Équipement en vire au-dessus d'une marmite de géant, que nous laissons bien souvent en place de nombreuses années par commodité...
SERGE CAILLAULT

Cordes et long séjour sous terre

L'insouciance française...

Dans la première partie de cet article [1], j'ai tenté de faire "parler" les données d'un article très intéressant paru dans la revue italienne *Spéléo CENS* sous la plume de Francesco Salvadori. Il n'aura échappé à personne que les tests transalpins ont été conduits avec de la corde de 10,5 mm, un diamètre encore fort répandu en Italie, alors que les clubs français en sont déjà à passer du 10 au 9 mm.

Et ces derniers ont raison : le gain en poids et en maniabilité ne se traduit pas par une perte au plan de la sécurité, à condition d'avoir la technicité suffisante en matière d'équipement. C'est le cas en France, en premier lieu grâce à la bonne parole prêchée inlassablement par l'École française de Spéléologie depuis vingt ans.

Ce bon niveau de technicité fait notre réputation parmi nos collègues étrangers. Mais cette "médaille" qu'on nous décerne a un revers : trop d'entre nous considèrent les cordes comme un matériel d'une telle fiabilité qu'il peut tout supporter : équipements fixes de longue durée, baisse résolue du diamètre. C'est ainsi que la FFS a tenté de faire obtenir un marquage CE aux cordes de 8 mm. Une position courageuse lorsqu'elle est comparée au "parapluie italien", mais cependant trop téméraire si on la rapporte à la pratique de la moyenne des spéléos. D'ailleurs, après des avancées prometteuses auprès des cordiers et des laboratoires français, cette démarche s'est heurtée au niveau européen à un "niet" de la profession, laquelle, je crois, a eu raison de calmer le jeu. Non, les cordes ne sont pas un matériel banal, taillable et corvéable à merci, et à qui l'on pourrait tout demander, y compris de "tenir" partout et en toutes circonstances. Il y a quand même quelques garde-fous à respecter.

Rupture brutale

A ce propos survient parfois sous terre un événement qui fait réfléchir... même les spéléos français! Dommage qu'ils l'oublient si vite ensuite!

Se souvient-on du malheureux accident survenu en décembre 1999 dans la grotte Chevaline? Il ne semble pas qu'on en ait tiré tous les enseignements. Cet accident concernait un spéléologue de l'Isère, victime d'une chute de dix mètres (dont il se tirait par miracle avec "seulement" quelques fractures), alors qu'il remontait aux bloqueurs sous terre une corde de montagne dont ce n'était que la troisième utilisation, mais qui avait séjourné sept ans dans le réseau...

Cette corde dynamique de diamètre 8,5 mm avait été posée ce jour-là pour équiper un puits en première, après épuisement des cordes statiques apportées par l'équipe. Que signifiait sa rupture au passage du second équipier, en pleine corde, et en l'absence de tout frottement et de tout choc? S'agissait-il d'un cas d'espèce isolé? Certes, on a bien rapporté quelques cas de rupture brutale de corde sous terre, mais ils sont mal documentés, et leur caractère exceptionnel a empêché pour l'instant leur mise en perspective [2].

Ou bien les cordes vieillissent-elles sous terre davantage qu'on ne l'avait cru? Nombreux sont encore ceux qui croient avoir entendu qu'une corde laissée en fixe dans un réseau conserve ses caractéristiques d'origine... Ce n'est hélas qu'une légende : seules les cordes neuves stockées sous atmosphère contrôlée sont dans ce cas!

L'étude en laboratoire de la corde rompue n'a rien révélé d'extraordinaire. L'analyse chimique montre une composition normale : 100% de polyamide, il n'y a donc pas eu d'erreur de nature de fibre lors de la fabrication.

L'allongement à la rupture est classique également. Toutefois, la résistance rupture est réduite à seulement 407 daN, contre 1530 pour la même corde neuve. Une corde statique 10,5 mm récupérée ailleurs dans le même réseau, sensiblement du même âge et ayant stationné sous terre pendant la même durée, a également été testée. Elle donne 1044 daN de résistance résiduelle à la rupture, pour 2960 daN de valeur de départ, corde neuve. L'affaiblissement est de 73% dans le premier cas, 65% dans l'autre, et la corde dynamique ne s'est donc pas comportée bien différemment de la statique. Simplement, cette dernière disposait d'une résistance de départ deux fois plus élevée que la corde dynamique, elle a donc tenu quand l'autre a cassé.

Rien de bien décoiffant dans cette découverte : une dynamique 8,5 mm est une corde homologuée et testée à double, alors qu'elle a été utilisée, lors de l'accident, à simple. Dans de telles conditions, elle n'est finalement pas si loin d'une cordelette statique de type L (les statiques 8 mm en font partie), avec le facteur de risque supplémentaire du grand âge! Il est compréhensible qu'elle se soit rompue, même en l'absence de choc, et même en pleine corde. La responsabilité du fabricant ne saurait donc être mise en cause sérieusement, malgré ce qu'on a pu lire ici où là.

Tout ceci ne nous éclaire pourtant pas sur la raison qui a affaibli, dans une proportion si importante, la résistance des deux cordes, la statique comme la dynamique. Ceci amène deux questions, auxquelles je vais tenter d'apporter des réponses, en précisant d'emblée que nous entrons maintenant dans le domaine des hypothèses. Leur intérêt est de tenter de dégager dès maintenant des règles de conduite préventives, sans attendre les conclusions attestées qui manquent pour l'instant.

Gaine et âme

On constate d'abord que la gaine de la corde dynamique rompue se comporte normalement, alors que ses câblettes d'âme s'avèrent cassantes au simple toucher. On les réduit en poudre en les frottant entre le pouce et l'index! Or, l'âme de la corde statique de Chevaline (et celle des autres statiques étudiées) a certes jauni plus ou moins fortement avec le temps, mais elle ne présente pas une dégradation aussi remarquable. Pourtant, dans le cas des deux cordes, l'âme et la gaine sont toutes deux réalisées avec le même polyamide... Alors, pourquoi cette différence de comportement entre les âmes?

En premier lieu parce que l'âme d'une corde dynamique subit un traitement complémentaire de rétractation à chaud, destiné à lui apporter davantage d'élasticité. Elle peut donc vieillir différemment de la gaine, et différemment de l'âme des cordes statiques, qui ne subissent pas ce traitement, puisqu'on combat au contraire leur élasticité (ceci explique également qu'elles sont moins chères à l'achat que les dynamiques).

Ensuite, considérons bien que les fils de la gaine d'une corde travaillent beaucoup moins que ceux de l'âme : ils sont tressés en large hélice, alors que les fibres de l'âme constituent des câblettes bien plus rectilignes. Les cordiers considèrent d'ailleurs que lors d'un choc, 92% de l'énergie est encaissée par l'âme, contre 8% seulement par la gaine, qui constitue pourtant 40% de la matière de la corde! Cette différence de comportement se constate aussi (mais sans doute de manière moins tranchée), lors d'une simple traction. Cette sollicitation très supérieure de l'âme est de nature à creuser les écarts de comportement entre âme et gaine, au fur et à mesure des agressions qu'une corde subit au cours de sa vie.

C'est d'ailleurs pour cela qu'il ne faut tolérer aucune atteinte, aucune blessure, à l'âme d'une corde : c'est elle qui "fait" la résistance de la corde. Le rôle protecteur de la gaine est d'ailleurs gravé dans le marbre de la norme : elle doit atteindre un pourcentage minimum de la masse de la corde, et ce pourcentage doit être de plus en plus grand lorsque le diamètre décroît : 39,5% pour une 9 mm, mais déjà 41,1% pour une 8,6. C'est une des raisons qui empêche de normer les cordes fines, car, en respectant cette règle, elles ne comportent plus assez d'âme pour réussir les tests de rupture.

Il y a une troisième explication à un comportement différent entre âme et gaine, mais il vaut aussi bien pour les statiques que pour les dynamiques. Si l'on soupçonne une dégradation par l'eau (comme on va le développer ci-dessous), une fois la corde mouillée laissée sous terre, on imagine bien qu'un mouvement d'air même faible puisse la sécher superficiellement (gaine), sans aller toutefois jusqu'à un séchage à cœur (âme).

Hydrolyse

La seconde question est : quelle est l'origine de cette dégradation spectaculaire?

Là encore, la réponse est conjecturale, mais lançons-nous! On sait en chimie, d'une part que le polyamide se dégrade sous l'action des acides et des bases, d'autre part que l'eau possède en elle-même des propriétés acide base, que mesure son pH. Acide ou base très faible, certes, mais acide ou base quand même. Quels effets peuvent en résulter, pour une corde laissée sous terre, plus ou moins mouillée, pendant 3, 5 ou 10 ans?

Les chimistes connaissent si bien cette action acide base de l'eau sur certains corps qu'ils lui ont donné un nom générique : ils l'ont baptisée "hydrolyse". Elle est responsable en particulier... de la dégradation de l'enduction de certaines combinaisons spéléo. En effet, se-

Tableau I

Âge (ans)	Ø d'origine	Nb chutes tenues	Résistance de départ	Résistance résiduelle	Perte en %
3	9	0	2487	1080	57
7	9	0	2487	1183	52
7	10,5	0	2963	1044	65
8	10,5	0	2676	1132	58
9	10	non réalisé	2744	1247	55
9	9	0	2487	1005	60
10	9	0	2487	732	71
10	9	0	2487	638	74
10	9	0	env 2450	585	env 75
14	9	0	2487	721	71
22	10	0	env 2700	1068	env 60

lon son type, le polyuréthane qui constitue cette enduction s'avère tout à fait "hydrolysable" dans les conditions de l'exploration souterraine classique, et les combines qui la subissent se transforment peu à peu en passoires!

De nombreux autres types de produits chimiques sont également hydrolysables, et les polyamides en font partie. Ne serait-ce pas la raison des profondes dégradations observées sur nos cordes, après un long séjour sous terre, dans une humidité de 100%, même en galerie dite "sèche [3]"?

Peut-être faudrait-il s'en préoccuper davantage, surtout lorsque l'on observe que les cordes glissent petit à petit vers des diamètres, donc des résistances de départ, de plus en plus faibles. Les cordes qui sont maintenant "vieilles" sont plutôt de fort diamètre (10 et 10,5 mm), puisque ce sont celles que l'on utilisait "autrefois". Leur grande résistance de départ peut expliquer qu'elles aient relativement bien tenu au vieillissement humide. Mais on laisse désormais sous terre des cordes de 9 mm. Peut-être faudrait-il songer à prévenir maintenant les possibles ruptures de demain, en sortant les petits diamètres laissés en fixe, et en s'abstenant de laisser sous terre plus de quelques week-ends les cordelettes de type L...

Questionnés, les fabricants avouent qu'ils n'ont réalisé aucune étude sur les effets à long terme de l'humidité sur les cordes, et pas plus sur les statiques que sur les dynamiques. Tout simplement parce qu'il n'y avait eu jusqu'à présent aucune alarme à ce sujet, donc aucun soupçon. Or, de telles études sont par nature très longues; pourquoi donc les auraient-ils entreprises sans motif précis?

La campagne de tests 2000

Pour alimenter la recherche, j'avais eu l'idée de mettre à contribution les spéléos eux-mêmes, en leur demandant d'expédier chez Cousin des cordes ayant longtemps séjourné sous terre, cette société prenant entièrement en charge le coût des tests. Cette campagne, qui avait été annoncée dans *Spéléo* n°34 et discutée avec un grand intérêt apparent sur la liste spéléo francophone sur Internet, s'est avéré être un échec complet : une quinzaine d'échantillons seulement ont été rassemblés! Pourquoi? Ou bien presque aucune corde ne reste longtemps sous terre (douteux!), ou bien les spéléos ne gèrent pas précisément leur stock de corde (probable, car c'est difficile), ou bien, ce qui revient au même, le rapide renouvellement des membres d'un club ne permet pas de conserver la "mémoire" du vécu des cordes restées longtemps sous terre (probable aussi, mais préoccupant).

Ou bien encore les spéléos n'ont pas voulu donner 25 m de vieille corde sans autre contrepartie que les résultats d'une étude d'intérêt général (désolant, mais très possible aussi!) Ou bien enfin ils ont attendu que "les autres" se bougent, plutôt que d'aller chercher eux-mêmes au fond des réseaux les cordes qui y dorment, se rassurant en pensant qu'une corde de plus ou de moins n'aurait pas grande importance par rapport à la masse des échantillons que "les autres" n'allaient pas manquer d'envoyer. S'agit-il d'un autre effet de l'insouciance française?

Quoi qu'il en soit, faisons l'économie de la recherche un peu vaine d'un bouc émissaire, et décidons plus simplement que l'idée était mauvaise!

Le tableau 1 reprend les quelques données obtenues lors cette étude. On voit qu'elles sont difficilement exploitables, car présentant une grande dispersion : il aurait fallu beaucoup plus d'échantillons pour calculer des moyennes significatives.

Deux tendances à noter quand même : les pertes de résistance s'échelonnent entre 50 et 75% et augmentent avec le temps. D'autre part, il est frappant de constater qu'aucun échantillon, même celui ayant séjourné seulement 3 ans sous terre, n'a tenu un seul choc en facteur 1!

Il faut donc s'en souvenir : une corde ayant séjourné longtemps sous terre "ne tient plus le choc".

Après les essais italiens [1], on peut imaginer maintenant le test suivant : immerger une corde en permanence dans l'eau, et suivre son affaiblissement à la traction lente avec le temps. Le slovène Gustav Stibranyi (4) a fait quelques constatations (mais, comme tout le monde, sans les expliquer) et rapporté une diminution de 25 à 29% au bout de 34 mois (sur de la 8 et de la 9 mm). Des diamètres plus gros se seraient sans doute comportés de même.

Le caractère linéaire de cette évolution en fonction du temps semble une hypothèse plausible (mais non une certitude). Si tel était le cas, on pourrait s'attendre à un affaiblissement de l'ordre de 46% en 5 ans, puis de 70% environ en 85 mois... ce qui fait : 7 ans, l'âge des cordes de Chevaline, qui se sont effectivement affaiblies de 65 et 73%.

La LIR revient

On voit donc que ces quelques chiffres sont compatibles avec une implication de l'hydrolyse dans les phénomènes constatés, ce qui incite à poursuivre les recherche dans cette direction. Mais il est bien trop tôt pour conclure!

D'ailleurs, les mesures de G. Stibranyi, réalisées sur trop peu d'échantillons, ne remplissent pas les critères d'une étude réellement scientifique. Elles nous donnent cependant l'idée d'une stratégie simple : si l'on connaît la décroissance de la résistance d'une corde en milieu humide en fonction du temps, il nous suffira de définir une limite inférieure de résistance, ou LIR [1], pour en déduire la durée maximale qu'une corde peut rester sous terre [5], selon son diamètre, avant de devenir dangereuse. Et ceci, sans avoir à la tester... donc la détruire.

Pour ce faire, il y a deux points à éclaircir.

Premier point, à quel niveau fixer une bonne LIR?

Nous l'avons vu dans la première partie de cet article : celle proposée par les Italiens à 1100 daN est trop haute, car le facteur de chute 1 n'est en fait pas atteint sous terre : il faudrait pour cela non seulement que les deux points d'amarrage dont l'un va se rompre soient à la même hauteur (c'est possible), mais en plus qu'ils soient à quelques centimètres l'un de l'autre, pour que la chute soit pure (rigoureusement verticale). Ce n'est évidemment jamais le cas. Une rupture dans les conditions réelles entraîne la combinaison d'une chute pure et un pendule, avec un facteur résultant plus proche de 0,3 que de 1. Une chute d'un tel facteur est insuffisante pour rompre la corde, et c'est bien ce que l'on constate dans la réalité. Par contre, si le poids du spéléo qui la subit s'applique sur la corde par l'intermédiaire d'un bloqueur (de poitrine ou de poing), alors il y a risque de déchirure complète de la gaine. Si l'on note qu'un bloqueur usuel déchire la gaine d'une corde à 400 daN environ, on peut proposer comme base de discussion pour la LIR le double de cette valeur : 800 daN. Je parle bien d'une base de discussion, car une telle grandeur ne peut que résulter d'un consensus à rechercher entre des techniciens non seulement compétents, mais encore suffisamment nombreux et représentatifs. L'EFS et son Groupe d'Études techniques sont-ils prêts à se pencher sur le sujet?

Sans attendre les conclusions hypothétiques de ces experts, on peut pousser le raisonnement ci-dessus un peu plus loin. Regardons à quoi conduirait une LIR à 800 daN. Le calcul est fort simple : puisque l'affaiblissement dû à l'hydrolyse est d'environ 50% en 5 ans, je dois partir d'une corde de 1600 daN de résistance à neuf pour qu'il m'en reste 800 au bout de 5 ans. Cette valeur est celle d'une corde de 8 mm. Ou bien je dois partir d'une corde de 2300 daN de résistance à neuf pour atteindre cette même valeur en sept ans. Valeur qui correspond à une corde de 10 mm.

Ceci bien entendu pour une corde entrée neuve sous terre et ne servant pas! En dehors de tout accident (frottement, blessure de la gaine), le simple usage vient évidemment affaiblir cette durée de vie. C'est pourquoi il convient de réduire ces valeurs, et ceci d'autant plus que la corde est plus fine.

Au final, et compte tenu des hypothèses plausibles et des connaissances à ce jour, il est raisonnable de fixer la durée maximale de séjour cumulé sous terre d'une corde statique [5] à environ :

- 2 ans pour une 8 mm;
- 4 ans pour une 9 mm;
- 6 ans pour une 10 mm.

Et maintenant?

Tout ceci reste bien sûr à affiner, en fonction des résultats d'une étude plus sérieuse des effets de l'hydrolyse sur les cordes statiques, étude qui reste à faire. L'expérience me l'a montré : on n'est jamais si bien servi que par soi-même. Je m'en vais donc sans attendre m'attaquer à ce point.

Il me suffira pour cela de remplir un bidon d'eau, d'y plonger 100 m de corde statique neuve de 8,9 et 10 mm de diamètre, de garder tout ça en cave, et de m'armer de patience.

Chaque année, je prélèverai 12 m de chacune, afin de faire effectuer trois tirs par diamètre dans un laboratoire, et d'en moyenner les résultats. En 2009, si tout va bien, j'aurai consommé toutes mes cordes et tracé pour chaque diamètre la courbe traduisant l'affaiblissement par hydrolyse de la résistance traction, sur huit années, en dehors de toute autre influence.

L'annonce des résultats se fera donc dans *Spéléo* numéro 71! Vous en serez, j'espère?

Au terme de ces deux articles concernant le fonctionnement des cordes statiques, j'espère que le lecteur aura mieux saisi ce qui se passe dans ces fidèles compagnes tout au long de leur vie. Il aura aussi mieux réalisé que la gestion d'un stock de corde est une affaire complexe.

L'équipe de Spéléo *reste à leur disposition pour toute interrogation qu'ils pourraient avoir concernant le matériel. Les questions les plus pertinentes ou de portée générale feront l'objet d'un article dans* Spéléo.

[1] *Le parapluie italien*, Spéléo *n°38, pages 12 et 13.*

[2] *Je remercie d'avance les contributeurs qui me feraient parvenir (à la revue) le compte rendu d'un semblable accident dont ils auraient eu connaissance, avec le maximum possible de renseignements parmi les suivants : date, circonstances, nom du club (pour repérer les cas pouvant être rapportés plusieurs fois indépendamment), type de cavité, âge et état de la corde concernée, cumul de temps passé sous terre par cette corde, hypothèses émises éventuellement à l'époque, conséquences sur la victime, constatation sur la corde après rupture, commentaires.*

[3] *Attention : l'hydrolyse n'a rien à voir avec le gonflement (et donc le raccourcissement) que l'on observe lors du trempage que l'on fait subir aux cordes spéléo neuves pour les fixer géométriquement et éliminer les lubrifiants hydrosolubles utilisés lors du tressage. Il ne s'agit alors, d'un point de vue physico-chimique, que d'insertion de molécules d'eau dans le réseau des chaînes polymériques, pour créer ce qu'on appelle des "liaisons hydrogène". Ces liaisons sont faibles et ne dégradent pas les chaînes macromoléculaires. Elles sont cependant irréversibles, ce qui fait que lorsque l'on laisse la corde sécher après ce premier trempage, la corde ne "rend" pas toute l'eau qu'elle avait absorbée. L'augmentation de diamètre et le raccourcissement observés après évaporation de l'eau d'imbibition physique rendent compte de ce phénomène d'insertion d'eau. la corde s'est aussi un peu alourdie!*

[4] *Gustav Stibranyi, Tests & practical experiences with czechoslovak ropes used in speleology, 9° Congresso Internacional de Espeleologia, Barcelona, 1986.*

[5] *À ne pas confondre avec la durée de vie de la corde, évidemment plus longue.*