en s'appuyant sur la structure géologique, etc. Ce n'est qu'ensuite, après essai de correction, qu'on peut refermer les boucles. Il va de soi que les visées ainsi corrigées vont devoir être vérifiées dans la grotte.

Le principal désavantage de la méthode de contrôle par bouclage est qu'il faut attendre d'être à domicile pour connaître l'importance de l'erreur. Or le seul moyen de corriger une unique grosse erreur est souvent de refaire la topo de toute boucle. Il est donc préférable d'effectuer un contrôle par visée retour. Chaque visée peut ainsi être vérifiée sur-le-champ et, en cas de différence significative, on peut refaire la mesure. Cette manière de procéder ne ralentit guère le relevé si l'on a deux sets

d'instruments à disposition, puisque le dessin, indépendamment des visées, prend de toute façon le plus de temps.

En définitive, une retopographie est toujours une capitulation devant la difficulté d'interpréter les mesures et les dessins existants. Il est vrai que ce travail est frustrant, mais demande la plupart du temps moins d'effort que l'interprétation de données manquantes, incomplètes et erronées. Pour prévenir une troisième (si ce n'est une quatrième) retopographie, il faut donner une priorité absolue à la qualité du relevé et du dessin. Concrètement, cela implique:

- Pas de retopographie sans refaire en même temps le dessin d'habillage (à moins que le dessin existant ne satisfasse les exigences actuelles).
- Chercher aussi souvent que possible à se raccorder avec d'anciennes topos.
- En effet, le nouveau relevé aussi peut comporter des erreurs, et en plus c'est nécessaire pour intégrer les dessins existants et pour raccorder les galeries secondaires.
- Et surtout: préférer l'exactitude à la rapidité.

En résumé

Le présent article expose une série d' "évidences" qu'un utilisateur d'instruments de topographie peut retenir sans problème avec un peu d'aide en une seule séance topo. Mais l'expérience nous force à constater qu'elles sont loin d'être toujours si évidentes, et qu'il est bon de les rappeler. Sous forme de texte, l'énumération des principales causes d'erreur et de leurs contre-mesures serait terriblement longue et rebutante. Aussi les présenterons-nous sous forme d'une table où les principales causes d'erreur sont signalées.

Remerciements

Cet article se base sur l'expérience acquise au cours de nombreuses séances de topographie et de frustrantes retopographies. Je dois des remerciements à ceux qui ont relu le manuscrit, y ont apporté leurs critiques toujours constructives ou des compléments: M. Trüssel, P.-Y. Jeannin, A. Wildberger, Y. Weidmann, A. Hof et Ph. Häuselmann. C. Brandt, a consacré d'innombrables heures pour le travail difficile de traduction, a amélioré quelques passages douteux. Je dois aussi remercier B. et A. Dudan, qui ont été prêts à fournir des pièces de rechange non magnétiques pour les éclairages de casque.

Literature Citée

- GROSSENBACHER, Y. (1991): Topographie souterraine. Höhlenvermessung - Cours SSS No 4.
- HOF, A. (1988): Instruments de topographie souterraine et fiabilité. Vermessungsgeräte und ihre Zuverlässigkeit. - Stalactite 38 (1/2): 47-59.
- WEISSENSTEINER, V. & TRÜSSEL, Cl. (1991): Ein nützliches Visiersystem für den Kompass. Un dispositif de visée très pratique pour les boussoles. - Stalactite 41 (1): 32-34.

Cet article fut publié aus Stalactite, l'organe de la Société suisse de spéléologie:

- BITTERLI, T. (1995): Fehlervermeidung bei der Höhlenvermessung. Prévention des erreurs en topographie souterraine - Stalactite 45 (1): 2-17.

>> La mesure de la pente représentée dans la Fig. 3 est +14g (attention: il y existent aussi des instruments avec échelle inversée), et l'azimut est 235g. En lisant un azimut de 245g, on aurait eu une erreur de presque 4m sur une visée de 20m!

	SOURCE D'ERREUR	PREVENTION, REMEDE
	Points topo	
	Longues visées	Points intermédiaires. Mesures de contrôle et visées retour. Source de lumière au point à viser.
	Visées inconfortables	Points intermédiaires.
	Visée décalée	Décalage aussi réduit que possible; faire marquer le décalage au point à viser. / Choisir un point différent !
☞	Visée d"oeil à oeil"	Visées sur des points topo marqués.
☞	Visées en forte pente	Remplacer par des visées verticales. Prolonger le repère de visée par le clisimètre suspendu à son cordon ou par un accessoire optique ; faire les visées en montée (le repère est plus long).
☞	Erreurs de raccordement	Qualité du dessin, marquage systématique des points avec du vernis à ongle et de la bande fluorescente, billets de Synthosil annotées aux embranchements et au départ des cheminées.
	Influences magnétiques	
☞	Casque	Remplacer la visserie en fer par du laiton et les ressorts par des élastiques; montage du piézo aussi loin que possible des instruments ou amovible.
	Générateur à acétylène Métallique	Faire attention dans les étroitures, surtout si on porte le générateur suspendu à une cordelette.
	Petite lampe d'appoint	Test préalable de l'effet sur la boussole. La remplacer éventuellement par une plaquette d'acier inox comme réflecteur.
	Monture des lunettes	Test préalable de l'effet sur la boussole.
	Equipement pour les verticales	Réaliser la topo plutôt à la descente.
	Matériel dans un kit (sur le dos ou poussé devant soi)	Attention aux objets en fer; déposer le kit ou l'éloigner pour les mesures.
	Topo de surface	Attention aux piquets en fer et aux fils de fer barbelé.
	Utilisation des instruments	
☞	Fatigue, perte de concentration et de motivation	Arrêt de la séance au bon moment (variable d'une personne à l'autre), rotation entre les équipiers, contrôles par visée retour.
☞	Manque d'expérience	Suivre un cours d'introduction; s'exercer dans de petites grottes.
	Position de l'instrument	Tenir la boussole bien horizontale, et le clisimètre bien vertical.
	Le disque de la boussole se bloque	Lors de chaque mesure, vérifier que le disque tourne librement, puis attendre que les oscillations soient entièrement amorties.
	Chiffres difficiles à lire	Echelle fluorescente au tritium, éclairage incorporé, ou lampe de poche (attention à l'influence magnétique des piles). Eviter les ombres gênantes portées par l'éclairage du casque. Eclairage acétylène en bon état de fonctionnement. Utiliser la paume de la main ou une plaquette métallique comme réflecteur.
	Lecture de la mauvaise échelle	S'assurer au préalable de lire la bonne échelle.
☞	Echelle inversée	Etre conscient du risque. Contrôle systématique des valeurs marquées supérieure et inférieure.
	Transmission des données	
☞	Incompréhension	Parler à voix haute et claire. Le spéléographe répète les nombres en les notant et le spéléomètre les quitte. Visées retour de contrôle.
	Confusion entre pente et azimut	Faire toujours précéder les valeurs de la pente de l'indication "plus" ou "moins".

	Inversion des chiffres	Etre conscient du risque. Répéter et quittancer.
☞	Visée faite dans le sens retour	Accord préalable sur la conversion des mesures: marquer les mesures concernées sur la feuille topo.
	Choix des unités de mesure	En convenir et le noter préalablement.
	Arrondir les longueurs	Inutile; prendre les mesures au centimètre.
	Noter après coup	A éviter.
☞	Notes difficiles à déchiffrer	Prendre son temps pour le dessin et la notation des mesures; garder les mains propres.
	Soin des instruments	
☞	Lecture difficile à cause de la saleté	Garder les instruments propres; ôter les gants pour les visées, porter les instruments sous la combi (si la fermeture éclair fonctionne). Ne jamais laver les instruments dans l'eau.
	Condensation	Attention au port de vêtements néoprène mouillées, et laisser sécher les instruments après usage.
☞	Axe faussé par des chocs	Eviter que les instruments ne s'entrechoquent; les porter sous la combi, le pull-over ou dans leur étui. Les fixer ensemble. Contrôles réguliers.
	Bulles d'air	Contrôler si le disque tourne librement. Eventuellement compléter le remplissage avec du pétrole, ou remplacer l'instrument.
	Raccourcir le ruban du décamètre	A éviter (erreurs de conversion). Remplacer le ruban.
	Erreurs instrumentales et défauts de la vue	
☞	mauvaise reproductibilité	Contrôles réguliers. Remplacer un instrument dégradé ou ne l'utiliser que dans de petites grottes.
☞	Déviations systématiques	Déterminer la constante instrumentale, marquer l'instrument et l'identifier sur la feuille topo.
☞	Erreur systématique due à un défaut de la vue	Déterminer la valeur de correction spécifique; noter le nom du spélemètre sur la feuille topo.

Beaucoup de ces erreurs passent inaperçues, car on dispose rarement d'une deuxième topo pour la comparaison. Au vu de toutes les causes d'erreur, nous aimerions recommander de faire des contrôles systématiques par visée retour au moins pour les cheminements principaux. C'est la seule façon de pouvoir reconnaître et corriger une erreur sur place et sur le champ.