

Forum

EQUIPEMENT

Comportement des amarrages



MEMENTO

Équipement des canyons

Cahier n°5/12 :

Comportement des amarrages

Version n°1 du 10/02/2009 (modifié le 10/11/2021)

La liste des douze cahiers figure à l'avant-dernière page



Réalisation : Olivier GOLA

- Moniteur de spéléologie
- Instructeur canyon FFS et FFCAM
- BEES spéléologie/canyon
- DEJEPS canyonisme

Contact : gola.olivier@gmail.com

Relecture :

- DJURAKDJIAN Gilbert (instructeur canyon FFCAM)
- ASTIER Arnaud (instructeur canyon FFCAM)
- BADIN Pascal (instructeur canyon FFCAM)
- BOVIS Sébastien (instructeur canyon FFCAM)
- OLIVA Jean Louis (instructeur canyon FFCAM)
- THEVENET David (instructeur canyon FFCAM)
- VALETTE Thierry (instructeur canyon FFCAM)
- WAGNER Stéphane (instructeur FFCAM)
- MORGANTI Patrick (moniteur canyon FFCAM)
- TOURNOUX François (moniteur canyon FFCAM)
- MAURY Renaud (moniteur canyon FFCAM)
- PIAZZA Pierre (moniteur canyon FFCAM)
- SCHAFFER Cécile (initiatrice canyon FFCAM)

Copyright © GOLA Olivier

Toute représentation, reproduction, modification, transformation, intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans consentement de l'auteur, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Contexte historique de la publication.

Ce document, initialement réalisé gracieusement pour la FFCAM, s'inscrivait au départ dans un projet collectif global entrepris par les cadres bénévoles en canyon de cette fédération à une époque où ils avaient à coeur de construire leur propre école de formation.

Durant plus de 20 ans, ils se sont investis en produisant de nombreux écrits, en construisant leurs propres outils de formation et de communication et en faisant preuve dès le début d'innovation pour créer par exemple le premier [Passeport Formation canyon](#) réalisé en 1997 ou encore élaborer un [cursus de formation novateur](#) qui rend la formation jusqu'au plus haut niveau accessible à tous les pratiquants.

Soucieux de montrer qu'ils étaient capables de faire aussi bien que les autres fédérations, ils espéraient surtout parvenir à se faire reconnaître par la FFCAM au même niveau que leurs homologues des autres fédérations, aptes à organiser et à encadrer en toute autonomie les formations qu'ils avaient consciencieusement construit pour ne plus être astreint à devoir systématiquement faire appel à un professionnel pour valider les brevets comme l'impose la direction FFCAM.

Convaincus de pouvoir bâtir une école canyon reconnue, à l'image de celle de la FFS et de la FFME, concrétisant l'aboutissement d'un cursus fédéral parvenu à maturation, dans lequel tous les cadres peuvent s'identifier comme des acteurs à part entière et non plus comme des éternels assistés. Les instructeurs canyon de la FFCAM s'étaient bercés d'illusions pensant que leur engagement ferait l'admiration et la fierté de leur fédération.

Malheureusement, la FFCAM tributaire des professionnels dans son mode de fonctionnement, n'était pas disposée à satisfaire les ambitions ni les attentes de ses cadres pour des raisons éminemment politiques et cela, quels que soient leurs efforts, le fruit de leur travail ou leurs compétences.

En l'occurrence, ce genre de publication sérieuse, n'intéresse pas la FFCAM, car cette expertise contribue à démontrer un savoir-faire interne qui n'a rien à envier aux professionnels et qui légitime les revendications des cadres bénévoles de cette fédérations. [En savoir plus](#)

Par conséquent, la FFCAM n'a pas souhaité s'approprier ce memento, prétextant que ce type de documentation n'était pas du ressort des cadres bénévoles. C'est pourquoi cette publication est finalement proposée à compte d'auteur dans un esprit de partage.

Table des matières

Comportement des amarrages

- Avant-propos7

Première partie : sollicitation et comportement des ancrages

- Sollicitations des ancrages 11
 - condition de travail d'un amarrage..... 13
 - Les contraintes appliquées au rocher 21
 - influence de la forme de l'ancrage 29
 - la longueur de l'ancrage 29
 - le diamètre de l'ancrage 32
- Comportement des ancrages à expansion..... 37
 - comportement des ancrages au repos 37
 - comportement des ancrages lors des tests 41
 - influence des plaquettes 47
 - qualité d'acier et résistance 54
 - la longueur des vis 59
- Comportement des vis à béton 61
 - comportement au repos 61
 - comportement en charge 61
- Comportement des scellements chimiques..... 67
 - comportement au repos 67
 - comportement en charge 67

Deuxième partie : vieillissement des amarrages

- Vieillissement des amarrages 83

Troisième partie : évaluer la tenue des amarrages

- Evaluer la tenue des amarrages..... 93
 - cause de rupture des amarrages à expansion 94
 - cause de rupture des scellements chimiques 101

Avertissement

Ce document ainsi que les onze autres cahiers qui l'accompagnent sont le fruit d'un travail personnel et reflètent une vision individuelle exprimée à un instant T en fonction des connaissances, de l'expérience et des observations faites à ce moment-là par l'auteur.

Ces documents n'ont pas pour objectif final la véracité ou l'exactitude absolues et sont forcément perfectibles, car le matériel et les connaissances évoluent sans cesse. Ils constituent néanmoins une contribution réalisée du mieux possible dans un état d'esprit de partage.

Par ailleurs afin d'illustrer certains propos, ce cahier peut comporter des dessins représentant des techniques de progression. Ces techniques ne doivent pas être reproduites sans formation appropriée.

L'auteur ne peut être tenu responsable d'une mauvaise utilisation des informations contenues dans ce cahier résultant d'un manque de connaissances, de maîtrise, de précautions, ou bien encore d'une mauvaise analyse préalable des risques ainsi que de toutes interprétations ou adaptations des dessins qu'il comporte.

GOLA Olivier

Comportement des amarrages en général

Parce que les canyons ne sont pas tous bien équipés, que le matériel en place n'est pas toujours d'excellente qualité, qu'il n'a pas forcément été posé dans "les règles de l'art", qu'il a vieilli, ou tout simplement parce que parfois on peut être amené à poser soi-même un équipement, il est important de connaître approximativement la résistance d'un amarrage ou de pouvoir l'évaluer.

Avant-propos

Bien entendu, il est beaucoup plus facile d'évaluer la fiabilité d'un amarrage que l'on vient soi-même d'installer (fig. 1) plutôt que de juger de la fiabilité de certains amarrages découverts sur place et visiblement installés depuis longtemps par d'autres (fig. 2). Cela explique peut-être, en partie, le fait que des équipements en ouverture de site ont été limités à un seul amarrage en tête de certaines cascades alors que paradoxalement, il ne viendrait pas à l'idée (espérons-le) aux futurs utilisateurs, forcément plus méfiants, de prendre le risque de confier leur vie à un seul ancrage artificiel. Quoi qu'il en soit, connaître approximativement la résistance du matériel en place et les causes de rupture, d'affaiblissement ou de vieillissement est un gage de sécurité car cela permet en même temps, de se faire une idée de la marge de sécurité que l'on s'accorde si on décide de s'en servir. Cela dit, la tenue d'un amarrage dans le temps ainsi que son vieillissement, sont extrêmement complexes et difficiles à prévoir. Sa charge de rupture d'origine n'est qu'une indication qui va évoluer ensuite en fonction de la capacité de l'ancrage à absorber dans le temps l'ensemble des éléments (contraintes, chocs, intempéries, gel, etc.) qui contribuent lentement à sa destruction.

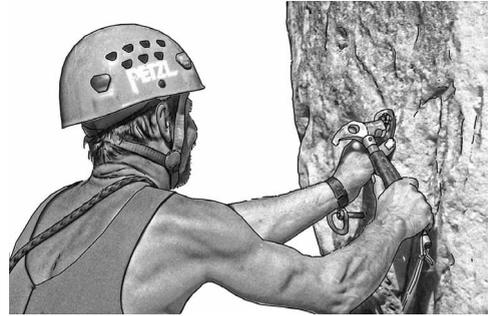


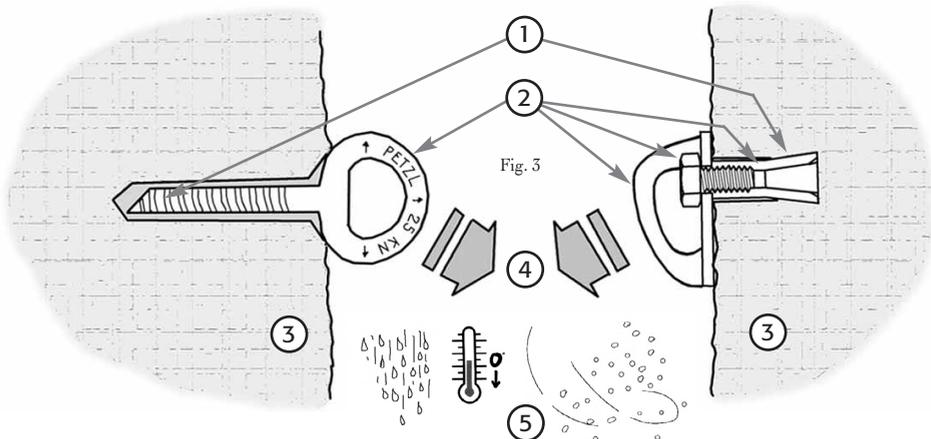
Fig. 1

Fig. 2



Parmi les principaux facteurs qui conditionnent la résistance et la durée de vie d'un amarrage on trouve cinq points clefs (fig. 3).

- 1°) la résistance du dispositif qui permet à l'ancrage de tenir dans la roche :
 - efficacité de la broche, de la résine, du filetage des vis à béton ou encore de la bague d'expansion ;
 - soin apporté à la mise en place.
- 2°) la résistance des éléments qui constituent l'ancrage :
 - cela concerne l'ensemble des pièces métalliques qui composent le point d'ancrage (ancrage, vis, plaque, maillon). On peut également y associer l'anneau de liaison en corde ou en sangle pour les équipements de type terrain d'aventure.
- 3°) la résistance de la roche dans laquelle il se trouve :
 - résistance mécanique, composition, texture, homogénéité (voir influence de la roche cahier N°1).
- 4°) les sollicitations auxquelles il doit faire face :
 - conditions de travail, intensité et fréquence des efforts;
- 5°) les agressions extérieures :
 - corrosion, gel, écart de température, chutes de pierres, crues; actes de vandalisme.....



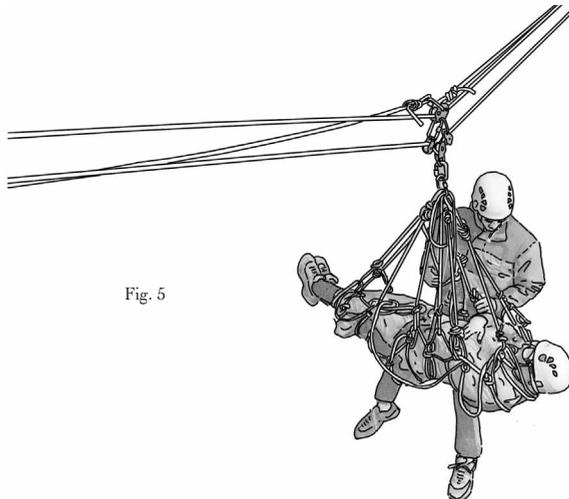
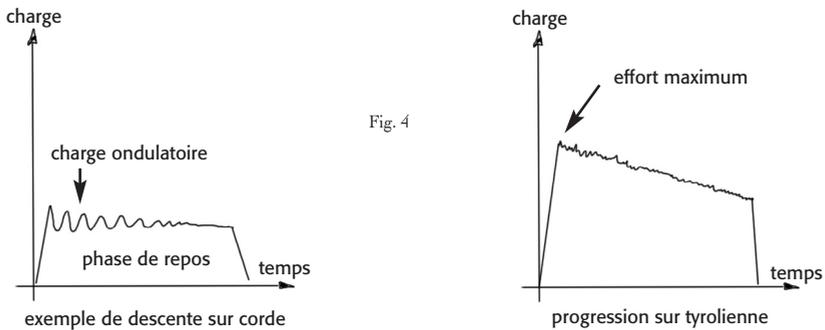
Première partie

Sollicitations et comportement des amarrages

SOLLICITATIONS DES ANCRAGES

Les ancrages placés en canyon n'ont pas tous la même fonction (maintien de corde de descente, de main courante, corde guide, manoeuvre de secours) et ne sont donc pas tous sollicités de façon identique. Schématiquement on retrouve plusieurs types d'effort (fig. 4) :

- effort maximum en charge qui peut parfois atteindre 600 daN. Dans le cas de manoeuvre réalisée sur tyrolienne (fig. 5) très tendue, installée en double (500 daN valeur maximale mesurée au niveau d'un ancrage principal dans le cas d'un freinage brutal réalisé lors d'une descente très rapide sur une corde statique, contre assurée du bas par un équipier).



- indépendamment de l'effort maximum que supporte l'ancrage, lorsqu'on s'en sert, il est constamment soumis à une multitude de secousses et vibrations d'intensités variées consécutives à l'utilisation de la corde (fig. 6).

- risque de choc éventuel (fig. 7), en général sans grande gravité, dans le cas d'une manoeuvre d'assurance ou d'une rupture d'un ancrage principal avec reprise de charge par l'ancrage de secours (double amarrage) ou les autres ancrages qui se partagent la charge (amarrage mutipoint). A noter que dans le cadre d'une réchappe, les points d'assurance utilisés pour une progression ascendante peuvent être soumis à des risques de choc plus importants (facteur de chute supérieur à un).

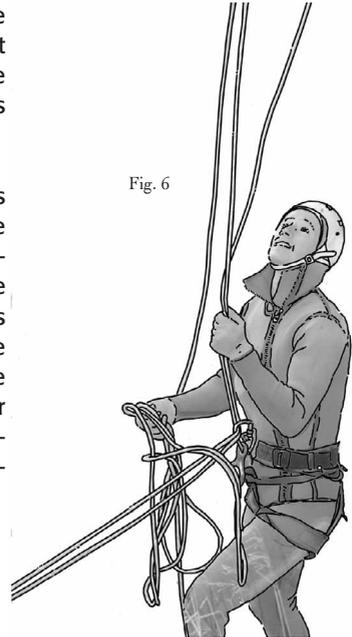


Fig. 6

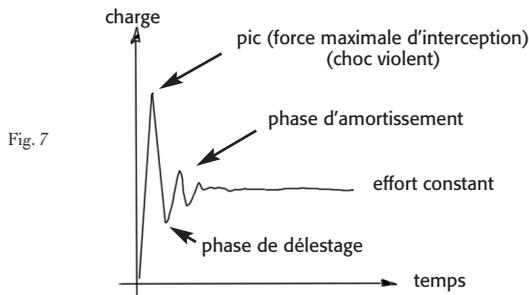


Fig. 7

rupture d'amarrage ou chute d'un équipier assuré

Toute sollicitation d'un ancrage à expansion est susceptible à la longue de l'ébranler et de provoquer un descellement progressif et ce d'autant plus vite qu'il est en plus soumis à des efforts importants. Les chocs et sollicitations importants d'un ancrage occasionnent une fatigue du matériel qui à la longue, peut réduire sa résistance.

CONDITION DE TRAVAIL D'UN AMARRAGE

En général, tous les amarrages sont conçus pour travailler dans une direction bien déterminée. Si on souhaite faire travailler un amarrage dans une autre direction (fig. 8) il faut qu'il puisse pivoter (quitte à le desserrer pour le faire bouger).

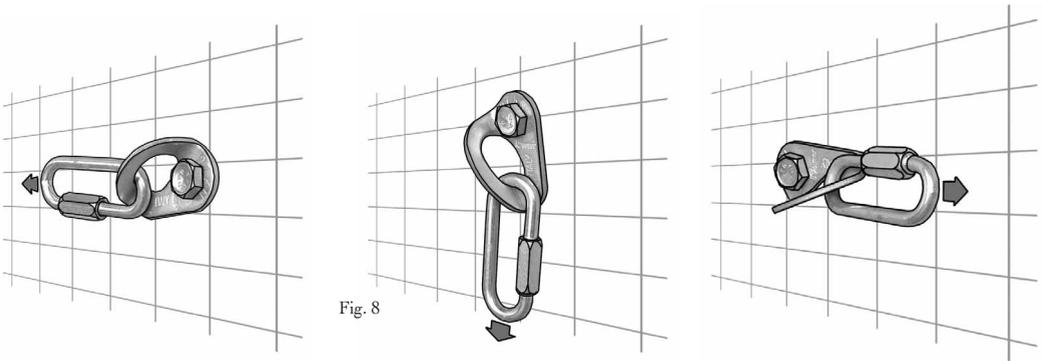
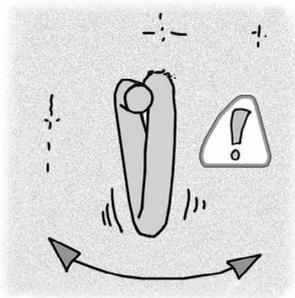


Fig. 8

Certains amarrages tels que les pitons ou les scellements chimiques, ne peuvent pas pivoter ou ne sont pas conçus pour pivoter comme les ancrages Starfix (fig. 9) ou plaquettes Full-time Raumer, plaquettes Longlife ou Clown de Petzl par exemple. Un amarrage mal positionné (fig. 10) ou qui n'a pas la faculté de s'orienter dans l'axe de travail pour lequel il a été conçu, peut se déformer ou devenir moins résistant.

Fig. 9



amarrage Starfix Raumer

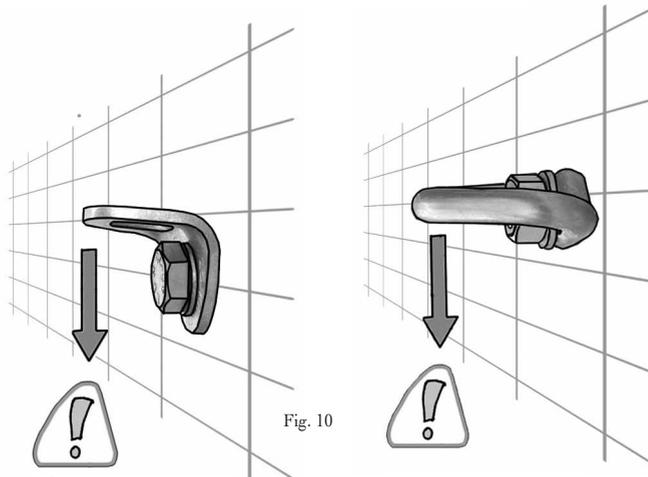


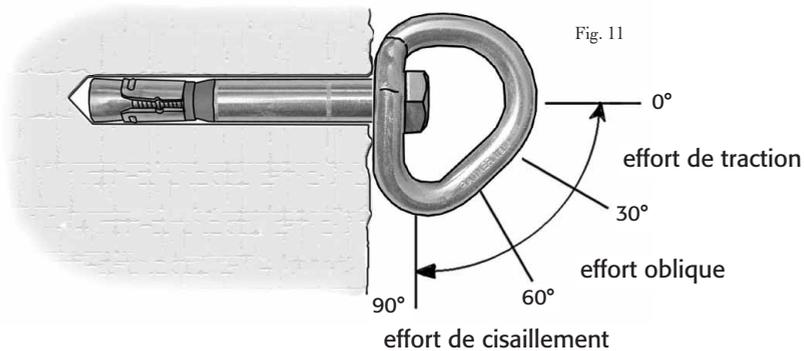
Fig. 10

plaquette Coeur

anneau Raumer

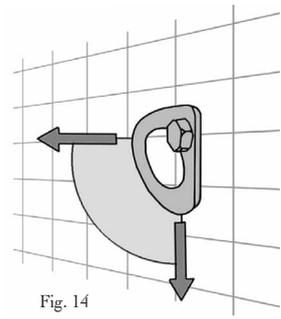
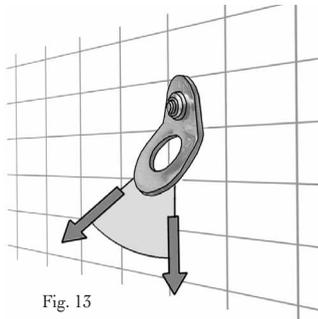
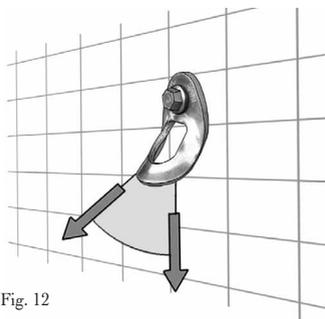
Toujours d'une manière générale, un amarrage (bien orienté) peut travailler (fig. 11) suivant un angle plus ou moins important par rapport à l'axe de perçage (compris entre de 0° à 90°).

- de 0 à moins de 30° , l'ancrage travaille en traction.
- de 30° à moins de 60° , l'ancrage est sollicité de façon oblique.
- de 60° et jusqu'à 90° , l'ancrage travaille au cisaillement.



La majorité des plaquettes sont conçues pour travailler principalement au cisaillement ; c'est d'ailleurs l'axe de travail privilégié commun à tous les modèles de plaquette. A 90° , les plaquettes pliées ou tuilées (fig. 12 et 13) travaillent dans de meilleures conditions avec un connecteur en appui sur la paroi.

Nous disposons également de plaquettes polyvalentes, conçues pour travailler en traction et au cisaillement mais toujours dans une direction donnée. Exemple : la plaquette Coeur de Petzl (fig. 14).



D'autres modèles de plaquette comme les anciennes plaquettes "Clown" de Petzl (fig. 15) ou les amarrages As d'Expé (fig. 16) sont également polyvalents). En outre, certains amarrages polyvalents tels que les broches symétriques (fig. 17) sont conçus pour travailler de 0 à 90° dans les deux directions opposées .

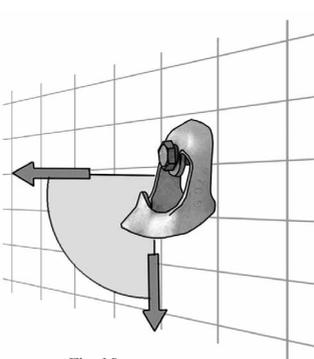


Fig. 15

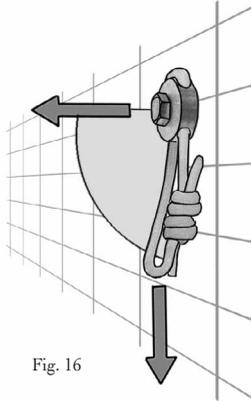


Fig. 16

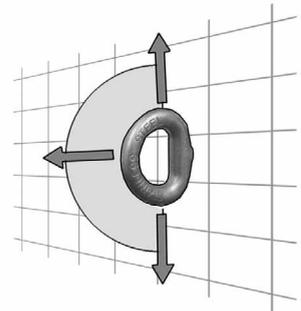


Fig. 17

Cela dit, la plupart des amarrages polyvalents sont en mesure de travailler occasionnellement dans la direction opposée au sens normal même si cela n'est ni pratique, ni logique. Illustration avec une plaquette Coeur de Petzl ou un anneau Raumer (fig. 18 et 19). Les amarrages As, utilisés en double par contre peuvent travailler dans n'importe quelle direction (fig. 20).

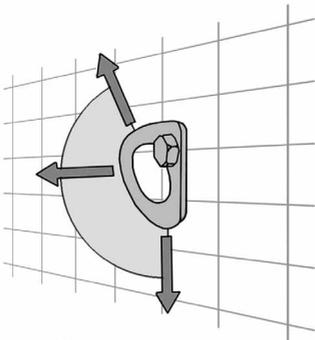


Fig. 18

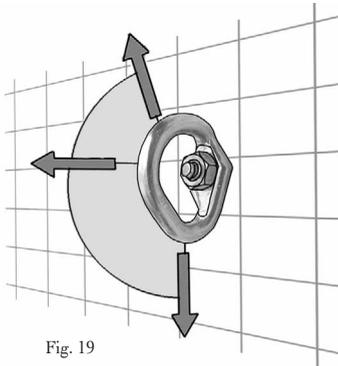


Fig. 19

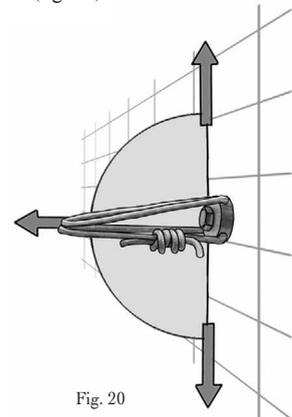
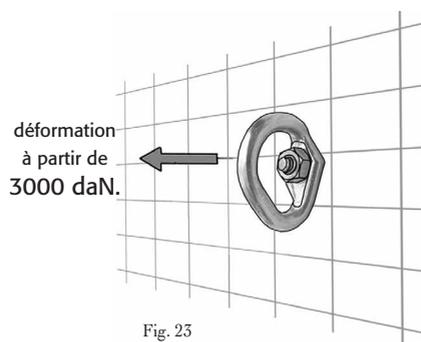
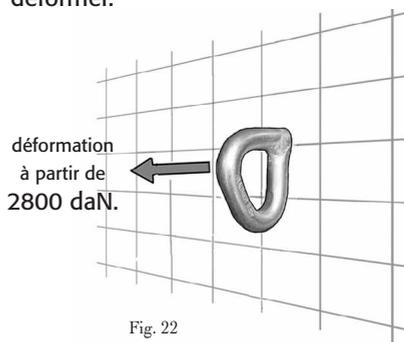


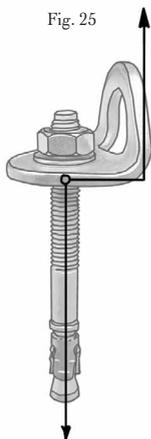
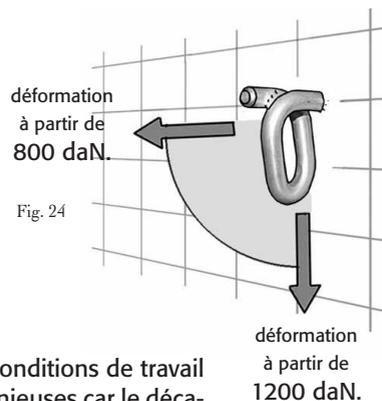
Fig. 20



En traction, les amarrages qui travaillent dans l'axe du perçage (fig. 21) sont les mieux adaptés car l'ancrage se déforme plus difficilement. Dans cette catégorie on retrouve la majorité des scellements chimiques (fig. 22), les pitons Starfixe Raumer, les ancrages associés à un anneau mais aussi les As. Les broches scellées chimiquement ainsi que les anneaux de 10 mm (fig. 23) associés à des goujons inox figurent parmi les matériels les plus robustes et il faut un effort considérable pour parvenir à les déformer.



A noter toutefois, qu'en traction, les pitons Starfixe Raumer (fig. 24) de diamètre 9 mm commencent à se déformer en traction à partir de 800 daN (ils se déroulent).



Associées à une plaquette polyvalente, les conditions de travail d'un ancrage, en traction, sont moins harmonieuses car le décalage de l'oeil de la plaquette par rapport à l'axe de l'ancrage, occasionnent une torsion de l'ancrage susceptible de réduire sa résistance (fig. 25). Toutefois, ce phénomène de torsion n'a d'incidence que pour les ancrages qui ont une résistance intrinsèque limitée car bien souvent, la résistance de l'ancrage est supérieure à celui de la plaquette et dans tous les cas, les efforts nécessaires pour faire ce genre d'observation n'ont qu'un intérêt théorique car ils sont irréalisables dans la pratique courante.

Remarques : un amarrage qui travaille uniquement en traction peut être orienté dans n'importe quelle direction (fig. 26).

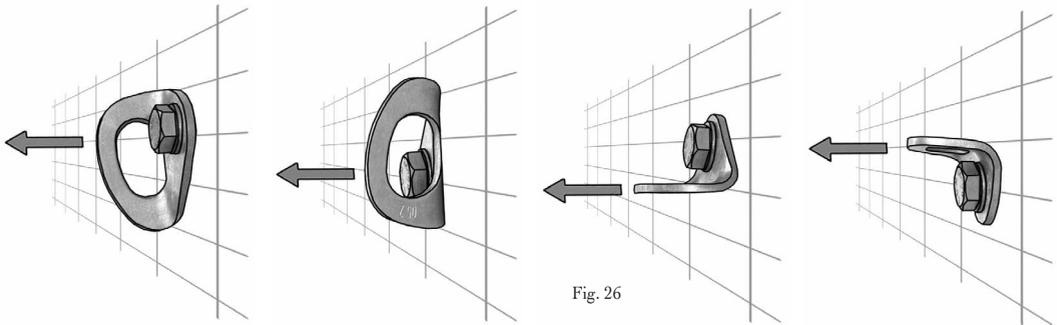


Fig. 26

A noter également que la plupart des amarrages polyvalents supportent de travailler à l'équerre, avec des variations d'angle plus ou moins importantes suivant le modèle et l'intensité de l'effort (fig. 27). Cette utilisation doit cependant rester limitée (fig. 28 et 29) notamment avec les plaquettes pliées car certaines, pourraient finir par se déformer et surtout avec les anneaux (fig. 30) qui occasionnent de surcroît un bras de levier important susceptible de tordre également l'ancrage lorsqu'il est de petit diamètre. Si la déformation permanente d'une plaquette est admissible, elle n'est pas acceptable pour autant car certains modèles s'en trouvent fragilisés et il y avait sans doute moyen de l'éviter.

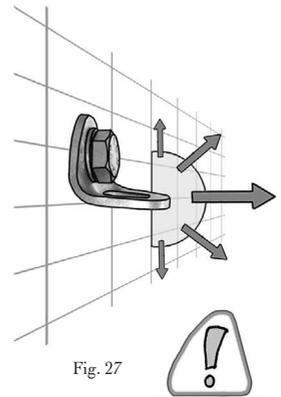


Fig. 27

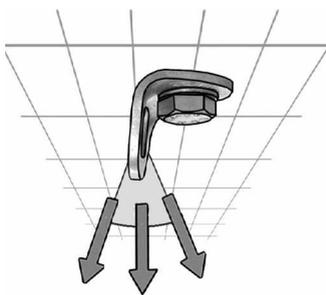


Fig. 28

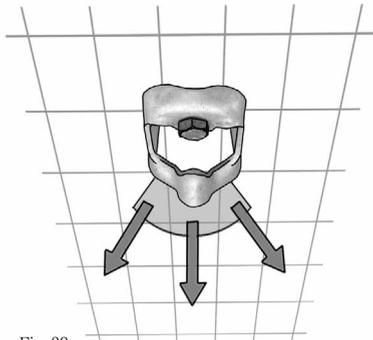


Fig. 29

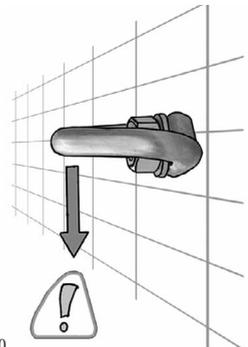


Fig. 30

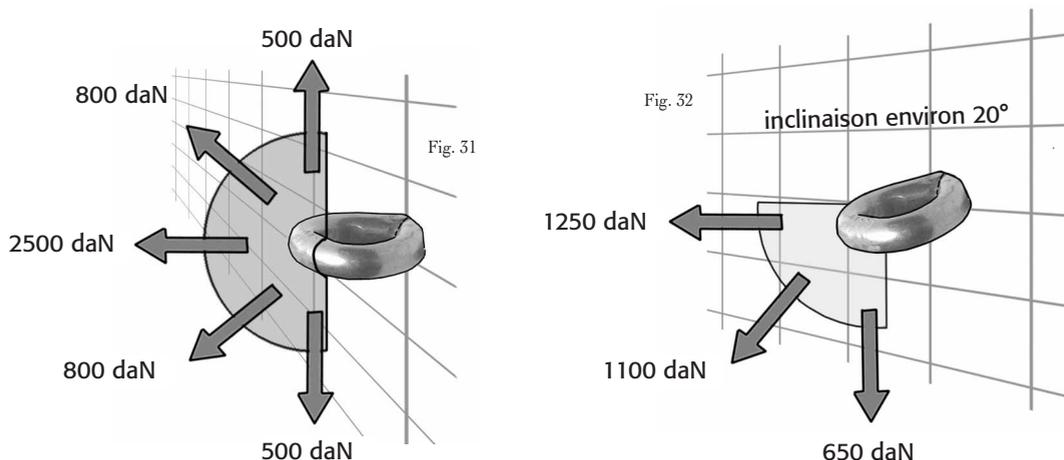
Les broches symétriques en revanche malgré l'absence d'appui de l'oeil, se prêtent relativement bien aux conditions de travail à l'équerre. On les dispose parfois ainsi pour faciliter le rappel des cordes ou lorsque la broche est susceptible d'être sollicitée dans plusieurs directions (broche utilisée en fin de main courante et en tête de cascade). Cependant, toutes les broches ne se comportent pas de la même manière ; mais une chose est sûre, plus le diamètre de la broche est important moins elle risque de se déformer.

voir également travail à l'équerre page 86

A 90°, à l'équerre, les broches Batinox commencent à se déformer à partir de 1000 daN ; les broches Collinox à partir de 350 daN et les broches Fixe inox (fig. 31) à partir de 500 daN.

Contrairement aux ancrages à expansion dont l'axe de perçage est systématiquement perpendiculaire à la paroi, on peut avec les broches, incliner légèrement l'axe de perçage vers le haut (fig. 32) en vue d'améliorer sa résistance à la déformation lorsque ces broches sont sollicitées à l'équerre. Ce cas de figure est plus fréquent en équipement de spéléologie car il favorise l'orientation perpendiculaire à la paroi d'un mousqueton. Dans tous les cas, cette inclinaison doit demeurer faible car elle se fait au détriment du confort d'utilisation puisque l'oeil de la broche se rapproche de la paroi.

Effort limite (approximatif)
avant déformation permanente des broches Fixe inox



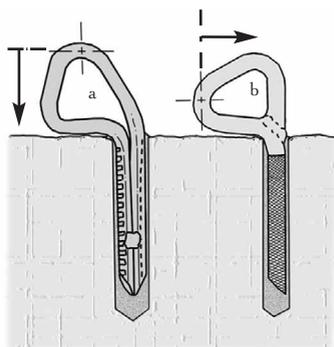


Fig. 33

Les broches asymétriques (fig. 33) en revanche sont moins bien adaptées pour travailler à "l'équerre". En effet, ces broches sont souvent moins pratiques à utiliser (forme anguleuse). Elles sont aussi susceptibles de travailler dans de moins bonnes conditions (tout du moins en théorie) en occasionnant un bras de levier plus important lorsque le point d'appui se trouve éloigné de la paroi (fig. 33a), ou un phénomène de village lorsqu'il se trouve vraiment décalé par rapport à l'axe de perçage (fig. 33b). De plus, lors de l'installation de ce type de broche, il faut parfois, suivant le type de résine employé, les maintenir durant la phase de polymérisation de la

résine car elles risquent de tourner sous leur propre poids. En outre, même si la question ne semble pas se poser, les broches Fixe et Raumer en forme de U bien que disposant de deux tiges (fig. 34) ne sont pas conçues non plus pour travailler à l'équerre ces broches risquent de se déformer rapidement en raison de leur forme proéminente.

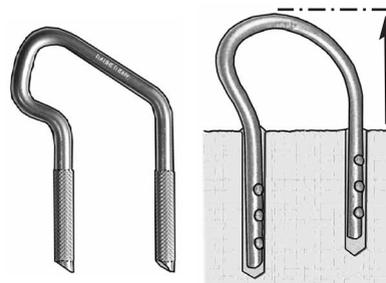
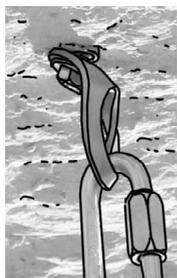


Fig. 34

Fig. 35



Résistance moyenne des plaquettes vrillées Petzl en alliage :
 cisaillement : 1800 daN
 traction : 1100 daN

Ce qu'il faut retenir : tous les amarrages sont conçus pour travailler avec plus ou moins de latitude au niveau de l'axe de travail et de l'intensité de l'effort. En cas d'utilisation inappropriée, l'amarrage risque, au mieux, de se déformer (fig. 35) au pire de voir, en plus, sa résistance diminuer. Les amarrages en acier supportent mieux les déformations que ceux en alliage léger qui se déforment moins facilement et cassent brutalement. Il ne faut donc pas confondre la valeur de rupture de l'amarrage avec la valeur maximale de résistance avant déformation. Car, même si une broche pliée à l'équerre, ou une plaquette Coeur de Petzl complètement aplatie (fig. 36) n'a rien perdu de sa résistance, plus personne n'a ensuite envie de l'utiliser car c'est normal de s'en méfier.

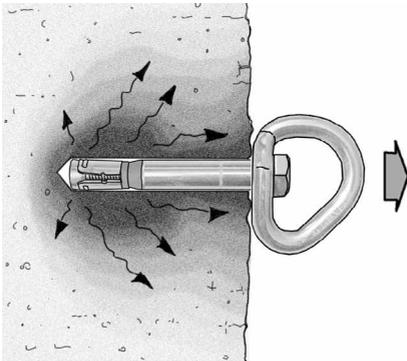


Fig. 36

LES CONTRAINTES APPLIQUÉES AU ROCHER

Lorsqu'il est sollicité, un ancrage dissipe les efforts auxquels il est soumis dans la roche environnante; les plus fortes contraintes étant situées au niveau des zones d'appui et de friction qui le maintiennent en place (Exemple en traction fig. 37). La répartition, la diffusion, ainsi que l'impact de ces contraintes sur

Fig. 37

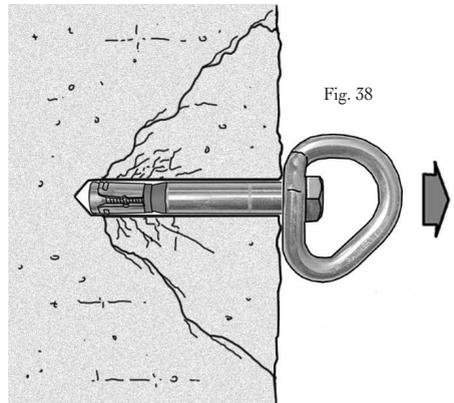


la roche en vue d'en déterminer la résistance de l'ancrage sont alors extrêmement complexes à analyser. Elles dépendent tout d'abord du comportement mécanique de la roche et de sa résistance qui sont tributaires de sa structure et de sa texture (composition, homogénéité fissuration etc...) sachant qu'il existe une très grande diversité de roches naturelles. Elles dépendent également de la forme de l'ancrage (dimensions, principe de fixation, forme et coefficient de friction de la bague d'expansion etc..) ainsi que des conditions

de travail de l'ancrage. Quoiqu'il en soit lorsque le rocher n'est plus capable d'encaisser les efforts provoqués par les sollicitations d'un ancrage, il finit par rompre. Cette rupture débute le plus souvent, par la propagation d'un réseau de fissures qui prend sa source au niveau des zones les plus tendues.

Lors d'un effort de traction, dans une roche isotrope (roche homogène qui présente les mêmes propriétés physiques dans toutes les directions), le trou laissé par la rupture du rocher prend la forme d'un cône plus ou moins régulier appelé cône d'arrachement. Ce cône d'arrachement correspond donc au volume de roche arraché à la paroi lorsque au cours d'un test d'arrachement, la résistance du scellement ainsi que celle des pièces qui constituent l'ancrage, sont infaillibles. Suivant le comportement mécanique de la roche dans laquelle se trouve l'ancrage, ce cône d'arrachement forme un angle généralement compris entre 70° et 120° dont le sommet correspond au point le plus éloigné du scellement et dont la médiane se confond avec l'axe (fig. 38).

Fig. 38



Plus la roche est dure et homogène, plus sa résistance est importante et plus la rupture du cône d'arrachement sera brutale. Dans une roche mécaniquement très résistante, lorsque le rocher cède en traction, le plus souvent, il éclate autour de l'ancrage et en guise de cône d'arrachement on se retrouve avec des débris de roche et un trou évasé sur la paroi (fig. 39). Il est rare de retrouver un cratère avec une jolie forme de cône. La simple présence de micro-fissures par exemple peut jouer un rôle déterminant dans les phénomènes de ruptures des roches. Il est donc extrêmement difficile de prévoir la résistance d'un cône d'arrachement avec précision ni même les dégâts occasionnés sur le support tant les facteurs qui conditionnent sa rupture sont nombreux.



Fig. 39

Fig. 40



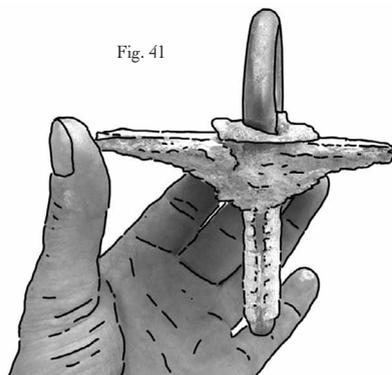
Lors des tests d'arrachement figurant dans les cahier n°11 et 12, dans un calcaire dur et compact, il a été possible d'observer plusieurs fois des ruptures de cônes d'arrachement qui présentaient une dislocation moins importante du rocher. Brisé seulement en deux ou trois parties (fig. 40), il était alors possible de reconstituer le cône d'arrachement en emboitant les morceaux. Le cône peut tout aussi bien céder en totalité ou parti-

tiellement auquel cas, une partie du rocher, généralement fissuré, peut rester en place autour du forage.

A noter qu'un début de déchaussement d'un ancrage à début de déchaussement d'un ancrage peut se terminer par une rupture du rocher sous la forme d'un cône d'arrachement réduit lorsque les contraintes se rapprochent de la zone de surface.

De même avec les scellements chimiques il est parfois possible d'observer la rupture d'un cône d'arrachement partiel près de la surface (fig. 41) lorsqu'il s'accompagne d'une rupture colle/roche en profondeur.

Fig. 41



L'extraction d'un cône d'arrachement entier avec son ancrage est extrêmement rare. Au cours des tests d'arrachements, cela s'est produit une seule fois avec un gros goujon en inox et s'explique par la présence de nombreuses micro-fissures en profondeur qui ont favorisé cette rupture (fig. 42 et 43).

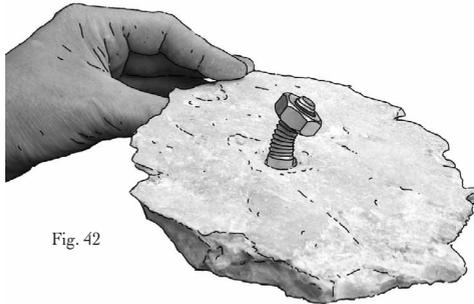


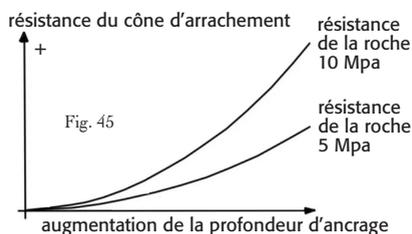
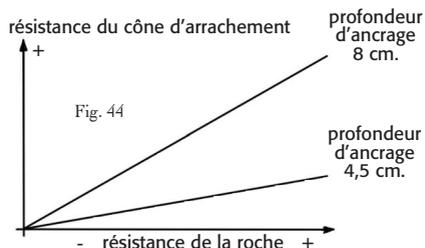
Fig. 42



Fig. 43

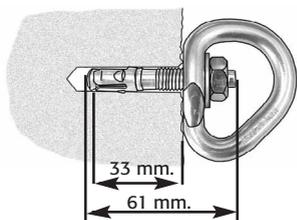
Toutes ces ruptures plus ou moins spectaculaires mettent en évidence les limites du rocher à supporter les contraintes auxquelles il est soumis. Les essais d'arrachement restent sans doute le meilleur moyen pour évaluer la résistance du rocher car son comportement mécanique ainsi que la résistance à la traction d'un cône d'arrachement sont spécifiques pour chaque type de roches. D'une manière générale, la résistance des roches en traction est nettement inférieure et beaucoup plus aléatoire que sa résistance à la compression (de l'ordre de 10 à 100 fois moins compte tenu de la très grande diversité des roches, et des nombreux facteurs susceptibles d'influencer leurs résistances). Plus la roche est homogène et de granulométrie fine plus le rapport de résistance traction /compression a des chances de se réduire, ex : la craie. Mais la question n'est pas simple car chaque famille de roches est susceptible de présenter localement, des variations très importantes en matière de résistance notamment en raison des altérations de surface et il est utopique de les classer dans leur globalité. Les roches sédimentaires dures et compactes ont généralement des résistances à la traction comprises entre 4 et 17 Mpa. Celle du calcaire ayant servi pour les essais, est comprise entre 7 et 13,1 Mpa (10,12 Mpa en moyenne d'après 11 tests). Parmi les plus solides en traction, on peut également citer les basaltes qui peuvent dépasser 40 Mpa ; ainsi que certaines roches métamorphiques comme les quartzites qui peuvent atteindre 80 Mpa. Parmi les moins solides on retrouve les roches schisteuses, les marnes tendres dont les résistances peuvent descendre à 0,05 Mpa.

Ces ruptures de cône d'arrachement permettent également de constater de visu, malgré les divergences de comportements et de résultats liés aux particularités des roches naturelles et des modèles d'ancrages, que le volume du cône d'arrachement est bien proportionnel à la profondeur d'ancrage et qu'il conditionne en grande partie sa résistance. A profondeur d'ancrage équivalent, plus la roche est résistante plus on peut s'attendre à voir la résistance du cône d'arrachement augmenter dans les mêmes proportions (fig. 44). En revanche, le volume de ce cône est (en théorie) proportionnel au carré de la profondeur de l'ancrage (fig. 45). Ainsi, à qualité de roche équivalente, lorsqu'on double la profondeur d'un ancrage, on multiplie (théoriquement) par quatre le volume du cône d'arrachement et on peut ainsi espérer augmenter d'autant la résistance de l'ancrage (même si ce n'est pas vraiment aussi simple).



On s'aperçoit donc que la résistance d'un cône d'arrachement pour quelques centimètres de profondeur supplémentaire est susceptible d'augmenter dans des proportions d'autant plus grandes que le rocher est résistant. Ainsi, les essais réalisés en traction avec les goujons les plus courts (fig. 46) montés sur anneaux se traduisent systématiquement par une rupture du rocher dont la valeur moyenne est nettement inférieure à celles des goujons légèrement plus longs (fig. 47). Attention, la profondeur d'ancrage effective d'un goujon Berner de 61 mm de long monté sur un anneau Raumer se situe aux environs de 33 mm et celle d'un goujon Spit de 77 mm se situe à 49 mm environ.

Fig. 46



traction sur anneau Raumer



Berner S-KA
10 x 61

inox et zingué

résistance
2144 daN.

7 ruptures rocher

7 tests

Fig. 47

traction sur anneau Raumer



Spit Fix II
10 x 77

inox

résistance
3467 daN.

1 déchaussement
2 ruptures rocher

3 tests



Remarque : à noter que les contraintes liées à l'expansion de l'ancrage s'additionnent à celles consécutives à l'effort d'arrachement et fragilisent d'autant plus le rocher que la profondeur d'ancrage est faible.

Si on augmente encore la profondeur d'ancrage dans le même support (fig. 48), il est fort peu probable que le cône d'arrachement, constitue le point faible (la profondeur d'ancrage effective d'un goujon de 90 mm monté sur un anneau, se situe aux environs de 62 mm) et il y a de forte chance pour que ce soit une partie de l'amarrage qui cède.

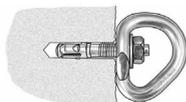


Fig. 48

WurthW-FAZ 10 x 90	inox	résistance 4021 daN.	2 ruptures goujons	2 tests
------------------------------	------	-------------------------	-----------------------	---------

En conclusion : plus la résistance du rocher est faible, plus il faut augmenter la profondeur d'ancrage afin de répartir les contraintes d'utilisation dans un plus grand volume de roche et obtenir un cône d'arrachement suffisamment résistant. Les ancrages les plus courts sont donc plus délicats à utiliser puisque plus propices aux ruptures de rocher (fig. 49). D'ailleurs, lors des tests d'arrachements d'ancrage à expansion, il est fréquent d'observer une rupture du rocher après un début de déchaussement de l'ancrage ; car la résistance du cône d'arrachement diminue très rapidement en même temps que l'ancrage commence à se déchausser.

Conséquence pratique : plus le rocher est fragile plus le choix du modèle d'ancrage est limité. On remarque à ce propos que si les chevilles à expansion par vissage et les goujons sont disponibles en version plus ou moins longue, ce n'est pas le cas des autres modèles d'ancrage. Dans les roches les plus tendres, ou qui s'avèrent fragiles (de structures aléatoires, feuilletées ou poreuses), aucun ancrage à expansion n'est fiable à long terme. Même les plus longs, risquent de prendre du jeu et il faut dans ce cas avoir recours aux scellements chimiques de broches longues.



Fig. 49

Dans les cas les plus délicats comme les dépôts de calcite poreuse, seul le scellement de longues tiges filetées (fig. 50) munies de plaquettes ou encore de très longues broches permet d'obtenir un ancrage robuste.

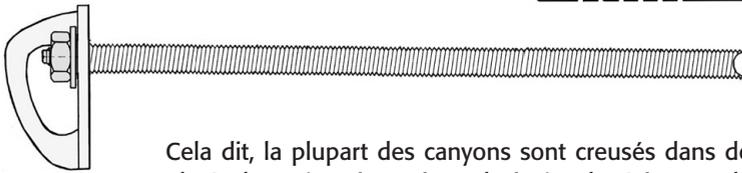


Fig. 50

Cela dit, la plupart des canyons sont creusés dans des roches plutôt dures (granit, gneiss, calcaire) et la résistance de la roche dans ce cas (souvent égale ou supérieure à 100 Mpa) est telle que le volume du cône d'arrachement ne constitue jamais le point faible. Dans la mesure où l'on respecte les précautions d'installation et les profondeurs d'ancrage minimum, on s'aperçoit que les essais d'arrachement d'ancrages neufs, se soldent le plus souvent par une défaillance du scellement (déchaussement) soit une rupture de la partie métallique de l'ancrage.

Ainsi, il a été possible d'observer (fig. 51) la rupture d'une broche Raumer à 7430 daN, uniquement par coincement de la tige sur 7 cm de profondeur car elle s'est produite après une première rupture du scellement (colle/roche) et une extraction de la broche de 1 cm environ à 7199 daN.

Dans les roches dures les valeurs de résistance mentionnées sur les ancrages fabriqués spécialement pour le milieu sportif comme les plaquettes Fulltime Raumer (fig. 52), sont donc réalistes. Concernant les valeurs de ruine fournies par les fabricants d'ancrages destinés au béton, il faut être prudent car le comportement d'une roche peut s'avérer très différent et la comparaison est difficile. Un rocher plus solide en compression qu'un béton peut s'avérer plus cassant et plus fragile en traction par exemple.

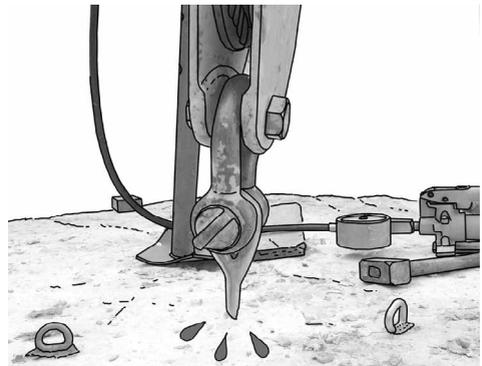
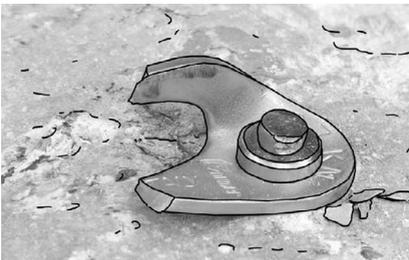


Fig. 51

Fig. 52



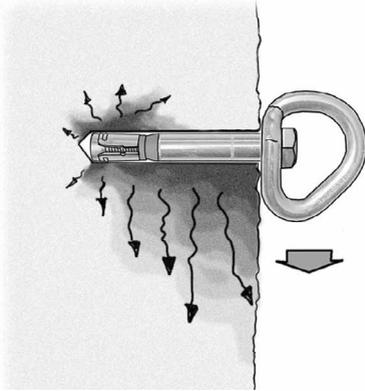
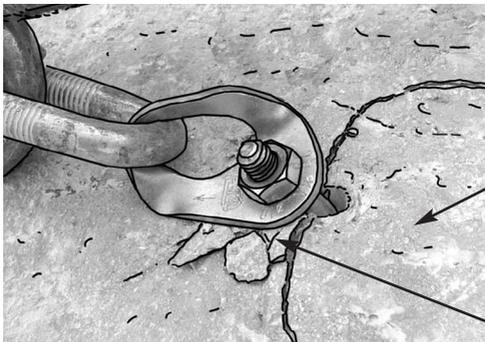


Fig. 53

Au cisaillement par contre, la répartition des efforts dans la roche environnante est très inégalement répartie. Les plus fortes contraintes étant situées au niveau des zones comprimées par l'ancrage qui travaille en appui dans son logement; elles sont d'autant plus importantes qu'on se rapproche de la bordure du trou (fig. 53). En outre, la rigidité de la tige de l'ancrage occasionne un bras de levier dans la direction opposée à l'axe de travail au niveau de l'extrémité la plus profonde de l'ancrage. Par rapport à un effort de traction, la localisation et surtout la résistance du cône d'arrachement est beaucoup plus complexe à prévoir.

Les contraintes ne sont pas identiques autour de l'ancrage; puisqu'une moitié du cône d'arrachement est soumise à un effort de compression ce qui a tendance à augmenter sa résistance. Ces contraintes diffèrent selon qu'il s'agit d'un ancrage à expansion, d'un scellement chimique ou d'une vis à béton et évoluent lorsque l'ancrage commence à se déformer et à s'extraire. Dans tous les cas, les conditions de travail au cisaillement sont plus favorables en matière de résistance pour le rocher et c'est bien souvent l'ancrage qui casse ou qui finit par sortir de son logement. On observe le plus souvent (fig. 54), une rupture partielle du rocher en bordure du trou au niveau de la zone la plus comprimée qui s'effrite accompagnée d'une rupture plus ou moins importante du rocher, notamment en fin d'extraction, au niveau la zone opposée à la direction de l'effort qui travaille essentiellement à l'arrachement (fig. 55).

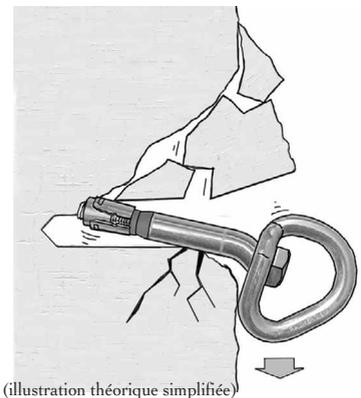
Fig. 54



rupture par arrachement

rupture du rocher en bordure de trous par compression

Fig. 55

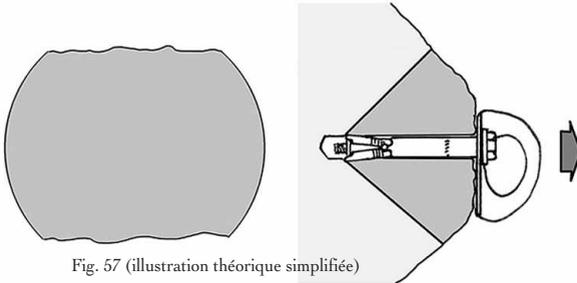
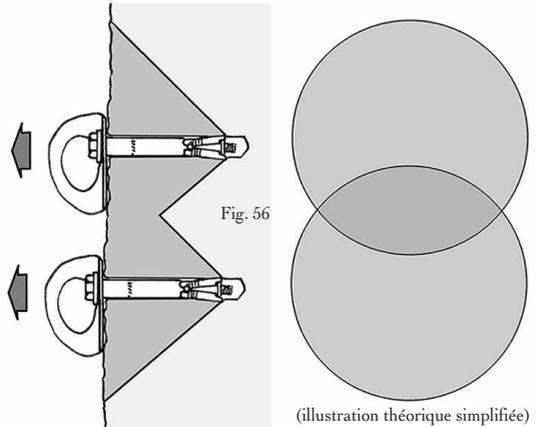


(illustration théorique simplifiée)

Réduction du cône d'arrachement

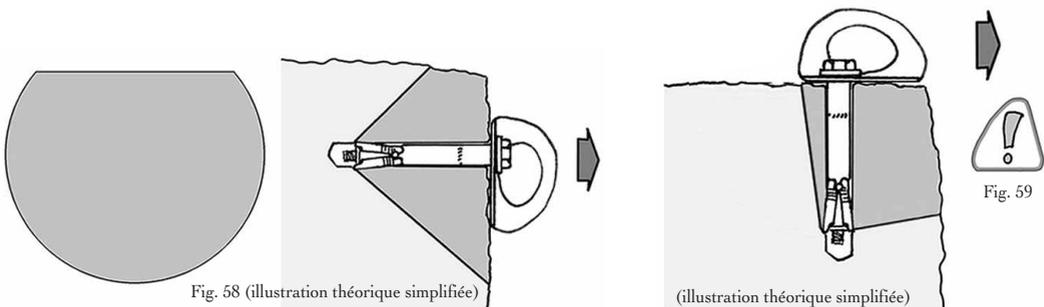
La réduction du cône d'arrachement se traduit par une diminution de la résistance du support ; elle peut se produire dans plusieurs cas de figures :

- par chevauchement des cônes d'arrachement (fig. 56) lorsque les distances d'entre-axe entre deux ancrages sollicités simultanément ne sont pas respectées (implantation à distances réduites) ;



- par réduction du volume du cône d'arrachement lorsque l'ancrage se trouve au niveau d'une crête ou, ce qui est pire, sur une partie bombée (fig. 57) ;

- par réduction du volume du cône d'arrachement lorsque l'ancrage se trouve près d'une bordure (fig. 58). Au cisaillement, la résistance du support en bordure de dalle est moindre lorsque l'ancrage travaille en direction de la bordure (fig. 59).

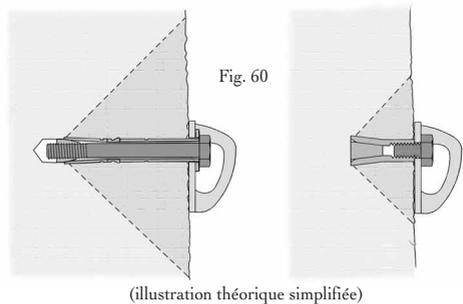


INFLUENCE DE LA FORME DE L'ANCRAGE

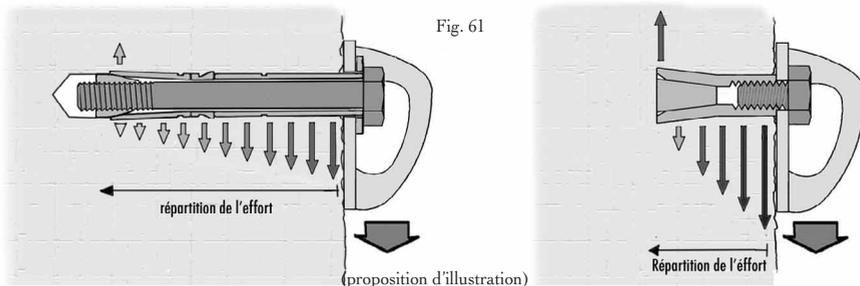
Indépendamment de la nature de l'acier et de l'efficacité de la fixation, la résistance d'un ancrage est également tributaire de sa longueur et de son diamètre. En toute logique plus les dimensions d'un ancrage sont importantes plus il sera solide. Malheureusement son poids, son encombrement, son coût ainsi que l'énergie nécessaire à sa mise en place augmentent dans les mêmes proportions. De plus, on n'a pas forcément les mêmes contraintes d'équipement, les mêmes besoins et pas toujours le choix non plus suivant la gamme de produits.

• Longueur de l'ancrage

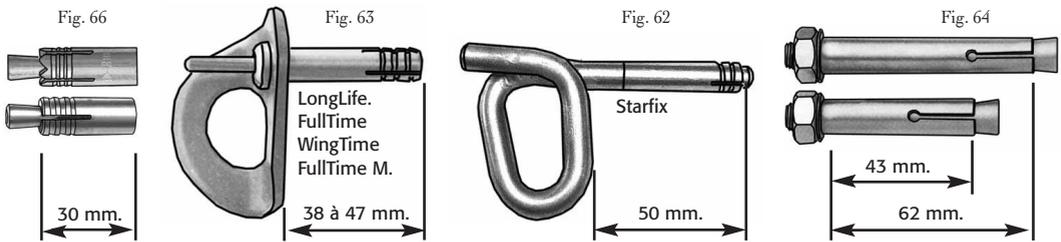
La longueur d'un ancrage est avant tout un critère décisif pour les équipements réalisés dans des roches de moindre résistance, qui ne sont pas homogènes ou altérées superficiellement. Il détermine la profondeur d'ancrage et par conséquent, le volume du cône d'arrachement (illustration en traction fig. 60).



Au cisaillement, cas de figure le plus courant, l'augmentation de la profondeur d'ancrage permet d'asseoir l'ancrage sur une surface d'appui plus grande (fig. 61) et d'augmenter le volume du rocher susceptible de travailler en traction en cas de début de déformation. On améliore ainsi la répartition des efforts et on minimise les risques de prise de jeu. En effet, plus la zone expansée est profondément ancrée plus elle sera épargnée par la répercussion des vibrations et des chocs car c'est au niveau de la bordure du trou que les contraintes sont les plus fortes et où l'usure est la plus rapide.



La plupart des ancrages à expansion fabriqués spécifiquement pour l'équipement de sites naturels comme les plaquettes inviolables, Starfix (fig. 62) et chevilles Raumer par exemple (fig. 63) n'ont pas de gabarits différenciés. En général ces ancrages offrent une profondeur d'ancrage plutôt réduite (de 3 à 5 cm) qui les destine essentiellement aux roches dures telles que les granites et les calcaires durs. A noter que les modèles les plus longs et notamment les chevilles Fixe longues (fig. 64) permettent d'équiper également les roches de résistance moyenne.



Si on envisage d'utiliser ce type de matériel, on n'a donc pas trop le choix dans les dimensions ; mais les fabricants ont plutôt bien prévu les choses puisque ces ancrages permettent d'équiper un grand nombre de roches dont la résistance est souvent supérieure à 60 Mpa.

Ci-dessous (fig. 65) : exemple de courbe schématisant de visualiser, en fonction de la résistance moyenne de la roche, la profondeur d'ancrage utile en vue d'obtenir un amarrage susceptible de résister à 1500 daN au cisaillement. On s'aperçoit que finalement l'ancrage (fig. 66) le plus court (3cm) est (à priori) suffisant dans la majorité des cas.

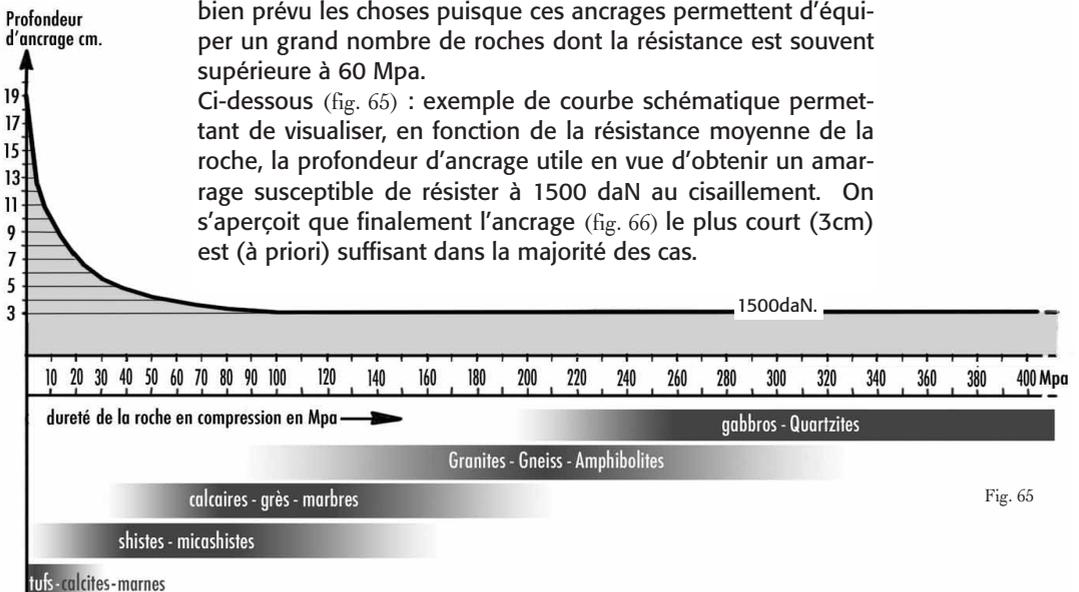
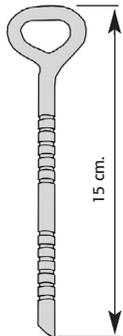
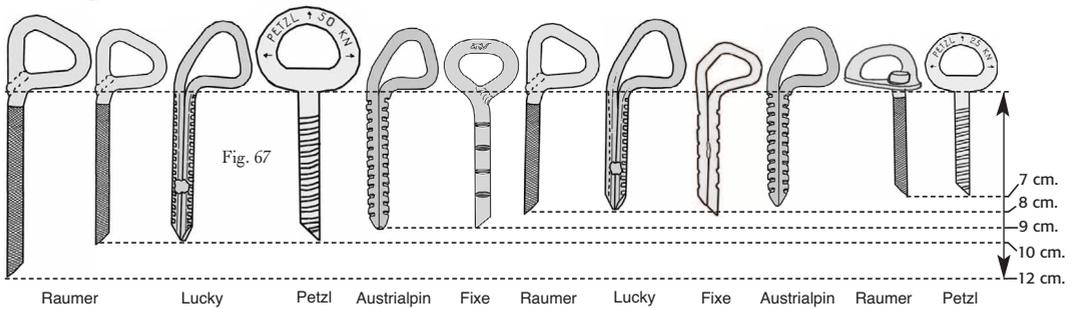


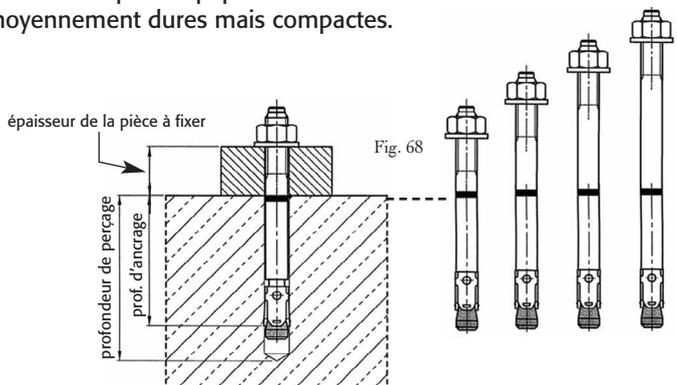
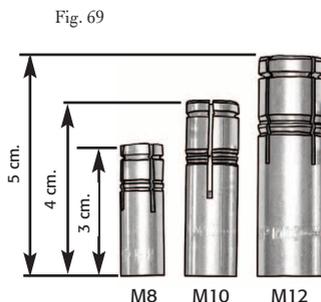
Fig. 65



Avec les scellements chimiques, la profondeur d'ancrage pose moins de problèmes car les broches fabriquées pour les besoins des activités sportives de pleine nature (fig. 67) sont plutôt longues (7 à 12 cm) en moyenne. Les plus longues notamment la broche Fixe XML permettant d'équiper les roches tendres. De plus n'étant pas exposées aux phénomènes de contrainte permanente, d'usure et de descellement progressif elles sont plus fiables à long terme.



Les ancrages fabriqués pour le bâtiment tel que les goujons ou les chevilles à expansion par vissage, conçus pour traverser la pièce à fixer nous offrent davantage de possibilités. Destinés au maintien de pièces plus ou moins épaisses (fig. 68) les différentes longueurs disponibles nous permettent de moduler la profondeur d'ancrage. Toutefois les chevilles à expansion par frappe (fig. 69) ont un gabarit unique pour chaque diamètre puisque c'est la longueur de la vis qui change. Ces chevilles plutôt courtes seront réservées pour équiper essentiellement des roches dures ou moyennement dures mais compactes.

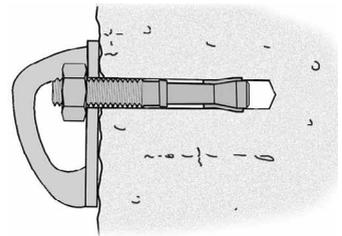


• Le diamètre de l'ancrage

Plus le diamètre d'un ancrage est important, plus il y a des chances (à quelques exceptions près) qu'il soit résistant à la déformation, à la rupture ainsi qu'aux agressions extérieures puisque les pièces mécaniques sont plus grosses (indépendamment de la plaquette). De même, plus le diamètre d'un ancrage (à expansion) est important, plus il y a des chances qu'il se fatigue moins vite et qu'il soit moins sensible aux risques de descellement progressif puisque les pièces en appui ou en compression sont plus volumineuses. Cela semble logique. A savoir qu'en dehors des ancrages monobloc dont le diamètre unique est déterminé d'avance, le choix du diamètre est de toute façon conditionné par le diamètre de perçage des plaquettes qui est limité à 8, 10 ou 12 mm ; le diamètre de forage du rocher n'étant pas forcément équivalent puisqu'il est tributaire de la conception de l'ancrage.

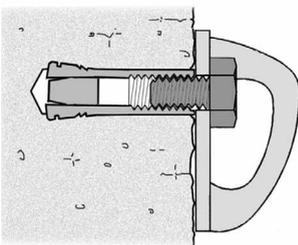
Les goujons : constitués d'une pièce pleine d'un seul tenant qui traverse la plaquette (fig. 70), ce sont les plus simples (le diamètre de perçage est identique à celui du goujon et de la plaquette). A diamètre de perçage égal, ils sont très robustes et ce sont d'ailleurs, les plus utilisés. Les goujons emboutis de 12 mm acier et de 10 mm inox ont une résistance intrinsèque généralement supérieure à la plupart des plaquettes conçues pour les activités sportives à cordes.

Fig. 70



Les chevilles femelles (fig. 71) sont plus grosses et plus courtes que les goujons (à filetage de vis identique) mais contrairement aux goujons, ce sont des pièces creuses donc plus fragiles. Les chevilles fines font partie des ancrages les moins robustes car généralement elles finissent par se cisailer à la limite de la vis. Les chevilles M10 acier accompagnées de plaquettes ne présentent que peu d'intérêt dans la mesure où elles n'offrent en général, quasiment pas plus de résistance que les chevilles M8. A noter que leur résistance est différente lorsqu'on les associe à un anneau. Les chevilles M12 inox ont une résistance supérieure à la plupart des plaquettes.

Fig. 71



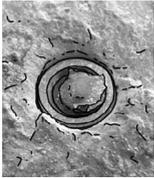


Fig. 73

Avec les chevilles épaisses (fig. 72), le problème est différent car elles ne constituent pas le point faible qui se situe généralement (fig. 73) au niveau de la vis. Cependant, les modèles couramment disponibles sont limités au filetage M8 et il faut dans ce cas percer à 12 mm mais, sur une profondeur réduite. On remarque également que les chevilles femelles épaisses M8 associées à des vis de qualité 8.8 sont souvent plus résistantes que les goujons de diamètre 8 mm.

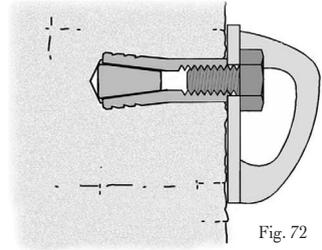


Fig. 72

Les chevilles à expansion par vissage : sont similaires aux goujons dans le sens où le diamètre de la cheville, celui du perçage et celui de la plaquette sont identiques (fig. 74). Par contre, elles n'existent pas en dessous du diamètre 10 mm.

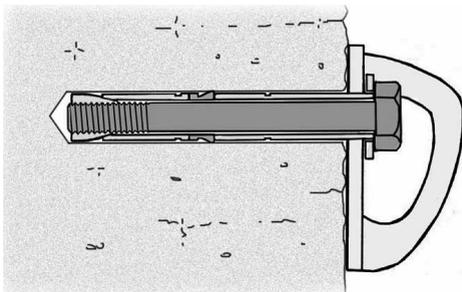


Fig. 74

Pourvue d'une vis sur toute la longueur, la cheville se comporte comme une pièce pleine ; en matière de résistance à l'arrachement elle s'avère légèrement moins robuste que les goujons. Cela s'explique par le fait que c'est la vis qui en traction ou au cisaillement (une fois que tout est tordu), retient en grande partie la plaquette. Or, une cheville de 12 mm est



Fig. 75

pourvue d'une vis de 8 mm et les chevilles de 10 mm d'une vis de 6 mm..... Cela dit, contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, la résistance à l'arrachement, dans un calcaire dur, des chevilles à expansion par vissage de diamètre 12 (version vis), figure parmi les ancrages à expansion les plus résistants. A noter que les chevilles Fixe sont un peu différentes car le corps de la cheville est constitué d'une seule pièce qui participe au maintien de la plaquette même en traction (fig. 75).

Les vis à béton : ce sont d'une part des pièces pleines et les seuls ancrages dont le diamètre de perçage est inférieur à celui de l'ancrage (fig. 76). Ce sont également les ancrages les plus résistants à diamètre de perçage équivalent. Malheureusement, ce type de produit n'a pas que des avantages.

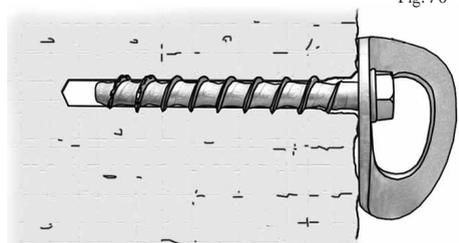
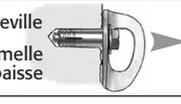
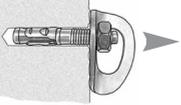
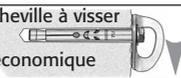
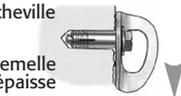
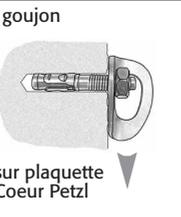


Fig. 76

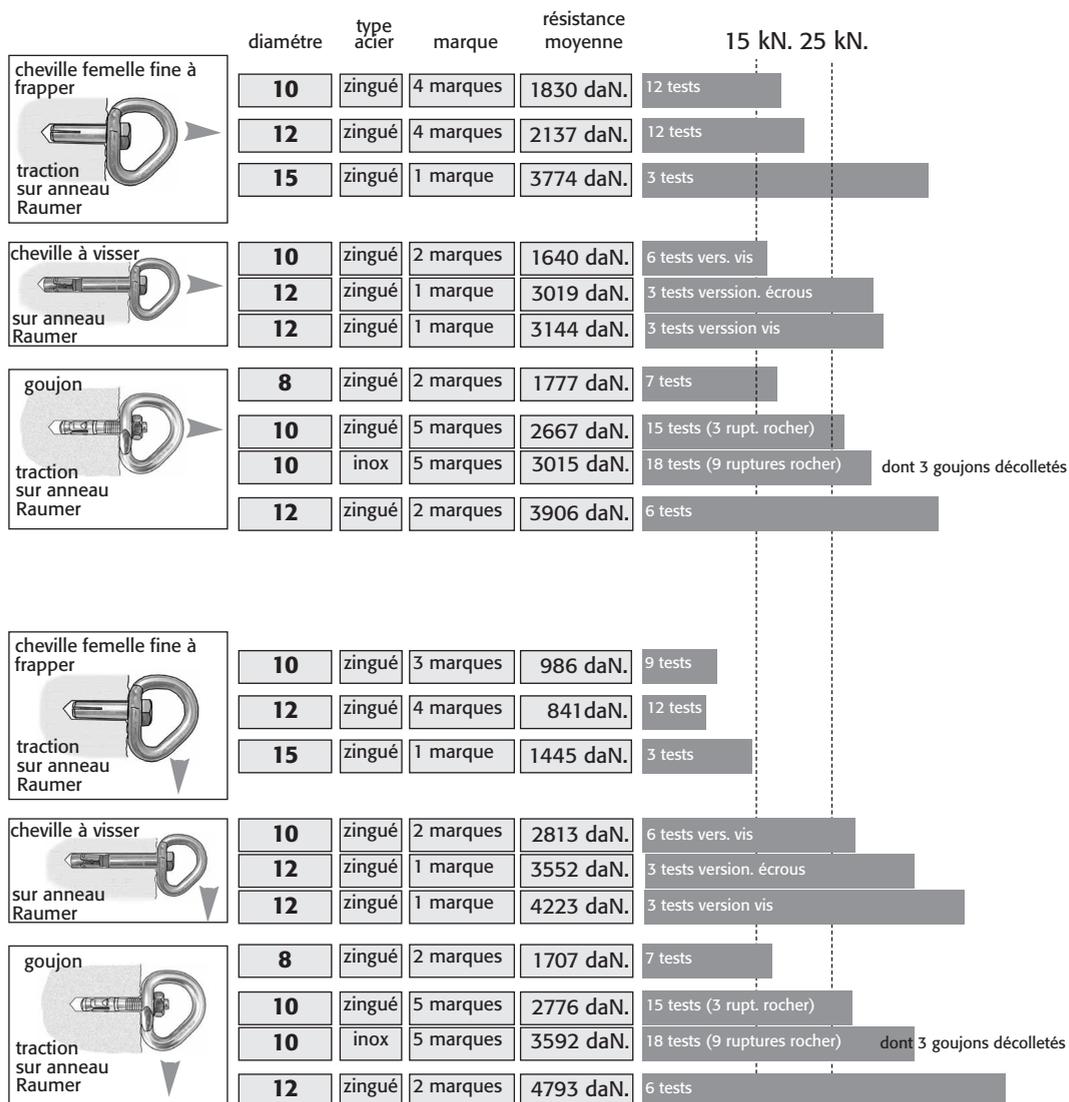
Comparatif des valeurs de rupture moyennes, toutes marques confondues des ancrages à expansion testés en traction

	diamètre	acier	marque	résistance	15 kN	25 kN
cheville à visser économique 	8	zingué	1 marque	1086 daN.	2 tests	
	10	zingué	1 marque	821 daN.	2 tests	
cheville femelle fine à frapper  traction sur plaquette Coeur Petzl	10	zingué	7 marques	1016 daN.	22 tests	
	10	inox	1 marque	1242 daN.	3 tests	
	12	zingué	7 marques	999 daN.	21 tests	
	12	inox	1 marque	1772 daN.	3 tests	
	15	zingué	2 marques	2575 daN.	6 tests	
	15	inox	1 marque	3140 daN.	8 t.ests (8 rupt. plaquettes)	
Starfix 	9	inox	1 marque	1669 daN.	3 tests	
cheville femelle épaisse 	12	inox	1 marque	2034 daN.	4 tests	
	12	acier	1 marque	2270 daN.	3 tests	
plaquette permanente 	12	inox	2 marques	2313 daN.	6 tests	
cheville à visser sur plaquette Coeur Petzl 	10	zingué	2 marques	1757 daN.	6 tests vers. vis	
	12	zingué	2 marques	2049 daN.	6 tests vers. écrous	
	12	zingué	2 marques	3146 daN.	3 tests version vis	
goujon  traction sur plaquette Coeur Petzl	8	zingué	6 marques	1594 daN.	18 tests	
	8	inox	1 marque	1903 daN.	3 tests	
	10	zingué	8 marques	2316 daN.	24 tests (1 rupt. plaq.)	
	10	inox	8 marques	3235 daN.	22 tests (1 rupt. plaquette)	
	12	zingué	3 marques	3458 daN.	13 tests (1 rupt. plaquette)	
	12	inox	1 marque	3634 daN.	3 tests (3 rupt. plaquettes)	
vis à béton 	6,5 (8)	zingué	1 marque	1209 daN.	4 rupt. vis	
	8 (10)	zingué	2 marques	2725 daN.	8 tests (1 rupt. plaquettes)	
	10 (12)	zingué	2 marques	3151 daN.	8 tests (4 rupt. plaquettes)	

Comparatif des valeurs de rupture moyennes, toutes marques confondues, des ancrages à expansion testés au cisaillement.

	diamètre	acier	marque	résistance	15 kN	25 kN
 <p>cheville à visser économique</p>	8	zingué	1 marque	1538 daN.	2 tests	
	10	zingué	1 marque	1778 daN.	2 tests	
 <p>cheville femelle fine à frapper</p> <p>sur plaquette Coeur Petzl</p>	10	zingué	7 marques	967 daN.	20 tests	
	10	inox	1 marque	1822 daN.	4 tests	
	12	zingué	7 marques	1068 daN.	21 tests	
	12	inox	1 marque	2813 daN.	3 tests	
	15	zingué	2 marques	2289 daN.	6 tests	
	15	inox	1 marque	3875 daN.	3 tests	
 <p>Starfix</p>	9	inox	1 marque	2560 daN.	3 tests	
 <p>cheville femelle épaisse</p>	12	inox	1 marque	2078 daN.	4 tests	
	12	acier	1 marque	1836 daN.	3 tests	
 <p>plaquette permanente</p>	12	inox	2 marques	3297 daN.	6 tests	
 <p>cheville à visser sur plaquette Coeur Petzl</p>	10	zingué	2 marques	2092 daN.	6 tests vers. vis	
	12	zingué	2 marques	3327 daN.	6 tests vers. écrous	
	12	zingué	2 marques	3590 daN.	3 tests version vis	
 <p>goujon</p> <p>sur plaquette Coeur Petzl</p>	8	zingué	7 marques	1496 daN.	21 tests	
	8	inox	1 marque	1967 daN.	3 tests	
	10	zingué	9 marques	2578 daN.	27 tests (1 rupt. plaq.)	
	10	inox	8 marques	3489 daN.	21 tests (2 rupt. plaquettes)	
	12	zingué	3 marques	3724 daN.	7 tests (1 rupt. plaquette)	
	12	inox	1 marque	3685 daN.	4 tests (4 rupt. plaquettes)	
 <p>vis à béton sur plaquette</p>	6,5 (8)	zingué	1 marque	1047 daN.	4 rupt. vis	
	8 (10)	zingué	2 marques	2332 daN.	9 tests (1 rupt. plaq.)	
	10 (12)	zingué	2 marques	3875 daN.	7 tests (4 rupt. plaquettes)	

Comparatif global des valeurs de rupture moyennes, toutes marques confondues de quelques ancrages à expansion associés à des anneaux Raumer dans du calcaire dur.



COMPORTEMENT DES ANCRAGES A EXPANSION

Comportement des ancrages au repos

Les ancrages à expansion se verrouillent dans leur logement par compression et friction de pièces métalliques (dilatation mécanique d'une bague ou du corps de la cheville). Ce principe de verrouillage génère une contrainte pour la roche située autour de la zone comprimée (fig. 77). Cette contrainte mécanique permanente qui caractérise tous les ancrages à expansion a tendance à "fatiguer" le matériel et la roche encaissante, ce qui contribue à réduire sa tenue dans le temps.

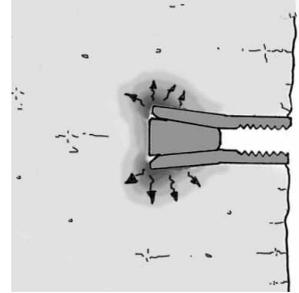


Fig. 77

Il ne faut pas non plus négliger la force exercée par l'expansion de l'ancrage car elle peut être relativement élevée au moment de l'installation notamment avec les ancrages à expansion par frappe. Il est très facile par exemple d'éclater un gros galet bien solide en y implantant une cheville à expansion par frappe (principe de l'éclateur de roche). A l'usage, il est probable que dans le temps, les contraintes liées à l'expansion de l'ancrage s'atténuent. Au moment de la pose, lorsque le volume de la roche n'est pas en mesure d'absorber les contraintes liées à l'expansion, le rocher se fissure et l'ancrage devient inutilisable. Parfois cela peut même se produire de façon surprenante en raison d'une faiblesse dissimulée dans la roche. De même, sous la contrainte, l'augmentation de la force d'expansion lors de la traction peut provoquer le même effet (fig. 78).

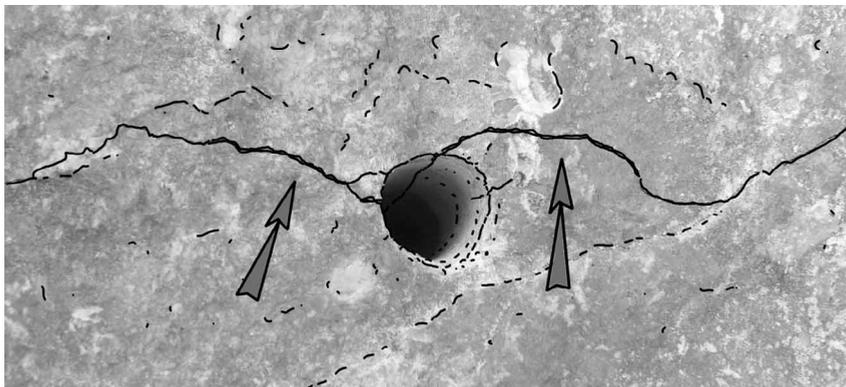


Fig. 78

Les ruptures du support lors de l'expansion d'un ancrage sont susceptibles de se produire surtout lorsque l'ancrage se trouve placé en bordure de dalle ou à proximité d'une fissure (fig. 79); sur une protubérance rocheuse de faible volume (fig. 80) ou sur une lame rocheuse de faible épaisseur (fig. 81).

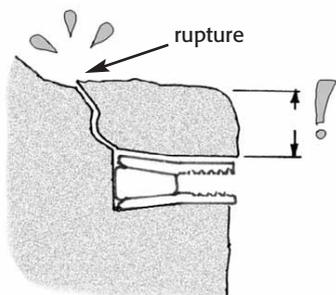


Fig. 79

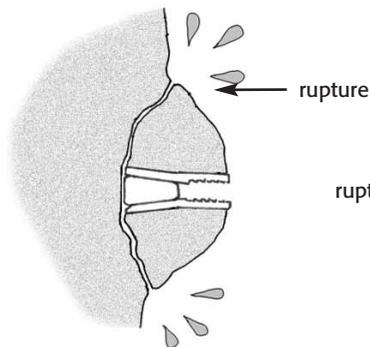


Fig. 80

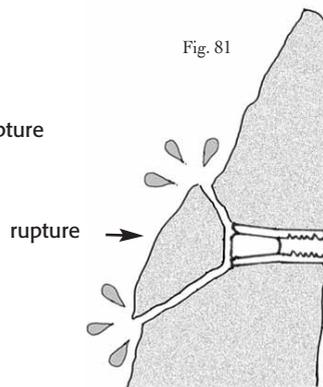
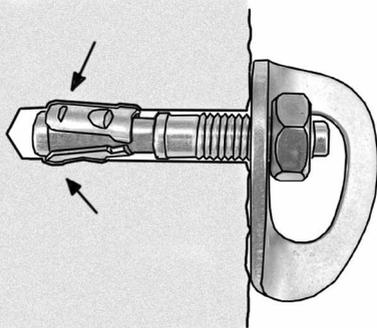


Fig. 81

Une fois en place, un ancrage à expansion crée donc un déséquilibre permanent pour la roche environnante. Les contraintes liées à l'utilisation de l'ancrage se répercutent essentiellement au niveau de la zone d'expansion (fig. 82) surtout lors du travail en traction. C'est à ce niveau que le rocher, constamment sous contrainte, aura tendance à s'éroder en premier. A noter également que ce type d'ancrage n'est pas étanche ; les éléments

extérieurs tels que l'air et l'eau de ruissellement peuvent s'infiltrer dans le logement et contribuer également à le desceller (corrosion, risque d'éclatement de la roche par le gel). On remarque à ce propos que certains goujons sont livrés avec un joint, qui obstrue l'orifice de perçage. On peut également penser que plus la surface de compression d'un ancrage est grande, plus l'effort de compression sera réparti, réduisant d'autant les risques de descellement prématurés.

Fig. 82



voir également les différentes bagues des goujons cahier n°2 page 51

Le rocher entourant un ancrage à expansion est donc particulièrement sollicité puisqu'il est amené à supporter à la fois les contraintes permanentes liées à l'expansion (schématisées de façon concentrique sur l'illustration) auxquelles (fig. 83) s'ajoutent celles engendrées par l'utilisation de l'ancrage (schématisées par les flèches). C'est pour cette raison qu'il est inutile de serrer à "mort" un goujon par exemple car on le fragilise inutilement en exerçant une précontrainte exagérée qui se répercute également dans le rocher sachant que de toute façon l'expansion augmente en même temps que l'on tente d'extraire l'ancrage. C'est aussi pour cette raison qu'il est important, notamment avec les ancrages à expansion, de respecter les règles d'implantation par rapport aux entre-axes et aux bords de dalles. Tous les ancrages à expansion fabriqués pour le bâtiment, sont soumis à des règles d'implantation. Elles permettent de calculer les valeurs de charge et coefficients de réduction à appliquer pour chacun en fonction de différents cas d'utilisation dans du béton. Parfois ces informations figurent de façon simplifiées sur les catalogues de vente ; exemple pour les chevilles Mungo (fig. 84).

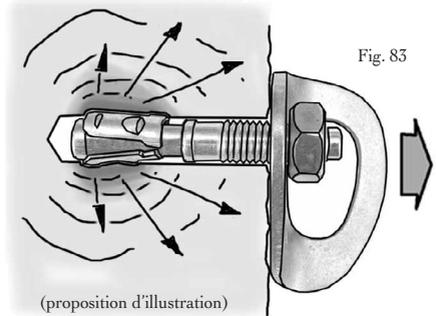
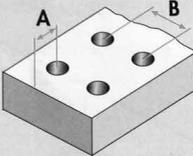


Fig. 83

Fig. 84



Information de pose pour HL-S/HL-B									
Ø filetage en mm	Ø forage en mm	Entraxes min. mm	B	A	Distance min. au bord et entraxes en cas de réduction de charge	Distance min. au bord et entraxes en cas de réduction de charge	A/B	Couple initial de démarrage Nm	Ouverture de clé
M 6	10	250	125				50	15	10
M 8	12	300	150				60	30	13
M 10	15	355	180				70	50	17
M 12	18	400	200				80	80	19
M 16	24	500	250				100	120	24

A savoir que les règles d'implantation et les modes de calcul des charges peuvent s'avérer beaucoup plus détaillées lorsqu'elles s'adressent aux professionnels du bâtiment avec notamment la prise en compte de la direction de l'effort (fig. 85).

Fig. 85

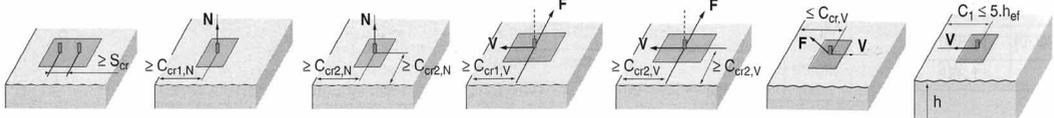
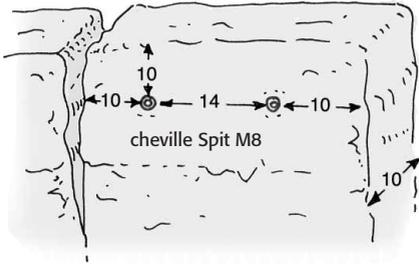


Fig. 86



La plupart du temps, l'équipeur occasionnel en canyon même s'il n'est pas vraiment concerné par les règles de calcul de charges liées aux conditions d'implantation des ancrages, se doit néanmoins d'être vigilant. Evitez de placer les ancrages trop près les uns des autres, se méfier en particulier des bords de dalle (ou des fissures) surtout lorsque l'axe de travail est orienté vers la bordure (fig. 86). C'est le minimum qu'il puisse faire.



Remarque : ce n'est pas parce que le rocher dans lequel on équipe est à priori beaucoup plus résistant que du béton que l'on est à l'abri des mauvaises surprises et que l'on peut se permettre d'être négligent. En effet, les fabricants d'ancrage connaissent parfaitement le comportement du matériel qu'ils vendent parce que le béton dans lequel ils effectuent leurs essais même s'il est par nature hétérogène, est parfaitement calibré. Les roches en revanche, sont plus imprévisibles et ne sont jamais à l'abri d'une faiblesse locale ; en milieu naturel, il faut être encore plus méfiant.

Exemple (fig. 87 : rupture inattendue d'un bord de bloc en calcaire dur (100 Mpa) distant de plus de 15 cm en raison d'une fissure profonde non détectée au marteau (à 3350 daN tout de même...))

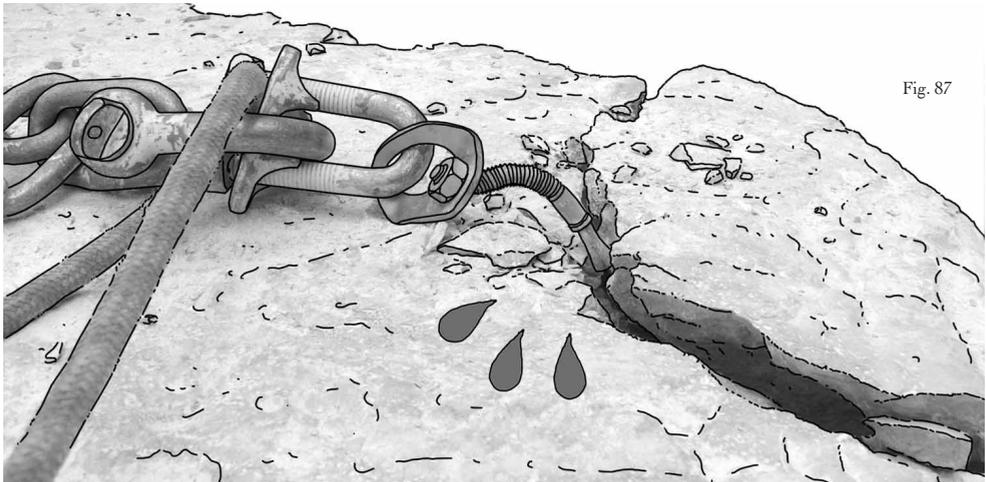
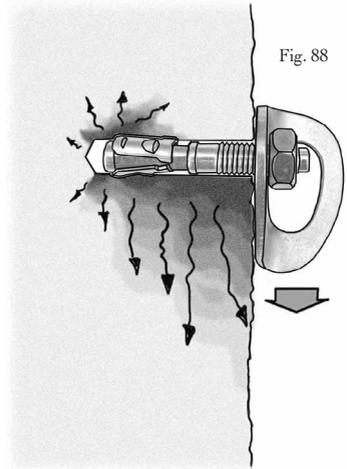


Fig. 87

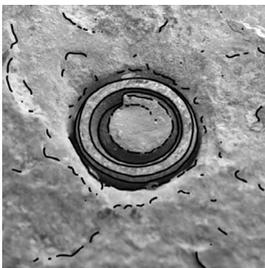
Comportement des ancrages à expansion (lors des tests)

Au cisaillement (à 90° uniquement), l'ancrage, dans un premier temps, travaille en appui dans son logement (fig. 88). Les contraintes appliquées dans la roche, sont très inégalement réparties ; (elles sont matérialisées de façon schématique et imagées en sombre sur l'illustration). La majeure partie de l'effort est donc supporté par le rocher au niveau de la zone d'appui, en bordure du trou. Une partie (très réduite) de l'effort se répercute à l'inverse dans la partie la plus profonde de l'ancrage du côté opposé à la direction de l'effort par phénomène de bras de levier. La partie expansée immobilise l'ancrage mais n'est pas sollicitée dans le sens de l'extraction tant que le cap des 90° ne varie pas. Ce cas de figure est représentatif d'une utilisation normale qui reste stable tant que l'ancrage ne subit pas de phénomène de vieillissement ou n'est pas sollicité au-delà de ses capacités de résistance.



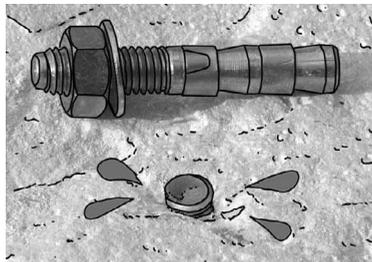
Si on augmente l'intensité de l'effort au-delà de 500 daN on peut rapidement atteindre la limite de résistance de certains ancrages et les sectionner brutalement (plus faible valeur observée : rupture cheville femelle M8 Spit au cisaillement sur anneau Raumer 480 daN). C'est en général le même résultat avec les vis qui accompagnent les chevilles épaisses (fig. 89), les goujons (fig. 90) de 8 mm (les plus fragiles) placés dans les roches très dures ou encore les chevilles femelles (fig. 91).

Fig. 89



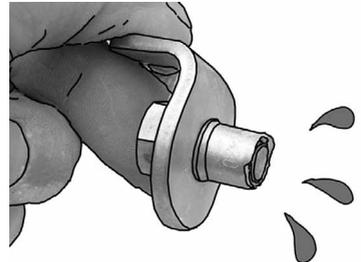
rupture par cisaillement de la vis acier 8.8 sur plaque Coeur : 1850 daN.

Fig. 90



rupture par cisaillement brutal des goujons décollés acier M8 Raumer sur plaque Coeur : 1345 daN moyenne sur 3 tests

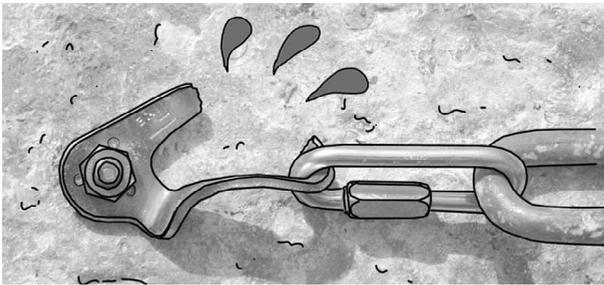
Fig. 91



rupture par cisaillement brutal des chevilles Hilti acier M8 sur plaquettes Coeur : 1161 daN moyenne sur 3 tests.

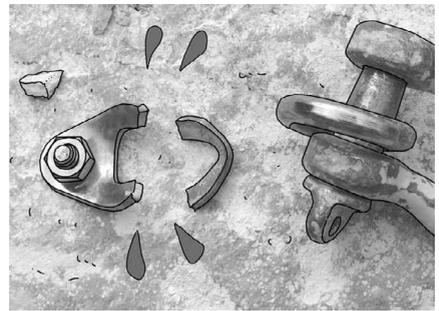
Lors des tests d'arrachement des ancrages de résistance élevée, si on augmente l'intensité de l'effort, on finit par dépasser la résistance des plaquettes notamment en acier (fig. 92 et 93). Bien entendu, nous sommes alors dans le domaine de l'expérimentation car les efforts appliqués sont très importants et dépassent de loin ce qu'il est possible d'obtenir dans le cadre d'une utilisation normale des ancrages en canyon.

Fig. 92



rupture moyenne des plaquettes vrilées acier Fixe : 2124 daN sur 3 tests

Fig. 93

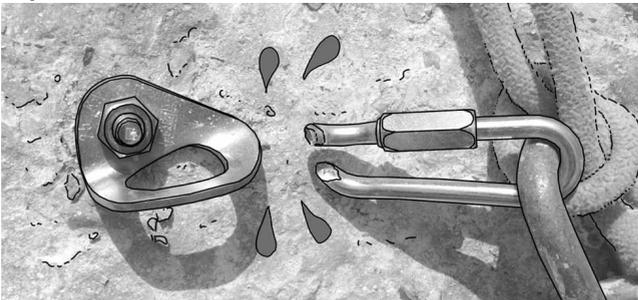


rupture moyenne des plaquettes avec anneau acier Fixe : 2165 daN sur 3 tests

On remarque que généralement, les plaquettes inox sont plus résistantes que les maillons rapides en acier GO n°7 qui finissent par se sectionner (fig. 94).

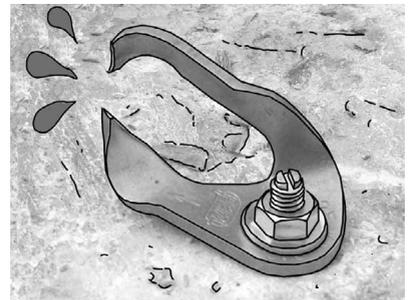
En remplaçant le maillon rapide par une manille, on peut poursuivre le test et parvenir (fig. 95) à la rupture de la plaquette avec ou sans déformation de l'ancrage.

Fig. 94



goujon inox 10 mm. Wurth + plaquette Coeur Petzl rupture moyenne des maillons rapides GO N°7 acier : 2369 daN sur 4 tests

Fig. 95



cheville acier Spit 12x90mm. rupture plaquette Coeur : 3192 daN.

Lorsque l'effort dépasse la limite de déformation de l'ancrage et qu'aucune pièce ne cède, son comportement se modifie. Il commence à se tordre (fig. 96 et 97) et à s'extraire en accompagnant la plaquette. Le dispositif d'expansion joue alors un rôle déterminant puisqu'il retient l'ancrage et occasionne une nouvelle contrainte dans le support (fig. 98).

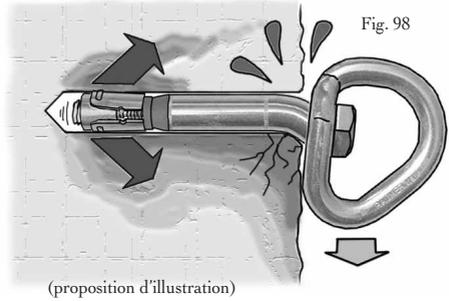
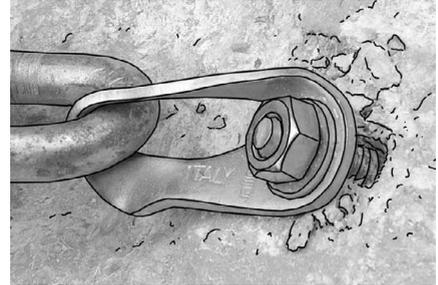


Fig. 96



ancrage Starfix Raumer effort : 2200 daN.

Fig. 97



goujon inox M10 Spit, plaquette Raumer effort : 3506 daN.

Dans les roches de résistance moyenne la bordure du trou fortement comprimé a tendance à se désagréger (fig. 99 et 100 ainsi que 101 et 102 page 44) et à s'arrondir ce qui facilite le phénomène d'extraction de l'ancrage.

Fig. 99

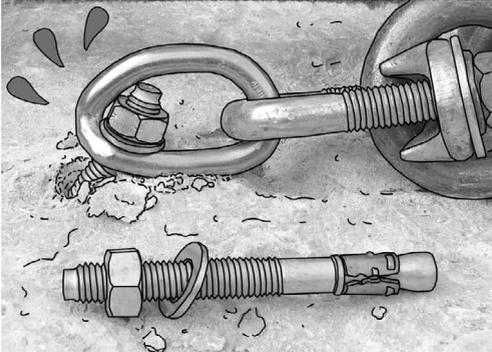


goujon inox Fischer FBN 10x89 effort : 3310 daN.

Fig. 100



ancrage Long Life Petzl effort : 3032 daN.



Goujon 12 mm acier Mungo sur anneau Raumer effort : 6010 daN. Fig. 101



cheville acier Spit 12x90 mm. effort : 3732 daN. Fig. 102

Au final, on observe (dans le cadre des tests réalisés pour le cahier N°12) :

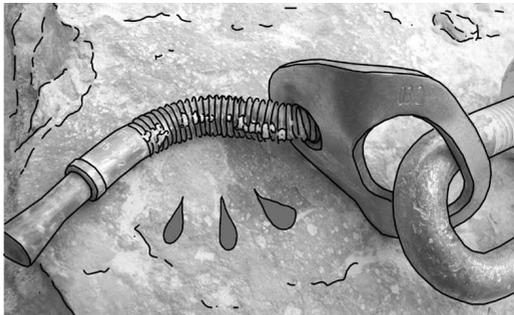
Fig. 103



cheville acier 10x90 mm. Berner rupture 1920 daN.

- soit une rupture de la plaquette (fig. 95 page 42);
- soit une rupture de l'ancrage précédée le plus souvent d'un déchaussement partiel (fig. 103) ;
- soit un déchaussement complet de l'ancrage avec parfois la perte de la bague d'expansion dans le trou ;
- soit une rupture du rocher (fig. 104 et 105) mais c'est plus rare au cisaillement.

Fig. 104



goujon Fischer inox M10 rupture rocher 3100 daN.

Fig. 105



goujon inox M10 Mungo rupture rocher 4195daN.

En traction : rappelons que le rocher est toujours plus fragile en traction qu'en compression (10 fois plus environ en ce qui concerne le calcaire ayant servi aux essais). De même, le comportement de l'ancrage et sa résistance en traction peuvent varier considérablement en fonction du modèle d'ancrage et de la plaquette utilisée (voir influence des plaquettes dans les pages suivantes). Cela dit, globalement, dans une roche homogène, lorsque l'axe de traction est aligné avec celui de l'ancrage, les efforts concentrés au niveau de la zone d'expansion se répartissent ensuite de façon plus ou moins harmonieuse et uniforme (fig. 106) autour de l'ancrage.

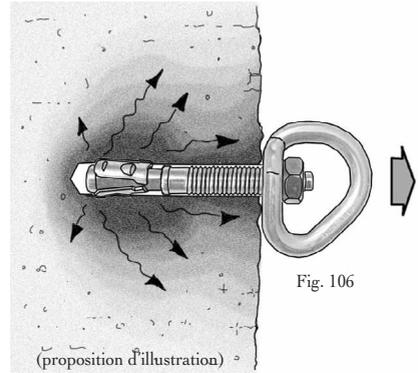


Fig. 106

(proposition d'illustration)

(fig. 107)

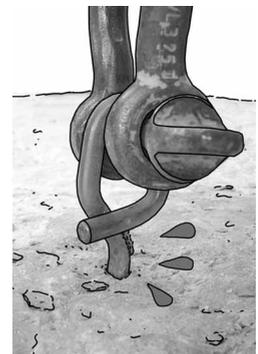


cheville Hilti M8 rupture : 604 daN.

Observations : si on augmente l'intensité de l'effort au-delà de 500 daN on peut rapidement atteindre la limite de résistance des ancrages les plus fragiles. Cela peut être le cas notamment lorsqu'on utilise des plaquettes vrillées avec certains goujons acier de petit diamètre ; certaines chevilles femelles ou encore des vis de 8 mm de qualité inférieure à 8.8. Les plus faibles valeurs de rupture observées l'ont été avec un goujon acier M8 Raumer et une cheville femelle acier Hilti M8 en traction sur plaquette Coeur Petzl : rupture à 604 daN dans les deux cas (fig. 107).

Fig. 108

A partir de 800 daN environ on peut également observer une déformation permanente de certaines plaquettes vrillées (prévues pour travailler en traction il va de soi) car aucune n'est vraiment bien adaptée aux efforts importants en traction et elles supportent l'épreuve avec plus ou moins de succès suivant le modèle). C'est également le cas (fig. 108) des ancrages Starfix Raumer. Cela dit, à 800 daN nous sommes dans le domaine de l'expérimentation car dans la pratique de la descente de canyon, il est d'autant plus difficile d'y parvenir que les amarrages de sécurité comportent plusieurs ancrages et qu'il est toujours possible de répartir la charge.

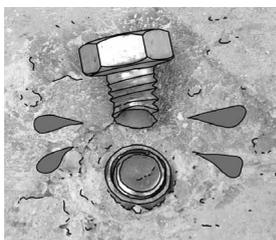


StarfixRaumer ; effort 1400 daN.

Toujours d'une manière générale, concernant les chevilles fines à expansion par frappe (fig. 109 à 112), elles cumulent les inconvénients des pièces creuses qui se déforment difficilement et ceux des ancrages courts (propices à la rupture du rocher). Associées à des plaquettes, elles finissent le plus souvent par casser à l'extrémité de la vis ; mais associées à des anneaux, elles s'avèrent beaucoup plus résistantes et il est fréquent d'observer une rupture du rocher ou un déchaussement.

Fig. 112

Fig. 109



cheville acier à expansion par frappe Spit M12 + plaquette Coeur : rupture vis acier 6.8 2893 daN.



cheville inox à expansion par frappe Hilti M12 + plaquette Coeur : 8 tests, aucune rupture de cheville.

Fig. 110

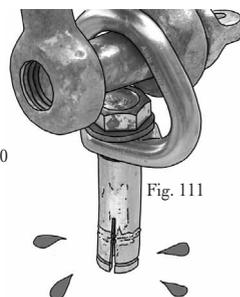


Fig. 111

cheville acier à expansion par frappe Spit M12 déchaussement : 3761 daN.



cheville acier à expansion par frappe Spit M12 rupture : 4016 daN.

Les chevilles à expansion par vissage (fig. 113) se comportent en traction de façon similaire aux goujons (fig. 114) mais sont pénalisées en matière de résistance, par un diamètre de vis inférieur. Le seul goujon (Raumer décollété) inox M12 testé avec plaquette n'a jamais pu être détruit ; sa résistance étant largement supérieure aux plaquettes inox. De même aucun ancrage Starfix testé, n'a pu être arraché; il se sont tous dessoudés et déroulés (fig. 108 page 45). Test Long Life Petzl (fig. 115).

Fig. 115

Fig. 113



cheville acier à expansion par vissage Spit D12 version ecrou + plaquette Coeur : rupture plaquette 2192 daN.

Fig. 114



goujon embouti acier Hilti M 10 + plaquette Coeur ; effort : 2548 daN.



ancrage Long Life Petzl rupture plaquette 2508 daN.

INFLUENCE DES PLAQUETTES (d'après l'observation des plaquettes Coeur de Petzl, anneaux et plaquettes Rock Raumer).

Comme on pouvait s'y attendre, les plaquettes, même aptes à travailler en traction, sont moins robustes lorsqu'elles sont sollicitées dans cet axe puisque ce n'est pas l'axe de travail principal (fig. 116). Cela dit, le fait qu'elles ne résistent qu'à deux tonnes en traction au lieu de trois tonnes au cisaillement n'est guère important. Par contre, elles se déforment plus facilement lors d'efforts de traction que lors d'efforts de cisaillement. Tout dépend du modèle de plaquette. Les plaquettes Coeur de Petzl (fig. 117) commencent à se déformer à partir de 1000 daN. Environ ; plus le diamètre de l'ancrage (avec rondelle) est gros, plus la déformation de la plaquette est retardée. Les plaquettes Rock Raumer, commencent à se déformer légèrement à partir de 550 daN (fig. 118). Cependant, même si les déformations permanentes sont normales, pour les efforts importants (tyrolienne par exemple) il vaut mieux répartir la charge en équilibre sur plusieurs plaquettes (voir cahier n°8).

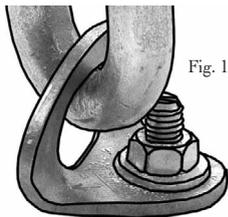


Fig. 117

début de déformation des plaquettes Coeur Petzl
effort : 1002 daN.

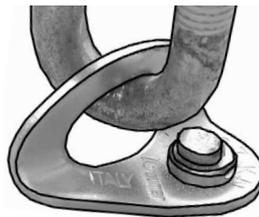


Fig. 118

début de déformation des plaquettes Rock Raumer
effort : 641 daN.

traction
2115 daN.
(6 tests)

résistance à la rupture de la plaquette Rock Raumer

Fig. 116



cisaillement
3293 daN.
(8 tests)

Comportement en traction.

Comme nous avons pu le voir précédemment, aucune plaquette de type "villée" n'est vraiment bien adaptée pour travailler (intensivement) en traction car l'oeil de la plaquette n'étant pas dans l'axe de l'ancrage, il occasionne un bras de levier (fig. 119 et 120) qui a tendance à extraire l'ancrage et à déformer l'axe de l'ancrage juste sous la plaquette (mouvement de torsion).

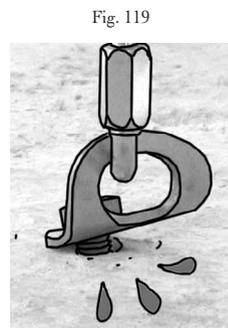


Fig. 119

phénomène d'extraction de l'ancrage

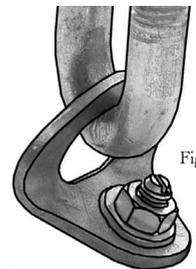


Fig. 120

phénomène de torsion de l'ancrage

Influence des plaquettes sur les goujons : la majorité des goujons lors des tests d'arrachement avec plaquette, se casse juste sous la plaquette, là où le goujon se déforme (fig. 121). Associés à un anneau Raumer on observe le plus souvent soit un glissement du cône d'expansion dans la bague (fig. 122) soit une rupture de la partie conique (fig. 123) lorsque le rocher résiste.

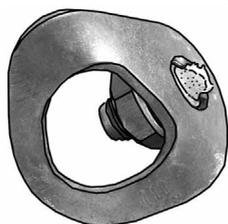


Fig. 121

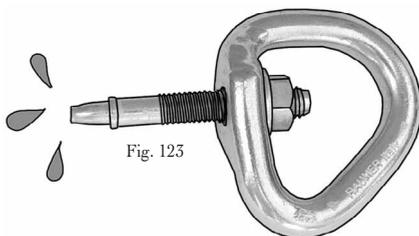


Fig. 123

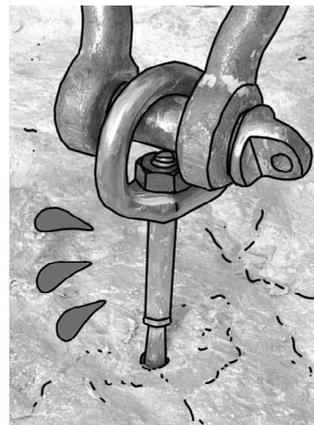


Fig. 122

Les résultats aux tests sont également révélateurs. Globalement tous les goujons qui travaillent en traction avec une plaquette vrillée sont moins résistants que lorsqu'ils travaillent avec un anneau. Cette diminution de résistance est surtout significative sur les goujons de diamètre 8 mm car leur résistance est limitée (exemple avec les goujons aciers Spit Fix II).

traction sur plaquette Coeur Petzl		Spit Fix II 8 x 70	acier zingué	résistance 1493 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
--	--	-----------------------	-----------------	-------------------------	---------------------------------	---------

traction sur anneau Raumer		Spit Fix II 8 x 70	acier zingué	résistance 2023 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
----------------------------------	--	-----------------------	-----------------	-------------------------	---------------------------------	---------

Avec les goujons de diamètre 10 mm, on observe également, avec plaquette, une diminution de résistance qui peut atteindre :

- 15 % environ avec les goujons inox 10 mm.
- 20 % environ avec les goujons acier 10 mm.

traction sur plaquette Coeur Petzl		Spit Fix II 10 x 76	acier zingué	résistance 1911 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
--	--	------------------------	-----------------	-------------------------	---------------------------------	---------

traction sur anneau Raumer		Spit Fix II 10 x 76	acier zingué	résistance 2580 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
----------------------------------	--	------------------------	-----------------	-------------------------	---------------------------------	---------

Cela dit, cette diminution de résistance consécutive à la forme des plaquettes reste négligeable (hormis le cas de certains goujons décollétés ou de petit diamètre) car pour les modèles emboutis de 10 mm, les valeurs de rupture dépassent 1500 daN alors que pour les goujons aciers de 12 mm le phénomène est encore plus marginal car leur valeur de rupture est proche ou dépasse celles des plaquettes.

Influence des plaquettes sur les chevilles femelles à expansion par vissage (fig. 124)

Lors des tests d'arrachement, on s'aperçoit que la plaquette via le bras de levier qu'elle opère, commence par faire ressortir légèrement la vis de la cheville ce qui a tendance à accroître la force d'expansion. Dès que la vis ou que la cheville commence à sortir, la vis se tord juste sous la plaquette (fig. 125). Le corps cylindrique de la cheville reste intact et ne contribue pas à la résistance de l'amarrage.

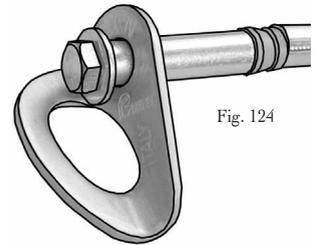


Fig. 124

Sur les quelques modèles de cheville testées avec plaquettes et anneaux, on observe le plus souvent, une légère diminution de la résistance des chevilles en traction consécutive à la déformation de la vis provoquée par la plaquette alors que celle-ci se produit (fig. 126) souvent plus profondément avec un anneau. Toutefois, ce type de cheville est également sujet au phénomène de déchaussement (fig. 127) si bien que les comportements ne sont pas homogènes.

Fig. 127

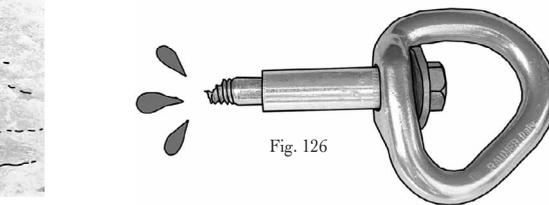
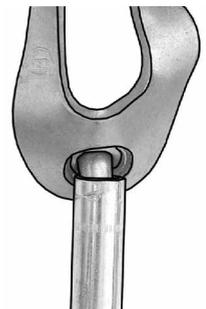


Fig. 126

Fig. 125



traction
sur plaquette
Coeur Petzl



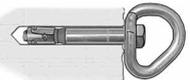
Spit Méga
12 x 75

acier
zingué

résistance
2469 daN.

4 tests version écrou

traction
sur anneau
Raumer



Spit Méga
12 x 75

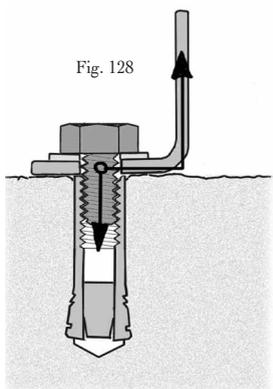
acier
zingué

résistance
3019 daN.

3 tests version écrou

Influence des plaquettes en traction sur les chevilles femelles à expansion par frappe.

Les chevilles femelles de faible épaisseur à expansion par frappe sont les plus sensibles au décalage de l'axe de traction provoqué par la géométrie des plaquettes. En effet, les efforts sont dans ce cas très inégalement réparti sur le corps cylindrique creux de la cheville et l'influence du bras de levier est d'autant plus contraignant que la vis est courte (fig. 128). Ainsi, la résistance moyenne des chevilles femelles à expansion par frappe M10, D12 en acier (fig. 130) d'après quatre modèles testés est 2,5 fois meilleure lorsque ces chevilles travaillent avec un anneau plutôt qu'avec une plaquette Coeur. Associées à un anneau, en traction, elles cassent au même niveau mais résistent mieux. Exemple de valeurs de ruptures moyennes en traction des chevilles femelles acier : Berner B-KA, Wurth W-ED, Spit Grip SA, Mungo ESA montées sur les plaquettes Coeurs Petzl et sur les anneaux Raumer (fig. 129).



traction
sur plaquette
Coeur Petzl



gabarit
12 x 40

acier
zingué

résistance
865 daN.

observations
12 rupt. chevilles

12 tests

Fig. 129

traction
sur anneau
Raumer



gabarit
12 x 40

acier
zingué

résistance
2137 daN.

observations
12 rupt. chevilles

12 tests

A noter que, lors des tests, aucune cheville M12 inox n'a cassé en traction sur plaquette (fig. 131). Avec les chevilles épaisses, quand le rocher résiste, c'est la vis de 8mm qui constitue le point faible (fig. 132). Exemple de déchaussement (fig. 133).

Fig. 133

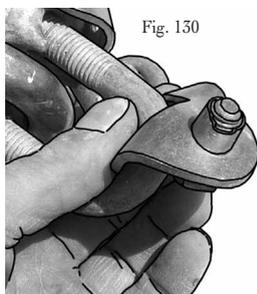


Fig. 130



Fig. 131

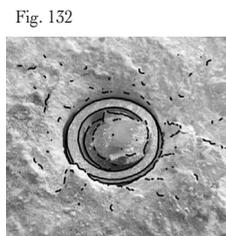


Fig. 132

cheville M8
Pascal MKT
déchaussement
à 1336 daN.



Incidence des plaquettes au cisaillement (d'après l'observation des plaquettes Coeur de Petzl et Rock et anneau Raumer). Indépendamment de la résistance de la plaquette à la déformation et à la rupture (pour rappel, les plaquettes Rock Raumer se déforment à partir de 2000 daN environ, les plaquettes Coeur de Petzl à partir de 2500 daN environ et les anneaux de diamètre 10 mm Raumer peuvent résister à 4000 daN environ sans se déformer) ; on s'aperçoit que les plaquettes, notamment en inox utilisées au cisaillement, sont susceptibles d'influencer la résistance à la rupture d'un ancrage dans la mesure où leur faible épaisseur les rend plus agressives et peut accroître le phénomène de cisaillement de l'ancrage.

Influence des plaquettes sur les goujons

Comparativement aux essais sur anneaux et dans la mesure où la plaquette tient, on s'aperçoit que les goujons ont tendance à se sectionner souvent au ras de la plaquette alors que la rupture se produit souvent plus profondément avec un anneau Raumer (fig. 134). On observe aussi globalement, une légère diminution de la résistance (250 daN en moyenne sur les goujons de 10 mm). Toutefois cette diminution de résistance est plus significative avec les goujons de petit diamètre (exemple goujon 8 mm Berner S-KA) ou avec des goujons réalisés dans un acier plus tendre (exemple goujon Hilti HSA).

Fig. 134



goujon acier Mungo D 12 + anneau Raumer
rupture goujon : 6129 daN.

cisaillement sur plaquette Coeur Petzl		Berner S-KA 8 x 52	acier zingué	résistance 1185 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
cisaillement sur anneau Raumer		Berner S-KA 8 x 52	acier zingué	résistance 1663 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
cisaillement sur plaquette Coeur Petzl		Hilti HSA 10 x 68	acier zingué	résistance 2390 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests
cisaillement sur anneau Raumer		Hilti HSA 10 x 68	acier zingué	résistance 3226 daN.	observations 3 rupt. goujons	3 tests

Influence des plaquettes au cisaillement sur les chevilles femelles à expansion par vissage

Au cisaillement, les conditions de travail des chevilles femelles à expansion par vissage sont meilleures lorsqu'elles sont associées à un anneau (fig. 135) car il dispose d'un appui plus important sur l'entretoise. Les plaquettes, moins épaisses, sectionnent plus facilement les chevilles (fig. 136) d'autant qu'elles ont tendance à se dégager partiellement de l'entretoise dès que la cheville commence à se déformer (fig. 138). Comparativement, les anneaux se maintiennent mieux, et c'est toute la cheville qui se tord à l'intérieur de l'anneau (fig. 139). Il est d'ailleurs possible d'observer, dans ce cas, une rupture de la cheville en partie profonde (fig. 137).

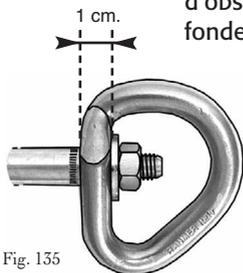


Fig. 135

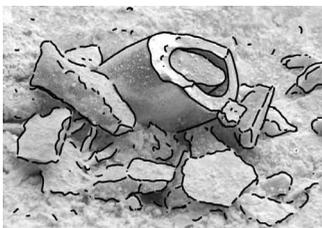


Fig. 136

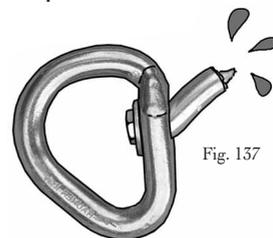


Fig. 137

D'après les quelques tests effectués, les valeurs de rupture des chevilles à expansion par vissage, avec plaquettes ou anneaux, sont assez proches .

cisaillement sur plaquette Coeur Petzl		gabarit 12 x 90	acier zingué	résistance 3473 daN.	6 tests
cisaillement sur anneau Raumer		gabarit 12 x 90	acier zingué	résistance 3887 daN.	6 tests

Fig. 138



Cheville acier Mungo D 12 + Plaquette Coeur : déchaussement : 3400 daN.

Fig. 139



Cheville acier Mungo D 12 + anneau Raumer déchaussement : 4167 daN.

Influence des plaquettes sur les chevilles femelles à expansion par frappe.

Contrairement à la plupart des autres modèles d'ancrage, les chevilles femelles à expansion par frappe de faibles épaisseurs, lorsqu'elles travaillent au cisaillement sur anneau, sont moins résistantes (environ 400 daN de moins en moyenne avec les chevilles acier M10 ; deux fois moins avec les chevilles acier M8). Cela s'explique par la présence de la vis plutôt courte qui, lorsqu'elle n'est pas sollicitée au plus près de la cheville comme c'est le cas avec une plaquette, occasionne un bras de levier qui réduit (fig. 140 et 141) la résistance de l'ancrage.

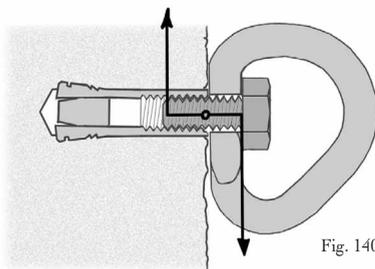


Fig. 140

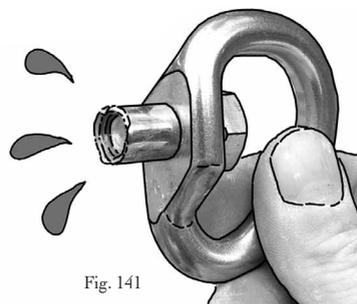
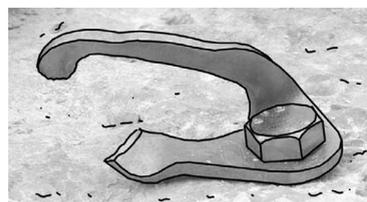


Fig. 141

traction sur plaquette Coeur Petzl		Spit Grip 12 x 40	acier zingué	résistance 1513 daN.	observations 3 rupt. chevilles	3 tests
traction sur anneau Raumer		Spit Grip 12 x 40	acier zingué	résistance 811 daN.	observations 3 rupt. chevilles	3 tests
traction sur plaquette Coeur Petzl		Spit Grip 15 x 50	acier zingué	résistance 2135 daN.	observations 3 rupt. chevilles	3 tests
traction sur anneau Raumer		Spit Grip 15 x 50	acier zingué	résistance 1445 daN.	observations 3 rupt. chevilles	3 tests

Toutefois, les chevilles inox, surtout de gros diamètres (M12) sont particulièrement résistantes, et il est extrêmement difficile de les casser avec une plaquette car c'est justement la plaquette (fig. 142) qui constitue bien souvent le point faible (faiblesse néanmoins toute relative, nous en conviendrons, au vu des valeurs de rupture mesurées)



cheville femelle inox Hilti M12
rupture plaquette : 4348 daN.

Fig. 142



Fig. 143

Qualité d'acier et résistance.

Les ancrages en acier (goujon, vis écrous et tige filetée) sont constitués d'un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone dont la teneur se situe aux alentours de 0,2%. La teneur en carbone de l'acier améliore sa résistance mécanique ; plus un acier est dur plus il est résistant mais plus il est cassant aussi. En dessous de 0,05 % de carbone on est en présence d'un acier doux très malléable et à partir de 2% environ de carbone on obtient une fonte très dure et cassante.

La qualité de l'acier se caractérise par :

- sa résistance mécanique (à la rupture en traction)
- sa limite élastique.

Ces deux caractéristiques essentielles sont données en N/mm² et correspondent à la classe de l'acier utilisé qui peut varier entre 3.6 et 12.9 et qui figure sur les têtes de vis par exemple (fig. 143).

Caractéristiques de l'acier au carbone utilisé pour la fabrication des ancrages (selon NF EN ISO 898-1)

Caractéristiques mécaniques nominales (N/mm ²)	Classes de qualité								
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9
Résistance à la rupture (traction)	300	400	400	500	500	600	800	1000	1200
Limite d'élasticité	180	240	320	300	400	480	640	900	1080

Exemple pour une vis de classe 8.8, le premier chiffre correspond à 1/100^e de la résistance mécanique de l'acier soit : 800 N/mm² ; le deuxième chiffre correspond à 10 fois le rapport entre la limite élastique et la résistance mécanique soit 0,8 X 800 = 640 N/mm² .

Remarque : la multiplication par 10 s'explique par le fait qu'il est plus simple et plus lisible d'inscrire 8.8 que 8.0,8 sur les vis.

A savoir aussi que les aciers courants utilisés pour la fabrication des ancrages bénéficient tous d'un traitement de surface plus ou moins efficace car l'acier brut résiste très mal à la corrosion.

En général, les ancrages (acier) qui nous intéressent sont le plus souvent fabriqués dans des aciers de qualité 6.8 ou 8.8. A noter que certaines chevilles femelles fines en acier sont parfois de qualité inférieure alors que les vis à béton sont, au contraire, le plus souvent fabriquées avec des aciers plus durs.

La plupart du temps, la qualité de l'acier est imposée par le fabricant (à noter que les goujons Hilti existent en versions d'acier 6.8 et 8.8) ; par contre on peut toujours choisir la qualité des vis des chevilles femelles vendues séparément. Or, les valeurs de rupture moyennes des vis de 8 mm observées lors des tests d'arrachements des chevilles épaisses, mettent en évidence (fig. 144) des différences de résistances importantes liées à la qualité de l'acier. indépendamment de la nature de l'acier, le choix de la qualité de la vis est donc, pour ce type d'amarrage, un élément important car dans un "bon rocher, c'est systématiquement la vis qui constitue le point faible.



Fig. 144

De plus, le phénomène de torsion évoqué précédemment avec l'emploi de plaquette occasionne au final un effort de flexion composée qui fragilise les vis si bien qu'elles cassent bien en dessous des valeurs (fig. 145) de ruptures maximales théoriques alors que ce n'est pas le cas des anneaux en traction.

Charges minimales de rupture en daN. (filetage métrique ISO le plus courant)

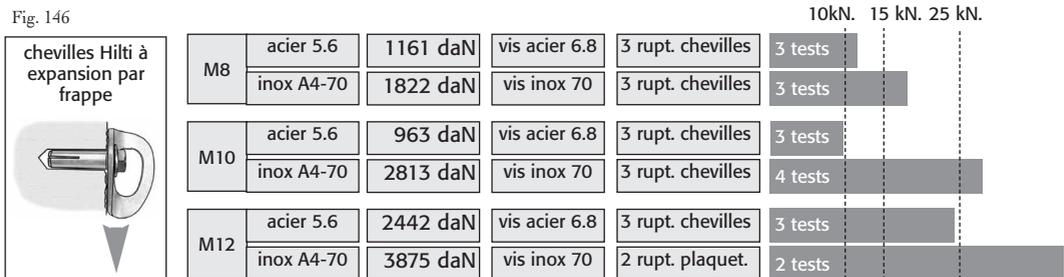
d _{nom} (mm)	A _s (mm ²)	Classes de qualité											
		Aciers au carbone ou aciers alliés									Aciers inox A1, A2 et A4		
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	50	70	80
8	36,6	1210	1460	1540	1830	1900	2200	2920	3810	4460	1830	2562	2928
10	58	1910	2320	2440	2900	3020	3480	4640	6030	7080	2900	4060	4640
12	84,3	2780	3370	3540	4210	4380	5060	6740	8770	10300	4215	5901	6744

d_{nom} : diamètre nominal de filetage
 A_s : section résistante
 Valeurs basées sur la résistance à la rupture minimale

Fig. 145

En revanche, lorsque la résistance d'une cheville femelle à expansion par frappe est limitée par la qualité de l'acier avec lequel elle est fabriquée, il n'y a pas d'amélioration possible en augmentant la résistance des vis car c'est systématiquement la cheville qui cède même avec des vis de qualité standard. Exemple avec les chevilles Hilti à expansion par frappe (fig. 146).

Fig. 146



Quelques fois, la valeur de rupture de la cheville, de la plaquette et de la vis de qualité standard est très proche et le choix de la vis peut encore une fois faire la différence (fig. 147 à 149). Exemple avec les chevilles Spits lors des tests :

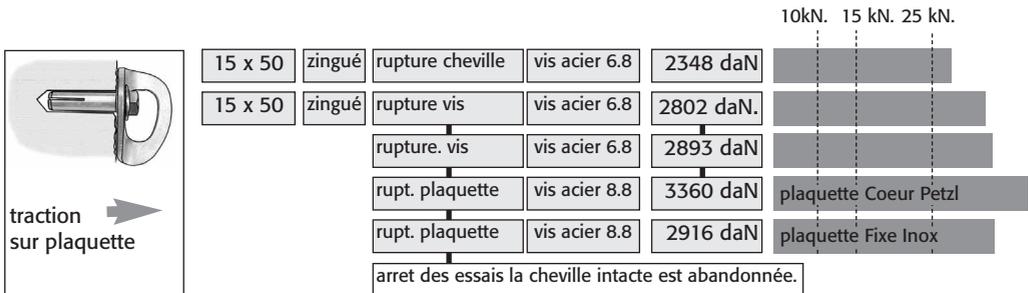


Fig. 149



Fig. 147

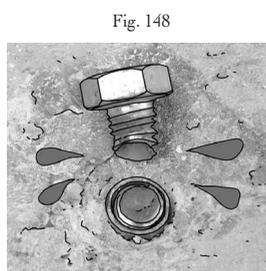
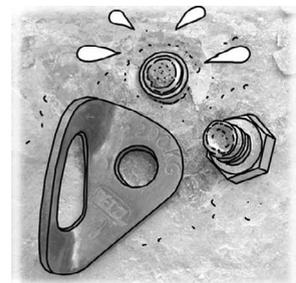


Fig. 148



Les ancrages en inox sont également constitués d'un alliage d'acier et de carbone auquel on a ajouté entre autres, du chrome. Le chrome, principal agent passivant de l'inox, a la particularité de s'oxyder rapidement au contact du dioxygène de l'air. L'oxyde de chrome qui en résulte, forme une couche protectrice passive, très fine (1 à 5 nanomètres d'épaisseur) qui adhère à la surface de la pièce métallique et isole l'acier de l'environnement extérieur. Cette protection est permanente et peut se régénérer aussitôt en cas d'agression dans la mesure où l'acier est à l'air libre. Le terme inoxydable est donc trompeur car c'est justement sa capacité à s'oxyder rapidement qui le protège et il n'est pas non plus complètement à l'abri des phénomènes de corrosion.

D'autres composants tels que le nickel, le molybdène, le vanadium, le cuivre, le titane ou encore le niobium permettent de modifier les caractéristiques de l'inox et d'améliorer sa résistance à la corrosion face à des environnements particuliers.

Au final, il existe une vingtaine de nuances d'aciers inoxydables classée par familles en fonction de leur structure (ferritique, martensitique, austénitique) dont les particularités répondent à des besoins spécifiques.

En ce qui concerne le matériel d'ancrage propre aux activités de pleine nature, on utilise de l'inox de nuance 4, appelé couramment A4 ou AISI 316 (inox de qualité marine). Cela n'a pas toujours été le cas et certains produits ont été proposés en inox de nuance 2, couramment A2 ou AISI 304. Les aciers de nuance A4, bénéficiant d'une plus haute teneur en molybdène résistent mieux à la corrosion.

Indépendamment de sa qualité, la teneur en carbone détermine la dureté de l'acier et permet aussi de classer l'inox ; le chiffre 50, 70 ou 80 par exemple (fig. 150) qui figure sur les têtes de vis indique 1/10° de la résistance mécanique de l'acier en N/mm². Les ancrages que nous utilisons sont généralement fabriqués en inox A4-70.



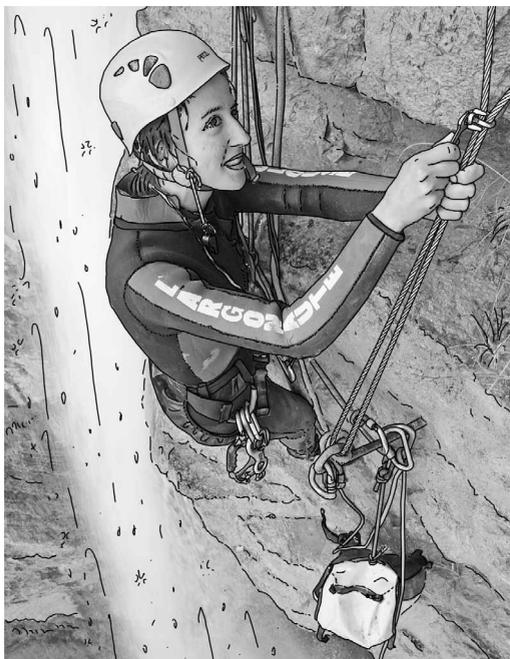
Fig. 150

Caractéristiques de l'acier inoxydable utilisé pour la fabrication des ancrages (selon NF EN ISO 898-1)

Caractéristiques mécaniques nominales (N/mm ²)	Classes de qualité		
	A2 / A4-50	A2 / A4-70	A2 / A4-80
Résistance à la rupture (traction)	500	700	800
Limite d'élasticité	210	450	600

Dans tous les cas, l'inox A4 et qui plus est A2, comme tous les métaux, n'est pas à l'abri des phénomènes de corrosion. Cette corrosion de différentes natures est parfois bien visible; l'inox bruni et finit par se détériorer ; parfois ces altérations, ne sont visibles qu'au moyen d'un microscope.

Fig. 151



Le câble inox qui haubanait la broche de la dernière cascade de Pissarote - Craponoz (38) par exemple, a fini par se corroder en profondeur après une vingtaine d'années de service (fig. 151) et il a dû être remplacé. Cette corrosion a probablement été favorisée par la structure même du câble et peut-être aussi, le contact d'éléments extérieurs, comme le dépôt de calcite par exemple, qui s'y sont incrustés. En revanche, les plaquettes Longlifes en inox A4 sur lesquelles le câble était fixé d'origine, ne présentaient, à ce moment-là, aucune altération visible à l'oeil nu.

Dans les régions tropicales exposées aux embruns marin, la corrosion de l'inox est accentuée par des températures potentiellement élevées et la présence de chlorures de sodium. Dans ces régions, l'inox A4 du type 316 n'est pas suffisamment protégé et on observe, des phénomènes de corrosion sous contraintes qui se forment au niveau des parties métalliques sous tension (zone de pliage des plaquettes ou des broches, soudures, contraintes de service). Ce type de corrosion occasionne une détérioration de la couche de passivation et la propagation de micro-fissures interne qui provoque la mise hors-service rapide du matériel d'équipement. Dans cet environnement particulièrement agressif, pour l'équipement permanent des sites, Il faut impérativement avoir recours à de l'inox du type HCR (haute résistance à la corrosion) disponible chez la plupart des fabricants d'ancrage et certains fournisseurs de matériel d'équipement.

Longueur des vis.

La longueur des vis (fig. 152) n'est pas du tout un détail à négliger car elle doit être adaptée à l'ancrage en fonction de l'épaisseur de la pièce à fixer. Si elle est trop longue, la vis bute en fin de filetage, la pièce à fixer ne peut pas être immobilisée. Elle risque de bouger constamment et de provoquer une usure des pièces qui frottent. Si la vis est trop courte, le nombre de filets en prise risque d'être insuffisant ce qui fragilise l'amarrage. Il va sans dire, que les vis utilisées pour les anneaux sont plus longues que celles utilisées pour les plaquettes. La longueur du taraudage des chevilles et les cotes de vissage préconisées sont indiquées sur les cahiers des charges du fabricant. Parfois, elles

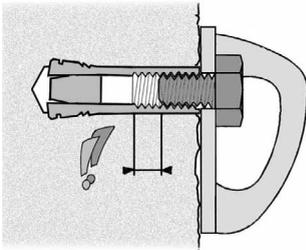
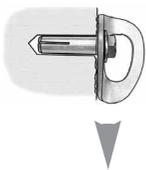


Fig. 152

figurent sur la boîte d'emballage ce qui est plus simple. A noter également que la longueur de la vis peut aussi avoir une influence au cisaillement sur la résistance des chevilles "fines" à expansion par frappe car la rupture de la cheville se produit systématiquement au niveau de l'extrémité de la vis. Il vaut mieux une vis la plus longue possible car la rupture se produira d'autant plus profondément (fig. 153) et la cheville n'en sera que plus résistante. Lors des tests à la rupture des chevilles "fines" à expansion par frappe, l'utilisation de vis légèrement plus longues que celles préconisées (qui occupaient la quasi totalité du filetage de la cheville) a permis d'obtenir des valeurs de rupture apparemment plus élevées que celles obtenues avec des vis de longueur plus "conformes".



Fig. 153



12 x 40	inox	rupt. plaquette	3102 daN.	vis surdimensionnée
		rupture cheville	3594 daN.	vis surdimensionnée
12 x 40	inox	rupture cheville	2196 daN.	vis courte
12 x 40	inox	rupture cheville	2362 daN.	vis courte

Dans tous les cas de figure, il vaut mieux une vis qui se rapproche de la côte maximum que le contraire ; d'autant que parfois la surface du rocher où l'ajustement à fleur de la cheville n'est pas parfait ce qui réduit la capacité de vissage.

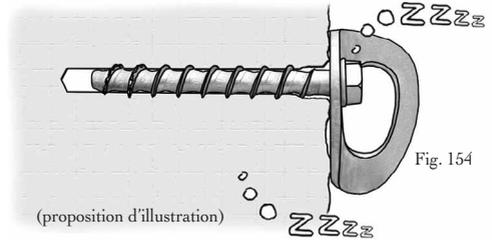
Pour choisir la longueur d'une vis, on peut tout simplement la visser seule, à fond sur la cheville, et s'assurer que la place restante sous la tête de vis est à peine inférieure à l'épaisseur de la plaquette (1 mm de moins suffit).

COMPORTEMENT DES VIS A BETON

Les vis à béton constituent une catégorie d'ancrage particulier dans la mesure où ce sont des pièces métallique qui s'apparentent aux ancrages à expansion mais dont le comportement se rapproche davantage de celui des scellements chimiques.

Comportement au repos

Comparativement à un ancrage à expansion, les vis à béton, au repos, n'occasionnent quasiment aucune contrainte dans la roche tant qu'elles ne sont pas sollicitées (fig. 154). A noter cependant que le couple de serrage de la vis, nécessaire à l'immobilisation de la plaquette occasionne une légère contrainte permanente du filetage de la vis en appui dans le logement rocheux

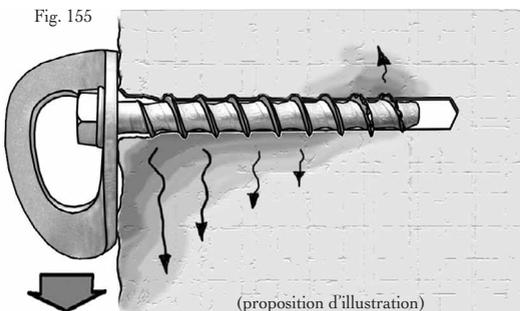


Comportement en charge

Au cisaillement (à 90° uniquement), on retrouve le même comportement que les ancrages à expansion. La vis dans un premier temps, travaille uniquement en appui dans son logement (fig. 155). Les contraintes appliquées dans la roche, sont très inégalement réparties ; (elles sont matérialisées de façon schématique en sombre sur l'illustration). La majeure partie de l'effort est donc supportée par le rocher au niveau de la bordure de trou de côté ou s'exerce l'effort. Une partie (très réduite) de l'effort se répercute à l'inverse dans la partie la plus profonde de

l'ancrage du côté opposé à la direction de l'effort par phénomène de bras de levier.

A noter que les vis à béton présentent souvent des défauts d'appui plus ou moins importants en bordure du trou car, dans les roches très dures, il est difficile d'introduire la vis sans écailler la bordure du trou.



En traction : les contraintes sont réparties sur l'ensemble du filetage prisonnier à l'intérieur du chambrage hélicoïdal taillé dans la roche. Ce principe de fixation permet un excellent transfert des efforts dans le support qui se répartissent de façon uniforme autour de l'ancrage. Exemple d'illustration de la répartition des efforts matérialisés de façon schématisée en sombre (fig. 156). Dans une roche de résistance moyenne ou élevée, il n'y a aucun risque de déchaussement dès lors que la vis est immobilisée.

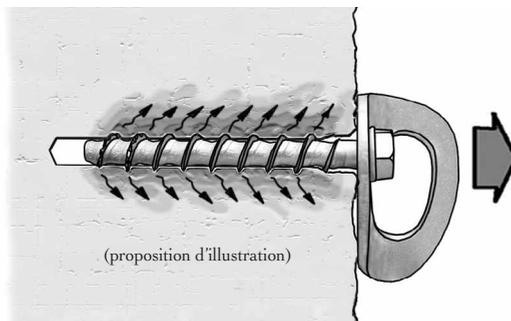


Fig. 156

Toutefois, et plus particulièrement avec les vis de petit diamètre, associées à des plaquettes, le bras de levier (exemple fig.120 page 47) occasionné par la plaquette, lors d'un effort de traction important, a tendance à tordre la vis plus ou moins en profondeur en fonction de l'état de la bordure du trou. Dès qu'elle commence à se tordre, la résistance des vis s'amenuise.

Ce qu'il faut retenir, c'est que les vis à béton de petit diamètre sont les plus délicates à utiliser car une tige d'acier de 6 mm, c'est vraiment petit (fig. 157). Paradoxalement, certaines de ces petites vis sont susceptibles d'afficher des valeurs de résistance très élevées mais restent, d'une certaine manière, fragiles car sensibles aux mouvements de torsion dont la limite peut rapidement être atteinte dès qu'on force pour les installer dans un rocher très dur. Elles sont aussi sensibles, dans une moindre mesure, aux mouvements de flexion répétés qui peuvent se produire lorsque le bordure du trou est écaillée et que la vis manque d'appui. La réutilisation d'une vis dans un nouveau trou ne fait qu'aggraver le problème car les efforts se cumulent. Après, on n'est pas non plus obligé d'utiliser uniquement les vis les plus petites.

Fig. 157



Comportement lors des tests d'arrachement

D'une manière générale, les vis à béton sont constituées d'un acier très résistant qui se déforme difficilement et casse plus rapidement que celui des ancrages à expansion. Souvent, lorsqu'elles commencent à se déformer, les vis à béton sont sur le point de casser ; d'autant que la plupart des vis à béton bénéficient d'un traitement de surface qui les rend encore plus dures et cassantes et qui se fissure dès que la vis se tord. D'ailleurs, au cisaillement, lorsque la bordure du trou a été détériorée sur une profondeur plus ou moins importante lors de l'installation, on observe, lors des tests d'arrachement, une déformation systématique de la vis accompagnée d'un phénomène de fissuration, liée en grande partie à un défaut d'appui (fig. 158).

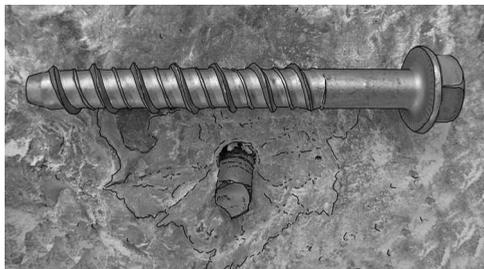
Fig. 158



vis à béton
Hilti HUS-S
10,5 X75 mm.
effort de
cisaillement :
2868 daN.
rupture de la
plaquette

Lorsque la bordure du trou est intacte, elle finit de toute façon par se détériorer sous la pression des grosses vis, ce qui favorise également le phénomène de torsion et libère partiellement les têtes de la vis (fig. 159). Une fois tordue, la vis, sous la contrainte, a tendance à vouloir sortir du trou et c'est le filetage qui la retient. Le plus souvent, la vis finit par casser sous la tête ou au niveau du premier filetage.

Fig. 159



vis à béton
Hilti HUS-S
10,5 X75 mm.
rupture de la vis
au cisaillement :
2480 daN.

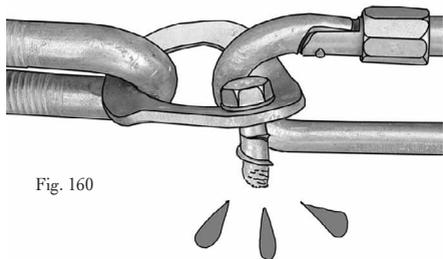


Fig. 160

vis à béton Fischer acier FBS 8/5
(gabarit : 10,6 x 86 mm.)
rupture au cisaillement 1700 daN.

Lorsque la bordure du trou est écaillée, la déformation de la vis est plus importante et la rupture peut aussi se produire en profondeur à l'intérieur du trou (fig. 160).

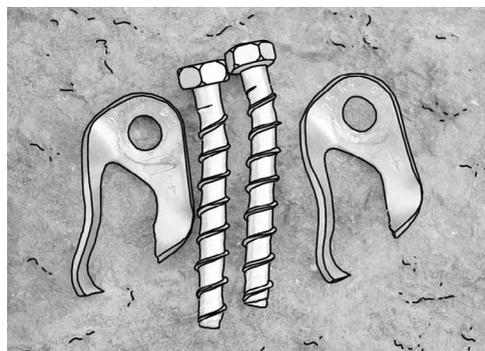
A noter que les vis Fischer de gros diamètre, sont souvent plus résistantes que les plaquettes inox au cisaillement (fig. 161 et 162) ou en traction (fig. 211 à 215 page suivante).

Fig. 162



Fig. 161

vis à béton Fischer acier FBS 10/5
(gabarit : 12,4 x 98 mm.)
rupture de la plaquette Coeur Petzl
au cisaillement : 4030 daN.



vis à béton Fischer acier FBS 10/5
(gabarit : 12,4 x 98 mm.)
rupture des plaquettes (3770 daN. en moyenne)

Fig. 163



vis à béton Hilti HUS-S 12,5 X 85 mm.
(gabarit 12,4 x 95 mm)
effort 3000 daN.

Lors des tests d'arrachement en traction, les vis à béton de petit diamètre ont tendance à se déformer sous l'effet du bras de levier provoqué par la géométrie de la plaquette. Cette déformation (fig. 163) est plus ou moins profonde en fonction de l'état de la bordure du trou. Lorsque les premiers filets ne disposent pas d'appui solide (faible volume de roche, chambrage écaillé) la vis se déforme en profondeur et sa rupture (fig. 164 page suivante) peut se produire à l'intérieur du trou. Lorsque la bordure du trou est saine, les vis testées (fig. 165 page suivante) cassent net sous la tête.



vis à béton Hilti HUS-S 12,5 X 85 mm (gabarit 12,4x 95 mm)
rupture vis en traction 2850 daN.



vis à béton Fischer acier FBS 8/5 (gabarit : 10,6 x 86 mm.)
rupture en traction 3200 daN. environ en moyenne

Fig. 165



vis à béton Fischer acier FBS 10/5 (gabarit : 12,4 x 98 mm.)
rupture systématique des plaquettes (rupture 3335 daN.)

Fig. 166



Fig.167 1600 daN.



Fig.168 2000 daN.

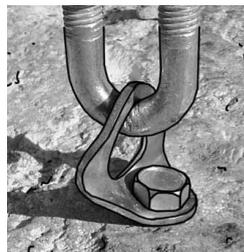


Fig. 169 2500 daN.



Fig.170 3000 daN.

Les vis à béton ne sont pas épargnées par les phénomènes d'ébranlement ou de descellement progressif ; lorsqu'une vis prend du jeu, il est possible de la resserrer. Par contre, les vis sont inadaptées aux roches très tendres, car lorsque c'est le rocher qui finit par s'user, d'une part c'est invisible ! et à la longue, il n'est plus possible de resserrer la vis car elle finit par tourner dans le vide et devient inutilisable.

COMPORTEMENT DES SCELLEMENTS CHIMIQUES

Comportement au repos

Contrairement aux ancrages à expansion, les scellements chimiques (fig. 171) n'imposent aucune contrainte dans la roche tant qu'ils ne sont pas sollicités.

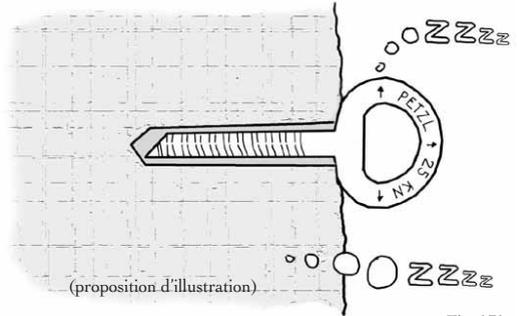


Fig. 171

Comportement en charge

Lorsqu'elle est sollicitée, la partie scellée d'une broche, noyée dans la résine, fait bloc dans son logement, ce qui favorise la répartition des contraintes dans la roche environnante. Dans la mesure où la capacité d'adhérence de la résine sur le support et la pièce à sceller sont mécaniquement résistantes, les contraintes supportées sont réparties sur l'ensemble de la surface collée, donc sur toute la longueur de la broche. C'est la deuxième grande différence avec un ancrage à expansion dont

les points de compression de la bague d'expansion sont réduits. Suivant l'axe de travail et la partie du scellement observée, la liaison travaille tour à tour au cisaillement, en compression ou en traction. Dans un premier temps donc, l'ensemble de la roche entourant le scellement (dans la limite du cône d'arrachement) est effectivement en prise directe sur la tige scellée et contribue à son maintien.

Son comportement évolue ensuite en fonction de l'axe de travail et de l'intensité de l'effort sachant que les résines et les roches sont beaucoup plus résistantes en compression, comparativement aux efforts de cisaillement ou de traction et que la capacité d'adhérence des résines sur la pièce ou le support peut être limitée dans certains cas (fig. 172).

Fig. 172



voir également les scellements chimiques cahier N° 3

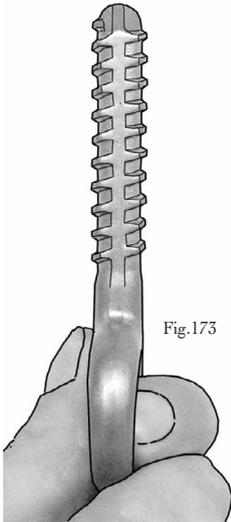


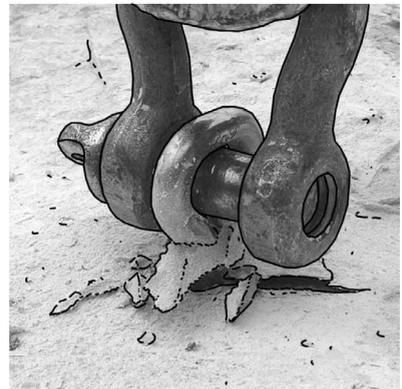
Fig.173

broche Batinox Petzl

Lorsque la capacité d'adhérence de la résine sur le support est réduite (cela peut se produire, au moment du scellement en présence d'eau) ou si elle venait à faiblir dans le temps (cela peut également se produire au niveau de la liaison colle/broche avec certaines résines qui subissent des écarts de température importants ou des cycles gel-dégel). Le maintien de l'ancrage s'apparente alors davantage à un verrouillage de forme et à un coincement plutôt qu'à un collage. La liaison colle/broche dans ce cas est en grande partie tributaire des empreintes qui figurent sur la tige. Exemple broche Batinox (fig. 173). La liaison colle/roche, dont la surface de contact est plus grande, est en grande partie tributaire de la capacité d'adhérence de la résine, des nombreuses micros anfractuosités et rayures qui ornent l'orifice de perçage et de sa résistance mécanique. A savoir qu'il est possible d'obtenir des valeurs de rupture de scellement très élevées même lorsque la capacité d'adhérence de la résine est extrêmement réduite car dans ce cas la résistance mécanique de la résine peut être un facteur déterminant.

Dans tous les cas, même s'il est vrai que, dans le cadre d'un test d'arrachement, la résistance d'un scellement n'est pas forcément meilleure que celle des ancrages à expansion ; le scellement chimique est un mode de fixation moins contraignant pour la roche environnante et plus fiable à long terme. Parmi les plus faibles valeurs de résistance mesurées avec des scellements, on peut citer notamment : une extraction de broche Fixe inox en traction avec la résine HY150 Hilti à 971 daN par rupture de la liaison colle/broche (fig. 174) et une autre rupture plus curieuse (voir résultats détaillés) de liaison colle/broche sur une broche Fixe inox obtenue à 896 daN en traction avec la résine polyester Spit. On peut aussi comparer ces valeurs de rupture avec celles d'un goujon Hilti de 12 mm en acier par exemple qui peut résister à 4 tonnes si la plaquette tient et beaucoup plus avec un anneau Raumer (6129 daN mesuré avec un goujon acier Mungo) ; sans parler des modèles inox encore plus résistants...

Fig.174



résine Hilti HY 150, broche Fixe inox, rupture colle/broche : 971 daN.

Travail en traction

Lorsque l'axe de traction se trouve dans l'alignement de la tige, les liaisons colle/roche et colle/broche travaillent presque uniquement au cisaillement. La totalité de la tige, en prise dans la résine, contribue à la diffusion des contraintes dans le support. L'ensemble des contraintes représentées en gris foncé sur l'illustration (fig. 175) est donc répartie sur toute la surface du logement, et se diffuse de façon plutôt harmonieuse dans la roche environnante, Toutefois, les broches dont l'oeil est décalé par rapport à l'axe de la tige comme la broche Austrialpin Lucky ou Fixe (fig. 176) ont un comportement légèrement différent car elles ont tendance à se déformer plus facilement sous la contrainte. La répartition des efforts dans le support autour de la tige est légèrement modifiée. Mais cela n'entraîne aucune conséquence visible dans le cadre d'une utilisation normale.

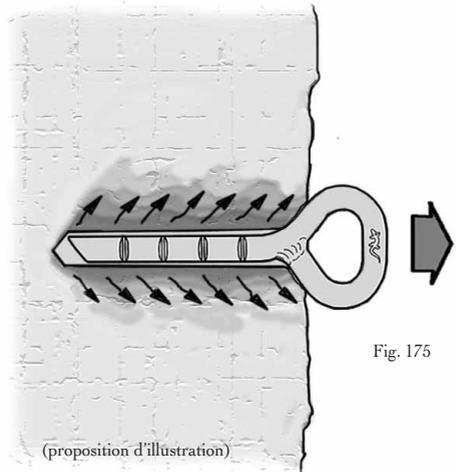


Fig. 175

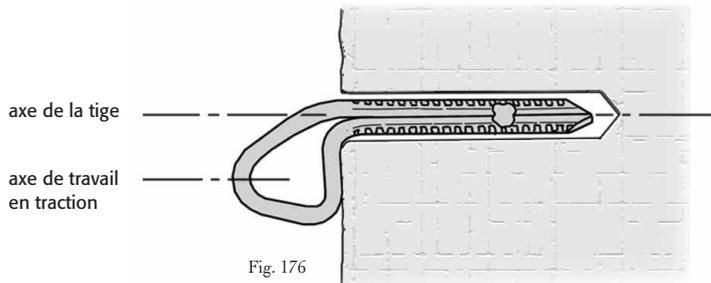


Fig. 176

Observations d'après quelques tests d'arrachement

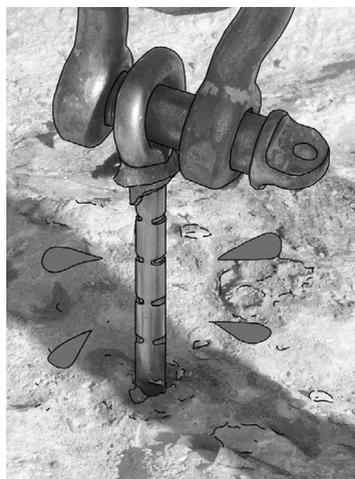
Les tests d'arrachement en traction sont les plus révélateurs pour apprécier les qualités d'une résine ou l'efficacité des empreintes qui se trouvent sur la tige d'une broche car la broche n'a pas la possibilité de se coincer en porte à faux en prenant appui sur le rocher ou dans son logement. Si l'une ou l'autre des liaisons est mauvaise, le scellement ne résiste pas longtemps.

En bref, ce que l'on peut rappeler simplement par rapport à ce qui a déjà été dit dans le chapitre traitant sur les scellements chimiques qui est plus détaillé, c'est qu'en traction, l'adhérence de la résine sur le rocher est d'autant plus critique que le rocher est particulièrement dur, ce qui rend la surface intérieure du trou de perçage plus lisse. L'adhérence des résines est globalement meilleure lorsque le scellement a été entrepris dans un trou sec (ce qui n'est pas toujours évident en canyon) et surtout parfaitement dépoussiéré.

En outre, l'adhérence de la résine sur la broche est d'autant plus critique que sa tige est plutôt lisse. Il suffit d'ailleurs de faire l'expérience en collant une plaquette inox avec de la résine sur un rocher pour constater que sa tenue reste fragile.

Les tests de résistance ont permis d'observer dans les cas les plus défavorables, indépendamment des problèmes liés au défaut de polymérisation, des défaillances colle/broche (à partir de 10kN). Elles se produisent systématiquement (fig. 177) avec les broches Fixes (anciens modèles), qui sont les plus lisses des trois modèles testés. Actuellement, dans la mesure où toutes les broches récentes ont des tiges plus ou moins marquées par des stries, des encoches plus nombreuses et plus profondes ou un crênelage, la résistance globale d'un scellement est en grande partie tributaire de la résistance mécanique de la résine.

Fig. 177



Remarque : avec les broches courtes, notamment (Collinox) dans un trou mouillé, lorsque la résine est fortement contrariée par l'eau et qu'en plus sa résistance mécanique est faible, la

liaison colle/roche peut rompre (fig. 178) assez facilement (à partir de 1200 daN par exemple avec la résine méthacrylate Fischer voire même moins : 1087 daN avec la résine polyester Spît).

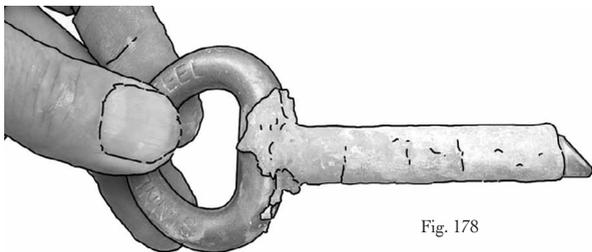


Fig. 178

La majorité des ruptures de scellement des broches en traction se situe au-delà de 2000 daN. Ces ruptures sont provoquées essentiellement par des défaillances de la liaison colle/broche (fig. 177 page précédente) sur les broches Fixe (ancien modèle), des ruptures de liaison colle/roche ou des ruptures de résine au cisaillement en présence des broches Raumer ou Petzl (fig. 179) dont la tige est très marquée. La résistance du scellement après rupture reste souvent élevée ; elle est même parfois plus importante après. Par contre, plus la valeur de rupture est élevée, plus la broche risque d'être éjectée.



Fig. 179

résine Hilti RE 500, broche Superstar Raumer, rupture colle/roche : 4409 daN.

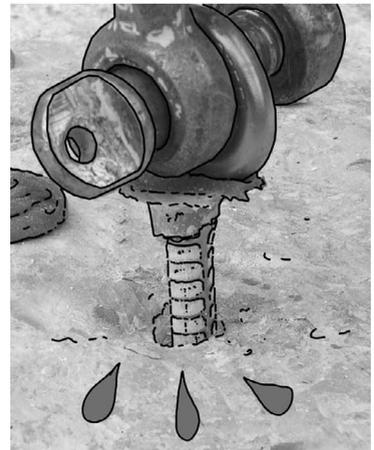


Fig. 180

résine Mungo polyester broche Collinox rupture c/c, c/b, c/r: 2840 daN.

Fig. 181

Certaines ruptures de scellements sont plus complexes (c'est très fréquent notamment avec les broches Collinox par exemple) car elles sont la conséquence de ruptures multiples (fig. 180).

Lorsque les liaisons colle/broche et colle/roche sont très résistantes, l'oeil de la broche se déforme et s'allonge (fig. 181).



résine méthacrylate Fischer; déformation de la broche après un effort de 4980 daN.

Les soudures qui ferment l'oeil des broches Fixe, constituent parfois le point faible du scellement. Onze soudures (sur 65 tests) ont cédé en traction (fig. 182) à des valeurs comprises entre 3327 daN et 4390 daN (deux ruptures de soudure ont également été observées à 2100 et 2700 daN sur les anciennes broches Fixe en acier galvanisé). Les ruptures du rocher en revanche sont rares ; elles peuvent cependant se produire en fin d'extraction lorsque le cône d'arrachement se réduit ou lorsque le rocher présente une faiblesse importante (fig. 183).

Fig. 182



Fig. 183

Au delà de 6000 daN les broches Superstar Raumer, dont la tenue dans la résine peut être extrêmement élevée, et qui n'ont toujours pas cassé finissent par s'étirer en longueur (fig. 184). Dès-

lors, le diamètre de la broche a tendance à se réduire et la liaison colle/broche se désolidarise au fur et à mesure que le phénomène gagne en profondeur. En général, le scellement finit par céder et on observe une rupture de la colle au cisaillement. Lorsque le scellement est extrêmement performant, la broche finit par se rompre à la limite des stries car ce marquage occasionne un affaiblissement de la résistance de la tige (fig. 185).

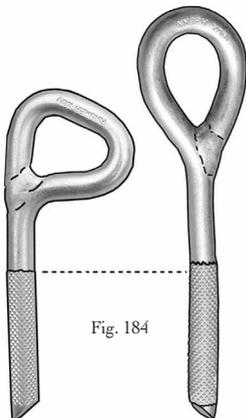


Fig. 184

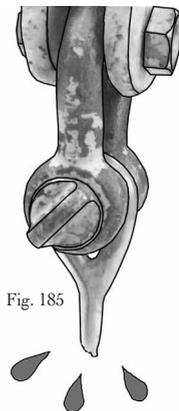


Fig. 185

Travail au cisaillement.

Plus les liaisons colle/broche et colle/roche sont mécaniquement résistantes, plus la tige de la broche, noyée dans la résine, fait corps avec le rocher et plus les contraintes seront, dans un premier temps, réparties sur toute la surface du trou et vont se diffuser (fig. 186) sur l'ensemble du support rocheux autour de la tige. En fonction de la zone du scellement observée, les conditions de travail des liaisons sont différentes (travail en compression, au cisaillement ou en traction). Toutefois, les liaisons qui travaillent en traction sont plus limitées au niveau de la répartition des efforts et ce sont les zones comprimées qui finissent par être soumises à la majeure partie des efforts lorsque la sollicitation s'intensifie. Quoi qu'il en soit, tant que la résistance à la flexion de la broche n'est pas dépassée, le comportement de l'ancrage est stable (dans la mesure où le rocher est suffisamment résistant).

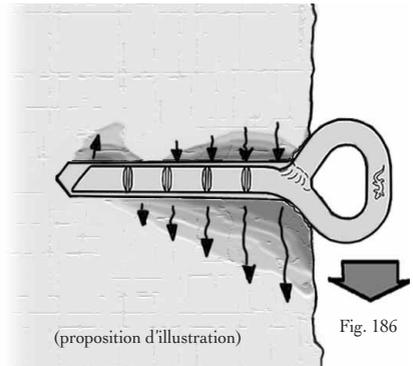
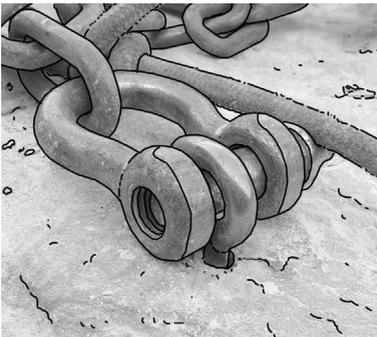


Fig. 186

Fig. 187



broche Fixe inox trou diamètre 10 mm sans résine; effort : 900 daN.

Remarque : quelques essais ont permis de vérifier que même sans résine, une broche Fixe inox libre non encastrée, placée dans un trou vide de 10 mm de diamètre, peut supporter (fig. 187) un effort d'environ 900 daN et une broche Raumer libre (disposant d'un appui plus favorable), un effort d'environ 1200 daN. Dans les deux cas, la broche se maintient sans sortir, et sans déformation importante, uniquement par coincement en prenant appui dans son logement.

Mesure des efforts entre le début et la fin d'extraction au cisaillement des broches Fixe inox et Raumer Superstart placées dans un trou sans résine.



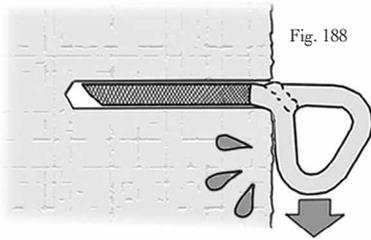


Fig. 188

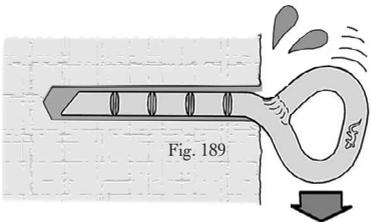


Fig. 189

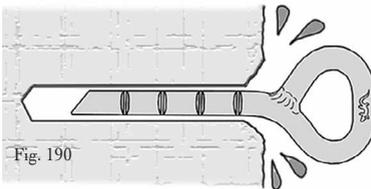


Fig. 190

Lorsqu'on dépasse la résistance à la flexion d'une broche (dans le cadre d'un test d'arrachement), son comportement se modifie de façon plus ou moins visible dans un premier temps, en fonction de la géométrie de l'oeil de la broche. La plupart des broches disposent d'un oeil qui forme un angle droit et prend appui contre la paroi (fig. 188) mais les broches Fixe, par exemple, sont susceptibles de se déformer en premier dans la mesure où l'oeil de la broche est éloigné de la paroi. La déformation du métal ne s'arrête que lorsque l'oeil de la broche arrive en contact avec le rocher (fig. 189).

On peut améliorer la tenue des broches Fixe en aménageant la bordure du trou. Il suffit de creuser minutieusement (au moyen d'un marteau et d'un burin ou du perforateur en position de burinage) la partie haute et basse de l'orifice rocheux afin d'y réaliser un logement qui permettra d'encaster en partie l'oeil de la broche (fig. 190).

Dans tous les cas, même si cela ne change pas grand-chose à la résistance du scellement, la broche est moins apparente et se déforme moins facilement si bien qu'elle sera moins sensible aux chocs. Certains trouvent également que c'est plus esthétique. L'aménagement de la bordure du trou est également utile pour encaster d'éventuelles pièces métalliques disposant d'un oeil rond (fig. 191).

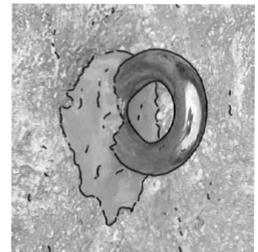


Fig. 191

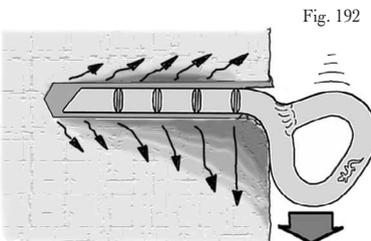


Fig. 192

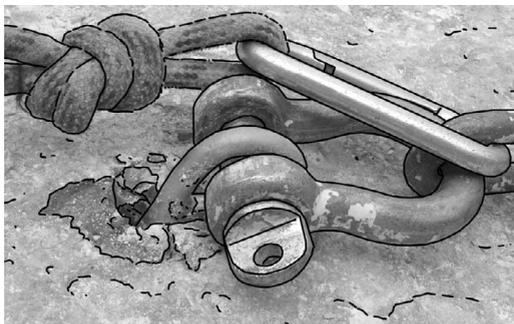
(proposition d'illustration)

A partir du moment où toutes les parties susceptibles de se déformer sont en appui contre le rocher, la broche a tendance à s'enrouler autour de la bordure du trou et à vouloir s'extraire de son logement (fig. 192). Le scellement est donc sollicité également en traction et les empreintes qui se trouvent sur la tige vont jouer un rôle important car dans ce cas, la liaison colle/broche est déterminante.

Si la liaison colle/broche résiste, on peut également observer un début de déformation de l'oeil de la broche.

Il est probable aussi que, même si l'ensemble du rocher entourant le scellement est mis à contribution au-delà de 2000 daN environ (dans un contexte d'expérimentation), les contraintes vont s'intensifier et se concentrer au niveau de la bordure du trou qui travaille en compression. Sous la pression, la bordure du trou finit généralement par se désagréger de façon plus ou moins importante selon la résistance de la roche (fig. 193).

Fig. 193



broche Raumer Superstar effort : 3200 daN.

Fig. 194



broche Collinox Petzl effort : 3100 daN.

En s'effritant, la bordure du trou s'arrondit, ce qui facilite encore plus le phénomène d'extraction de la broche, d'autant qu'à l'opposé, le scellement se détruit dans la même proportion et on peut observer une rupture systématique de la liaison colle/roche partout où la tige est déformée (fig. 194). Inexorablement, la résine se brise et le scellement ébranlé se détériore peu à peu en profondeur. Lorsque la bordure du trou résiste mieux, la déformation de la tige est plus importante et la broche a tendance à casser plus facilement (fig. 195).



Collinox
rupture :
5297 daN.



Fig. 195

Superstar
rupture :
6993 daN.

Fig. 196



étirement d'une broche Collinox

De même, lorsque le scellement résiste, il est parfois possible d'observer un étirement de la tige juste sous l'oeil, à l'extrémité du scellement. Cet étirement provoque un rétrécissement de la tige bien visible (fig. 196) et se solde le plus souvent par une rupture rapide du métal.

Au-delà de 2500 daN avec les broches Fixe, il peut également se produire une rupture de la soudure, et l'oeil de la broche se déroule ensuite à 900 daN environ (fig. 197). Concernant l'orientation de la broche, on peut penser qu'il est plus logique et plus sûr d'orienter la soudure des broches Fixe vers le haut. Pourtant, les observations faites d'après les tests d'arrachement au cisaillement semblent prouver le contraire. Sur vingt six ruptures de soudure constatées, treize broches étaient scellées soudures en haut (valeurs de rupture moyenne 2718 daN) les treize autres étaient placées soudures en bas (valeurs de rupture moyenne 3656 daN). La soudure la plus fragile était placée en haut (1819 daN) la soudure la plus solide était placée en bas (4553 daN). En résumé, les soudures placées en haut ont cédé à des valeurs comprises entre 1819 daN et 3733 daN ; les soudures placées en bas ont cédé à des valeurs comprises entre 3184 et 4553 daN.

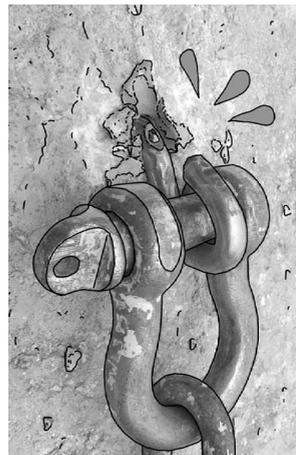


Fig. 197

En conclusion, le fait de placer les soudures en haut ne semble pas améliorer la résistance de la broche. Peut-être parce que l'extrémité de la tige soudée se trouve dégagée de la paroi alors que placée en bas, l'extrémité de la tige soudée s'écrase contre la paroi. On constate également que lorsque la soudure d'une broche fixe placée en haut cède (fig. 198), plus rien ne gêne l'ouverture de l'oeil qui peut se dérouler librement. Dans le cas contraire, lorsque la soudure d'une broche fixe placée en bas cède la tige est maintenue plaquée contre la paroi (fig. 199). Il est donc plus difficile de la dérouler, de plus, même dessoudé, l'oeil est toujours fermé et dans un premier temps, rien ne peut s'en échapper. On peut aussi rappeler que peu importe le sens dans lequel on place la soudure car en théorie, la résistance de la soudure est largement supérieure à la force nécessaire pour ensuite dérouler la broche et que de toute façon, en pratique, il est impossible, même en exagérant, d'ouvrir une broche Fixe avec une corde classique utilisée en canyon dans le cadre de cette activité.

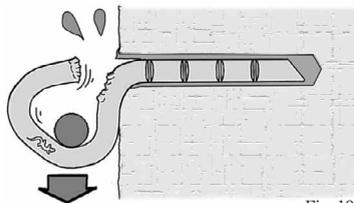


Fig. 198

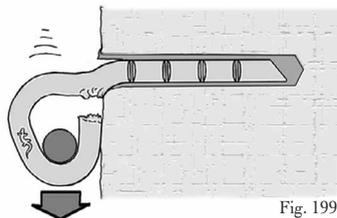


Fig. 199

Lorsque la liaison colle/broche cède en premier comme c'est souvent le cas avec les anciennes) broches Fixe, l'extraction de la broche n'est jamais facile. D'une part, la broche reste coincée par la résine et la déformation de la broche occasionne un bras de levier qui augmente au fur et à mesure qu'elle sort. Il est fréquent d'observer au cisaillement, des efforts d'arrachement supérieurs après la rupture du scellement. Ainsi, il a été permis d'observer (avec une cartouche polyester Batifix, mais le cas n'est pas isolé) une broche Fixe dont le décèlement commence à 2912 daN pour ensuite augmenter progressivement jusqu'à 3148 daN alors qu'elle est arrachée au trois quart et qu'il ne reste guère plus de 2 cm de tige dans le trou (fig. 200). Au final, on s'aperçoit que la résistance des broches scellées s'avère, d'une manière générale, meilleure lors d'efforts de cisaillement qu'en effort de traction et ceux d'autant plus que la valeur de rupture en traction s'est avérée faible. Ainsi, les résultats des tests d'arrachement des anciennes broches Fixe inox (susceptibles de présenter des faiblesses de liaison colle/broche) sont systématiquement meilleurs au cisaillement (fig. 201). Cela s'explique en partie par le fait que la broche travaille en porte-à-faux et qu'avant de pouvoir l'extraire, il faut commencer par dépasser la valeur de flexion de la broche. Mais cela n'explique pas tout car très souvent la valeur de rupture au cisaillement est supérieure à la valeur de rupture de la liaison colle/broche en traction, même déduction faite de la résistance à la flexion de la broche qui commence à sortir de son trou sans résine à partir de 1100 daN environ.

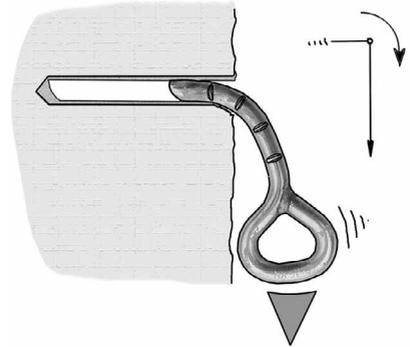


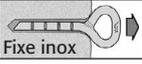
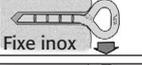
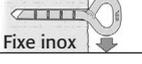
Fig. 200

Fig. 201



Fixe inox
résine ampoule
Spit méthyl-
méthacrylate
rupture :
4800 daN.

Exemple avec la résine époxyacrylate Spit :

traction		époxyacrylate Spit	1237 daN. en moyenne	2 tests
cisaillement		époxyacrylate Spit	3302 daN. en moyenne	2 tests
cisaillement		trou diamètre 10 sans résine	1100 daN. en moyenne	1 test

Au cisaillement, plus que jamais, la résine fait bloc avec la broche et la roche formant un tout extrêmement robuste même lorsque les performances de la résine sont limitées.

Ainsi lorsqu'une faiblesse de liaison apparaît en traction, on peut dire qu'elle disparaît au cisaillement.

Exemple : avec la résine méthacrylate Fischer dont la sensibilité à la présence d'eau sur la paroi du trou affaiblit la liaison colle/roche en traction.

méthacrylate Fischer				
traction		trou mouillé	2241 daN. en moyenne	2 tests
		trou sec	6283 daN. en moyenne	2 tests
cisaillement		trou mouillé	6163 daN. en moyenne	2 tests

On peut donc dire que le travail au cisaillement améliore les performances des scellements les moins robustes mais en contrepartie, les contraintes qu'il occasionne ont tendance à fragiliser la broche (42% de ruptures au cisaillement contre 7% en traction d'après les tests) ce qui du reste, n'est pas un problème puisque les valeurs de rupture sont toujours très élevées.

Par ailleurs, avec les broches Collinox, on remarque que c'est très souvent l'ensemble de la résine qui est brisé et qui est extrait en grande partie du trou. Cela favorise les phénomènes d'éjection de la broche. Plus la résine est dure, plus elle sera éparpillée en petits morceaux (fig. 202). Le comportement des broches Raumer Superstar (fig. 203) est différent car les stries sont moins profondes, ce qui favorise plutôt les ruptures de la résine au cisaillement dans la mesure où la broche ne casse pas, car 80% environ des tests d'arrachement des broches Raumer Superstar se soldent par une rupture de la broche.

Fig. 202

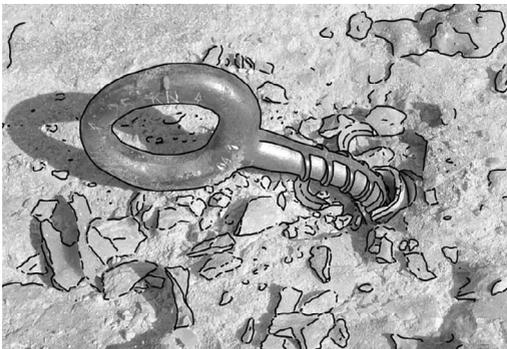
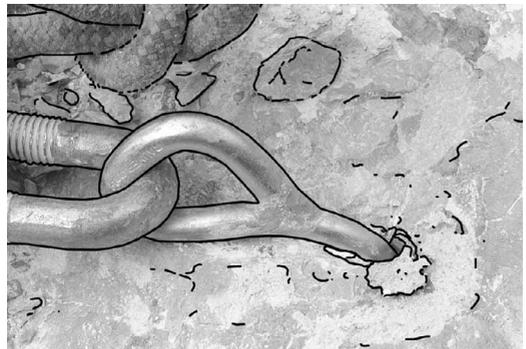
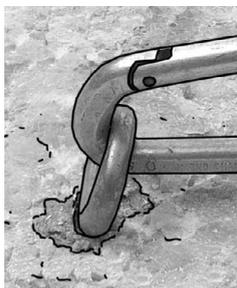


Fig. 203

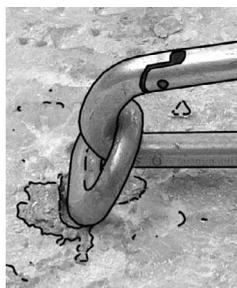


Travail à l'équerre :

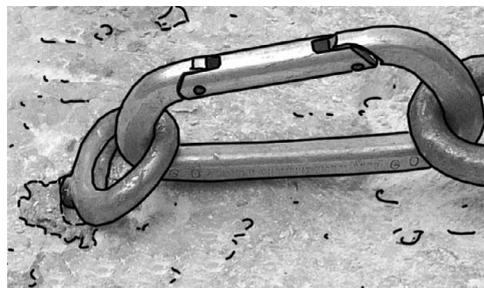
Si la broche est sollicitée à l'équerre, la déformation est bien évidemment encore plus rapide puisqu'elle n'est pas vraiment adaptée à ces conditions de travail comme cela a déjà été expliqué auparavant. Rappelons simplement que, à 90°, à l'équerre, les broches Collinox (fig. 204 à 206) commencent à se déformer à partir de 350 daN et les broches Fixe inox à partir de 500 daN (fig. 207 à 209).



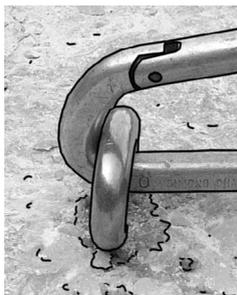
effort : 400 daN. Fig. 204



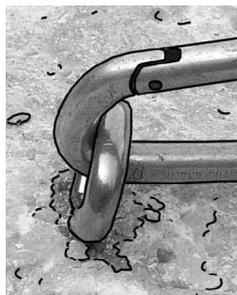
effort : 500 daN. Fig. 205



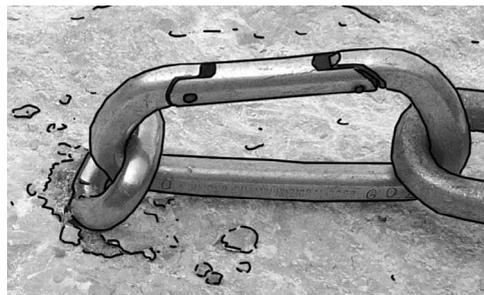
broche Collinox effort : 900 daN. Fig. 206



effort : 500 daN. Fig. 207



effort : 700 daN. Fig. 208



broche Fixe inox effort : 800 daN. Fig. 209



Fig. 210

Par contre, les broches Batinox de Petzl, de par leur diamètre plus important, sont mieux disposées pour ce type de travail, car elles sont capables de supporter, à l'équerre, une charge d'environ une tonne sans se déformer (fig. 210 et 211).

broche Batinox Petzl effort : 1300 daN.

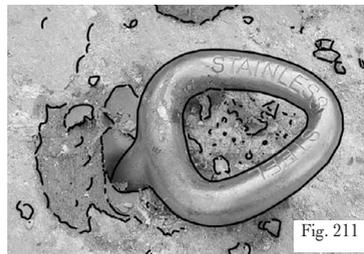
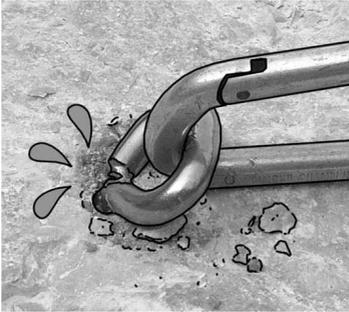


Fig. 211

Batinox Petzl après un effort de 6818 daN à l'équerre

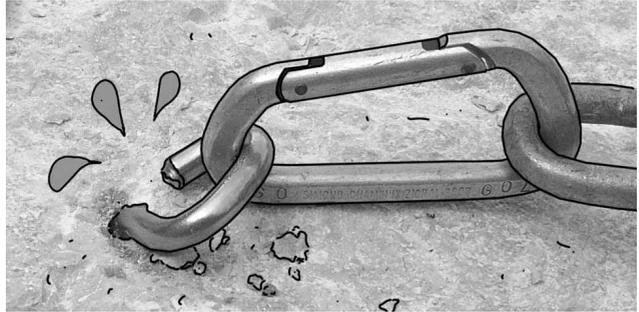
C'est lors des tests d'arrachement à l'équerre que les soudures des broches Fixe sont les plus fragiles car elles se déforment davantage, ont tendance à se fissurer (fig. 212) et cassent plus facilement (fig. 213).

Fig. 212

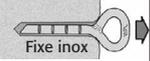
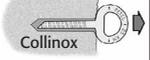


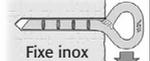
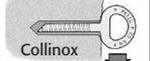
broche Fixe inox effort 1900 daN.

Fig. 213



broche Fixe inox sollicitée à l'équerre : rupture soudure 1975 daN.

bilan des ruptures de broche en traction					
modèle de broche	nombre de tests	ruptures de broches	valeur mini	valeur maxi	valeur moyenne
 Fixe inox	65	13	2100 daN.	4390 daN.	3666 daN.
 superstar Räumer	56	1	5970 daN.	5970 daN.	5970 daN.
 Collinox	69	0			

bilan des ruptures de broche au cisaillement					
modèle de broche	nombre de tests	ruptures de broche	valeur mini	valeur maxi	valeur moyenne
 Fixe inox	60	26	1919 daN.	4553 daN.	3187 daN.
 superstar Räumer	50	38	4485 daN.	7052 daN.	5780 daN.
 Collinox	62	8	3278 daN.	5297 daN.	4190 daN.

Deuxieme partie

Vieillessement des amarrages

VIEILLISSEMENT DES AMARRAGES

Vieillessement par corrosion

La corrosion par oxydation

C'est un phénomène naturel susceptible de dégrader et de détériorer la plupart des métaux et leurs alliages. Ce n'est ni plus ni moins qu'une réaction chimique qui transforme le métal en tendant à lui redonner son aspect originel sous forme d'oxydes tels ceux présents dans les minerais dont ils sont issus (l'hématite pour le fer). La plus connue des corrosions est la rouille qui ronge peu à peu le fer et l'acier (fig. 214). La corrosion nous concerne car elle peut altérer la résistance des ancrages et notamment lorsqu'ils sont en acier zingué ; d'autant plus que l'eau joue un rôle essentiel et que les canyons sont des environnements souvent humides exposés à la pluie, aux embruns et aux projections d'eaux. La corrosion des ancrages est aussi un phénomène chimique extrêmement complexe à appréhender car elle peut se manifester de différentes façons plus ou moins visibles. Elle peut être liée d'une part aux conditions atmosphériques et aux phénomènes de réactions électrochimiques (oxydo-réduction) mais pas uniquement car les phénomènes de contraintes permanentes et la nature de la roche sont également susceptibles d'interférer dans le processus.

Fig. 214



La corrosion atmosphérique

Elle résulte essentiellement de l'action du dioxygène de l'air responsable de l'oxydation des métaux, et (fig. 215) des conditions atmosphériques (fluctuation de température, taux d'humidité, condensation, pluie, pollution). Elle est active en présence d'eau (pluie, brouillard, projection ou d'humidité importante).

L'oxyde de fer par exemple provoqué par l'oxygène et l'eau (qui forme la rouille), dégrade lentement mais inéluctablement la pièce métallique car il est poreux et perméable à l'eau; ainsi, le processus chimique qui corrode le métal en profondeur est ininterrompu. Il n'est pas rare d'observer sous terre ou en canyon, des vieux Spits dont le filetage a complètement disparu à force de rouiller et d'être sollicités. En revanche, les oxydes de chrome contenus dans l'acier inoxydable forment une couche protectrice qui gêne la progression de l'oxygène et protège mieux la pièce métallique.

Fig. 215



La corrosion est accélérée dans les cas suivants :

- en milieu littoral, en raison de l'humidité importante et de la teneur de l'air en sel marin ou occasionnellement mais dans une moindre mesure au contact de l'eau d'écoulement en provenance d'un bassin d'alimentation comportant un important réseau routier soumis au salage hivernal ;
- dans les zones exposées à la pollution atmosphérique comme la proximité des grandes villes les vallées industrielles en raison des rejets de fumées polluantes. Les rejets du dioxyde de soufre, notamment, génèrent des pluies acides, qui accentuent les phénomènes de corrosion.
- en milieu tropical marin où les phénomènes de corrosion, même sur l'acier inoxydable sont particulièrement destructeurs (proximité de la mer, le climat doux et humide tout au long de l'année). A noter également les Régions volcaniques actives présentant localement des émanations de gaz acides ou sulfureux (fumerolles de soufre présentes dans la partie supérieure du canyon du Galion en Guadeloupe). A noter que sur cette île, certains équipements (fig. 216) réalisés avec des anneaux métalliques ont témoigné d'un vieillissement par corrosion extrêmement rapide.

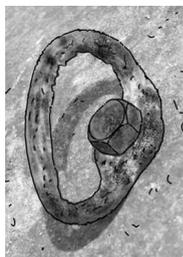


Fig. 216

La corrosion électrochimique

La corrosion électrochimique peut se produire lorsque les aciers de nature différente sont mis en contact et que leur différence de potentiel engendre un courant électrique. A l'image d'une pile électrique métallique, le métal le moins noble aura tendance à s'oxyder et à se corroder (anode) alors que l'autre aura tendance au contraire à être protégé (cathode). Pour que le phénomène se produise il faut également la présence d'un liquide conducteur appelé électrolyte (d'où également, l'appellation de corrosion électrolytique). On parle aussi parfois de corrosion galvanique pour expliquer le même processus car dans certains cas, lors de la réaction chimique, il peut se former à la surface du métal (qui joue le rôle de cathode), une couche de produit de réaction qui forme un dépôt.

Le phénomène électrochimique corrode les amarrages en canyon lorsqu'ils sont constitués de plusieurs éléments métalliques de nature différente (plaquette, ancrage, visserie, maillon rapide) car ils sont placés dans un environnement humide (pluie, ruissellement, embrun).

	ancrage inox	ancrage galvanisé	ancrage zingué
plaquette inox	OK	corrosion ancrage	corrosion ancrage
plaquette galvanisée	corrosion plaquette	OK	OK
plaquette zingué ou chromaté	corrosion plaquette	OK	OK
plaquette acier brut	corrosion plaquette	corrosion ancrage	corrosion ancrage
plaquette alliage alu	corrosion plaquette	corrosion modérée ancrage	corrosion ancrage

En effet, l'eau de pluie et de ruissellement, plus ou moins chargée de sels minéraux, de particules chimiques issues de la pollution atmosphérique ou de sel en milieu littoral, accentue le phénomène de corrosion électrochimique. La corrosion par phénomène électrochimique sera donc plus importante pour les amarrages situés à proximité des régions industrielles et urbaines dont l'atmosphère est davantage polluée, ou situées en bordure de mer en raison des embruns marins salés, très bons

conducteurs des ions électrochimiques (canyon de Na-mora ou Mortix aux îles Baléares). Sachant également que la nature de la roche joue certainement un rôle dans ce processus.

Ainsi, en canyon une plaquette Zical associée à un goujon inox, va s'oxyder lentement ; provoquant en profondeur, des micro-fissures qui vont la détériorer et en surface, un dépôt blanchâtre (alumine). Ce type de corrosion est encore plus sournoise lorsque c'est l'ancrage qui est affecté (comme une plaquette zical associée à un ancrage en acier zingué) car c'est au niveau de la zone la plus humide (dans le trou) et donc la moins visible qu'elle est la plus active (fig. 217 et 218). Si, malgré tout, un choix doit être fait, il vaut donc mieux privilégier l'ancrage à la plaquette car une plaquette corrodée ça se voit et on peut la remplacer.

Fig. 218



amarrage exposé à la pluie, depuis un peu plus de cinq ans présentant des traces de corrosion avancées sur l'écrou, la rondelle et le goujon en acier zingué, favorisées par une corrosion électrochimique consécutive à la plaquette inox.

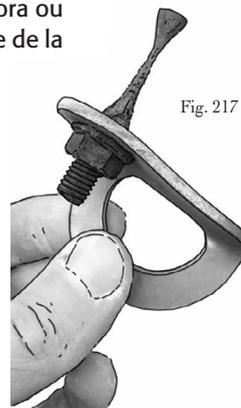


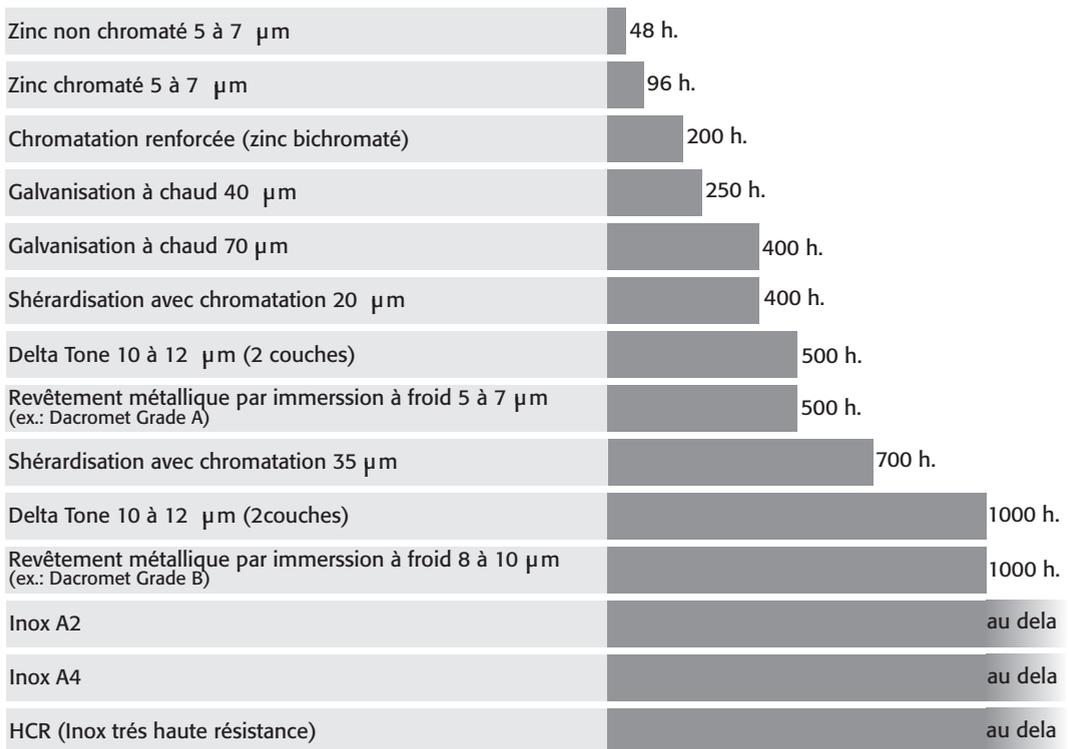
Fig. 217

Il est donc important, d'une part, d'utiliser les écrous et rondelles fournis d'origine avec les ancrages et d'utiliser des ensembles ancrage-vis-plaquette de même qualité d'acier.

sachant que pour l'équipement des sites sportifs, seul l'inox sera retenue l'inox de très haute qualité pour les sites situés en milieu tropical marin (canyon en bord de mer).

Résistance des matériaux à la corrosion.

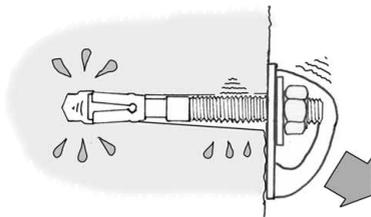
L'acier brut est le plus vulnérable (l'humidité ambiante suffit à le rouiller), différents revêtements et traitements de surface permettent de lutter contre la corrosion atmosphérique. Les plus couramment utilisés sont : l'électrozingage et la galvanisation à chaud mais ce sont les ancrages en acier inoxydable (A4) qui de toute façon offrent les meilleures garanties de longévité en canyon. La résistance à la corrosion des différents traitements et qualités d'acier utilisés dans le bâtiment, s'évalue notamment d'après la norme NF E 25-032. Elle consiste à mesurer en heure, la tenue des échantillons exposés au brouillard salin jusqu'à l'apparition de rouille rouge . Ce test se réalise par pulvérisation d'une solution saline (eau distillée + chlorure de sodium) dans une enceinte fermée à une température de 35°.



Vieillessement par usure et descellement progressif.

A force d'encaisser les contraintes liées à l'utilisation d'un ancrage, il arrive que la roche finisse par s'user au niveau des parties comprimées entraînant un jeu entre la roche et l'ancrage. Progressivement, ce jeu peut s'accroître jusqu'à provoquer le descellement complet de l'ancrage qui finit par quitter son logement (fig. 219). Une fois qu'ils ont pris du jeu, les ancrages à expansion par frappe ne peuvent plus être immobilisés à nouveau et deviennent inutilisables (descellement rapide). Les chevilles à expansion par vissage et les goujons qui prennent du jeu, occasionnent un desserrage de la vis ou de l'écrou ; ils peuvent, la plupart du temps, être momentanément resserrés (tant que la longueur du filetage le permet). Cependant, s'il est vrai que les goujons munis d'un filetage long peuvent être resserrés de nombreuses fois, le problème risque d'empirer car le resserrage régulier du goujon entraîne son retrait progressif ce qui

Fig. 220



accentue le phénomène de descellement et réduit de plus en plus sa résistance. Dans tous les cas de figure, lorsque l'écrou bute sur la fin du filetage, l'ancrage bouge de façon irrémédiable et devient définitivement hors-service. A noter que le filetage des goujons a tendance à user plus rapidement le logement rocheux qui s'ovalise peu à peu par phénomène de limage (fig. 220) contrairement à une pièce cylindrique lisse.

Par ailleurs, les parties métalliques mobiles, au contact d'un amarrage (plaquette sur vis, maillon rapide sur plaquette), peuvent s'user de façon mécanique par frottement. De même, la montée des eaux lorsqu'elle chahute les amarrages comportant de nombreuses pièces métalliques comme des tronçons de chaîne favorise l'usure du matériel par frottement des pièces les unes contre les autres ainsi que celles qui sont en contact avec le rocher. Parfois, ces frottements occasionnent aussi un décapage du traitement de surface qui protège les pièces en acier zingué.

Fig. 219

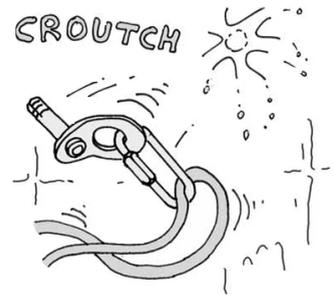


Fig. 221

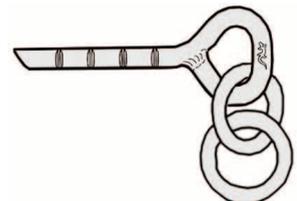




Fig. 222

On peut aussi rappeler que d'une manière générale, l'utilisation intensive des amarrages accélère l'usure du matériel et plus particulièrement celle du maillon de rappel qui est exposé au frottement répété des cordes. On peut anticiper ce problème sachant que l'usure de l'oeil d'une broche est irrémédiable ; alors qu'un anneau soudé (fig. 221 et 222) une fois usé, peut-être remplacé par un maillon rapide.

Vieillessement par agression extérieure

Les agressions extérieures sont essentiellement le fait des crues et parfois des chutes de pierres. Tous les ancrages exposés aux risques de crues sont susceptibles de vieillir rapidement. Lors de pluies torrentielles notamment, les crues peuvent être violentes et spectaculaires ; provoquant une augmentation brutale et importante du débit. Dans les corridors, le niveau de l'eau peut parfois s'élever sur une hauteur impressionnante charriant de la boue liquide, des pierres (fig. 223) et des arbres arrachés au flan du canyon. De même, la force de l'eau, lors d'une augmentation du débit, peut déstabiliser des blocs et occasionner un effondrement ou ouvrir une brèche dans un barrage naturel.



Fig. 223

C'est alors des blocs énormes qui sont déstabilisés et déplacés entraînant avec eux un déluge de pierres. L'ancrage qui ne serait pas abrité risque d'être écrasé (fig. 224 à 228) ou martelé par cette pluie de pierres. Parfois il suffit d'une seule crue pour détruire définitivement un amarrage en place.

Fig. 224



Fig. 225

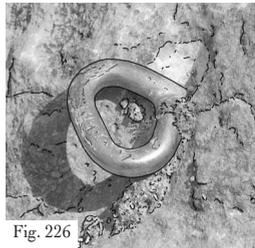


Fig. 226



Fig. 227



Fig. 228

La formation de glace (fig. 229) peut également détériorer les équipements en place lorsque l'eau infiltrée dans le logement de l'ancrage gèle ou encore en arrachant l'ancrage lorsqu'il est emprisonné dans la glace ou lorsque l'ancrage est exposé à la chute de gros glaçons.

Fig. 229

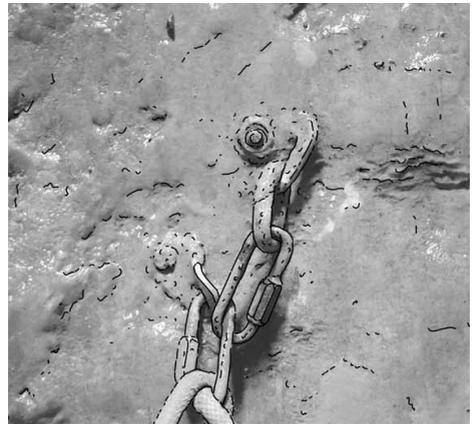


A noter également que les équipements placés dans les canyons creusés dans un environnement calcaire sont parfois exposés à la formation de calcite (formation d'un dépôt de calcaire) recouvrant l'amarrage qui rapidement devient inutilisable et finit par disparaître, noyé dans la roche. Exemple d'ancrage recouverts de calcite : canyon de Moulin Marquis dans le Vercors (fig. 230) et canyon de l'Infernet en Chartreuse (fig. 231).

Fig. 230



Fig. 231



Troisième partie

**Évaluer la tenue
des amarrages**

EVALUER LA TENUE DES AMARRAGES

Evaluer le degré de fiabilité d'un amarrage (fig. 232) c'est tenter d'apporter des éléments de réponse à la question suivante :

quel est le point "faible" de l'amarrage, combien peut-il supporter et dispose-t-on d'une marge de sécurité suffisante pour pouvoir l'utiliser.

Une partie de la réponse se trouve donc :

- dans les causes de rupture ;
- dans les causes d'affaiblissement immédiates (l'amarrage est moins solide que prévu avant même que l'on s'en serve) ;
- dans les causes d'affaiblissement liées au vieillissement de l'amarrage à l'usage et avec le temps (il deviendra moins solide avec le temps).



Fig.232

Causes de rupture des amarrages à expansion

Parmi les principales causes de rupture d'un amarrage à expansion on distingue :

- la rupture d'une partie métallique constituant l'ancrage :
 - rupture de la cheville, du goujon, (fig. 233 et 234) ou de la vis de serrage des chevilles à expansion par vissage ;

Fig. 233

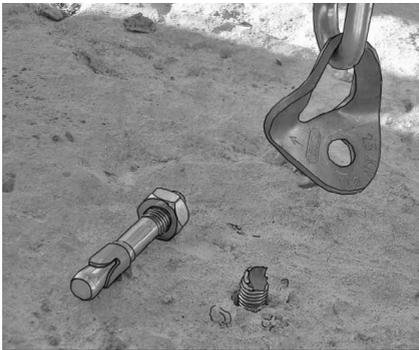


Fig. 234



- rupture d'une partie ou d'un accessoire rajouté à l'ancrage :
 - rupture de la vis (fig. 235) qui maintient la plaquette, rupture de la plaquette (fig. 236 et 237), rupture du maillon rapide fixé sur la plaquette (fig. 238) ou encore de l'anneau de liaison ;

Fig. 235

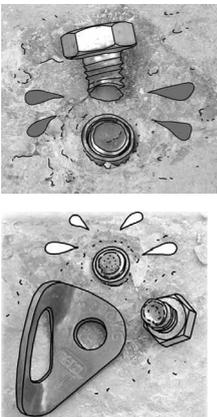


Fig. 236

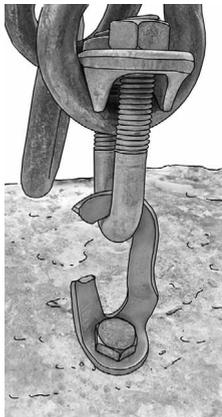


Fig. 237

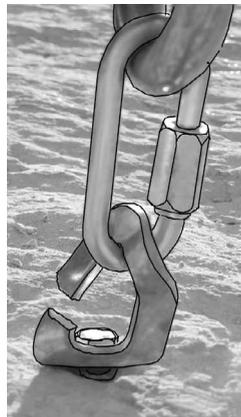
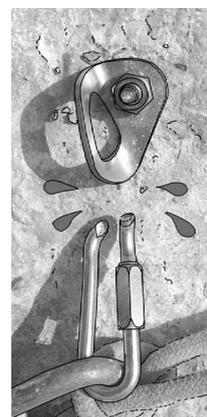


Fig. 238



- déchaussement de l'ancrage :
 - expansion ou compression insuffisantes, blocage inefficace (fig. 239 à 241), installation mal réalisée (nettoyage insuffisant notamment) ;

Fig. 239



Fig. 240

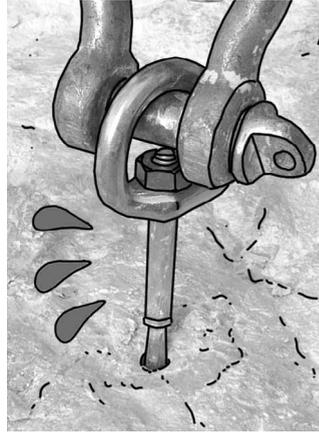


Fig. 241



- rupture du rocher :
 - rupture (fig. 242 et 243) du cône d'arrachement (profondeur insuffisante, résistance de la roche insuffisante ou faiblesse localisée).
 - fissuration du rocher (provoquant un agrandissement du trou).

Fig. 242

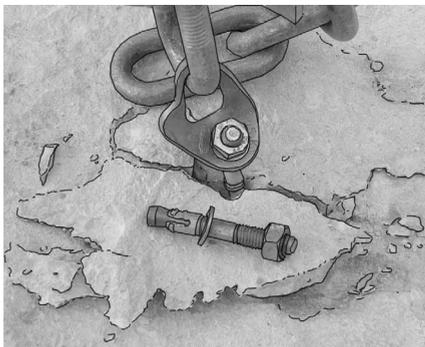


Fig. 243



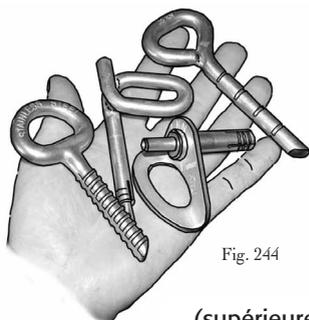


Fig. 244

Commentaire : concernant la résistance intrinsèque du matériel (fig. 244) fabriqué spécifiquement pour la réalisation des équipements en canyon (ou pour l'escalade), tant qu'il est en bon état, il n'y a aucune raison de craindre une rupture car les normes en vigueur imposent des règles de conception et des valeurs de résistance qui nous mettent à l'abri dans le cadre d'un usage normal. Les valeurs de résistance annoncées correspondent au moins, à leurs résistance de rupture en roche dure (supérieure à 50 Mpa). Concernant les ancrages issus du bâtiment ainsi que les accessoires qui complètent l'ancrage (vis, maillon est anneau de liaison) la situation est différente car la diversité des produits, des marques et des dimensions disponibles est bien plus importante surtout si on décide de s'approvisionner directement chez les fabricants ou les détaillants. Le problème est surtout moins simple car on ne dispose que rarement de la valeur de résistance à la rupture et les valeurs de charge fournies par le fabricant sont le résultat de modes de calculs souvent compliqués à interpréter pour le néophyte. De plus l'utilisation que nous en faisons est spécifique. Suivant le type de magasin dans lequel on s'approvisionne, il arrive même que l'on ne dispose d'aucune information. Il vaut donc mieux être sûr de soi ou se faire conseiller. Les valeurs mentionnées par le fabricant ne sont pas forcément adaptées à l'usage que l'on en fait. Elles peuvent s'avérer meilleures dans une roche dure ou moins bonne dans le cas contraire.

Chez Mungo, par exemple les données du problème paraissent simples car les valeurs de charge recommandées (sur le catalogue) tiennent compte d'un coefficient de sécurité de 3 pour un béton 25 Mpa (fig. 245). A priori, Il suffit donc de multiplier par 3 ces valeurs pour connaître approximativement la valeur moyenne de ruine dans un béton donné (ruine signifiant : destruction de l'ancrage).

voir également "prudence et réalisme" cahier N°1 page 31

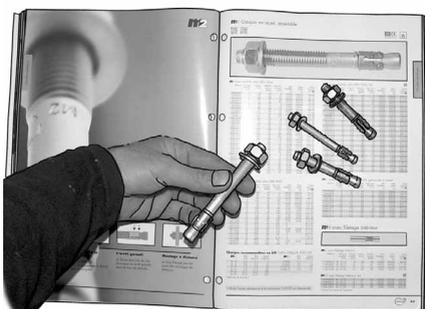


Fig. 245

Charges recommandées en kN

M	Effort axial	Effort transversal	Couple de serrage Nm
M 6	2.2	3.1	5
M 8	3.8	5.2	15
M 10	5.8	6.8	30
M 12	9.8	12.2	50
M 16	13.5	16.2	100
M 20	20.0	32.0	200

Coefficient de sécurité 3

Comparatif des valeurs de rupture en traction et au cisaillement (fig. 246) des goujons Mungo M2 acier sur plaquette Coeur et anneaux Raumeur par rapport à leur résistance théorique évaluée d'après les informations fournies par le fabricant.



8	résistance théorique	1140 daN.	
	observée avec plaquette coeur	1910 daN.	3 ruptures goujons
10	résistance théorique	1740 daN.	
	observée avec plaquette coeur	2752 daN.	3 ruptures goujons
	observée sur anneau Raumeur	3240 daN.	1 rupt. goujon, 2 rupt. rocher
12	résistance théorique	2940 daN.	
	observée avec plaquette coeur	3444 daN.	3 ruptures goujons
	observée sur anneau Raumeur	4116 daN.	3 déchaussements



8	résistance théorique	1560 daN.	
	observée avec plaquette coeur	1757 daN.	3 rupt. goujons
10	résistance théorique	2040 daN.	
	observée avec plaquette coeur	3107 daN.	3 ruptures goujons
	observé sur anneau Raumeur	2982 daN.	3 ruptures goujons
12	résistance théorique	3660 daN.	
	observée avec plaquette coeur	3790 daN.	1 rupture plaquette, 2 ruptures goujons
	observée sur anneau Raumeur	5396 daN.	3 ruptures goujons

Fig. 246

Bref! Si l'ancrage est plus robuste que ce que l'on avait prévu c'est tant-mieux mais ce n'est pas toujours le cas. Il peut être imprudent par exemple d'utiliser des ancrages sous-dimensionnés où apparemment similaires à d'autres que l'on a l'habitude d'employer mais dont on ne peut identifier le fabricant ni avoir d'information sur la résistance. Il en va de même pour le matériel ne comportant aucune indication sur la qualité de l'acier ou le matériel destiné à un tout autre usage comme par exemple le remplacement de broches par les crochets de fixation d'échafaudage. Dans l'absolu, et notamment en reconnaissance des nouveaux sites ou en terrain d'aventure chacun est libre de descendre sur le "clou" de son choix qu'il vient de planter. Le problème c'est que ce matériel va rester en place et que d'autres seront tentés de s'en servir.

Cela ne veut pas dire non plus que tout ce qui n'est pas vendu spécifiquement pour l'équipement sportif est à écarter, et on peut parfaitement trouver des pièces à sceller par exemple dont la qualité et la tenue sont largement meilleures que certaines broches. Seulement, tout le monde n'a pas la possibilité de procéder à des tests de résistance et ce genre d'initiative personnelle même si elle part d'une bonne intention, n'apporte pas forcément les garanties nécessaires et ne peut pas de toute façon s'inscrire dans le cadre d'un équipement de site sportif (fig. 247).

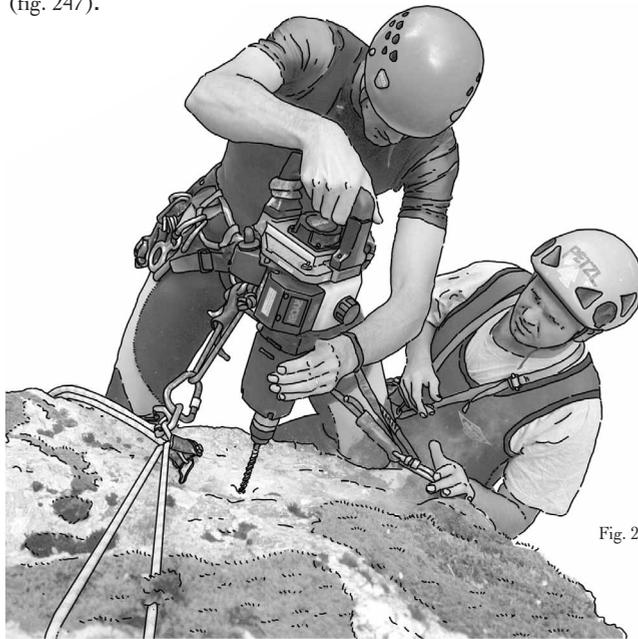


Fig. 247

Une chose est sûre : plus un ancrage est robuste (profondeur d'ancrage diamètre et qualité d'acier) moins il impose de contraintes d'utilisation et plus il durera dans le temps. On limite ainsi les risques (tout du moins au niveau de l'ancrage) et on anticipe les phénomènes d'affaiblissement par corrosion ou décèlement progressif. En revanche si on fait le choix d'utiliser un modèle d'ancrage peu résistant (pour d'autres raisons) , la qualité du rocher et de l'installation n'y changeront rien et on sera contraint à la prudence... Or, si on est tributaire de la qualité du rocher et qu'il faut bien faire avec, on peut toujours, en revanche, choisir son matériel d'équipement.

Causes de rupture prématurée des ancrages à expansion.

La fiabilité d'un ancrage dépend en grande partie du soin et de la rigueur avec laquelle il a été installé. Un travail bâclé, ou le non-respect des préconisations du fabricant sont susceptibles d'occasionner des défauts plus ou moins graves qui peuvent diminuer la résistance d'un ancrage.

Le choix de l'emplacement est avant tout un élément déterminant dans la mesure où le rocher n'est pas toujours homogène, ni compact ni forcément très résistant et que certains défauts ne sont pas visibles. Or, la résistance de la roche encaissante est essentielle ; elle doit être évaluée du mieux possible. Rappelons simplement qu'une fois choisi l'emplacement, à l'écart des zones de fissures (fig. 248), des lames (fig. 249), des zones gélifractées (fig. 250) et les protubérances de faibles volumes, ou encore des strates trop fines ; on sonne l'emplacement retenu (fig. 251) au marteau. Le rocher doit émettre un son clair ; un son creux trahit la présence d'une zone fissurée ou la présence d'une écaille. Comparer la sonorité du rocher à plusieurs endroits pour affiner sa conviction.

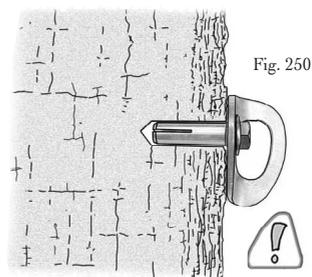
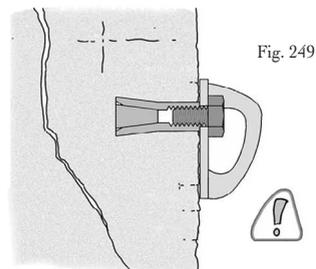
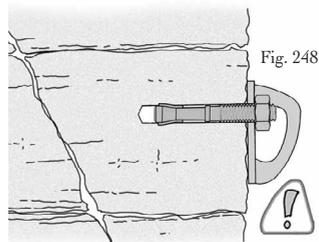


Fig. 251



La surface du rocher doit être plane et propre. Éviter les zones recouvertes de calcite ou à défaut, décaper la calcite jusqu'au rocher sain avec la pointe du marteau, retirer également les picots rocheux, ou les petites écailles gênantes. Avant de commencer le trou, s'assurer que la plaquette disposera d'une surface d'appui suffisamment grande et parfaitement plane ; prendre en compte l'axe de travail pour orienter la plaquette dans sa position finale.

Causes d'affaiblissement immédiates (en résumé).

Ancrage inadapté à la résistance mécanique de la roche

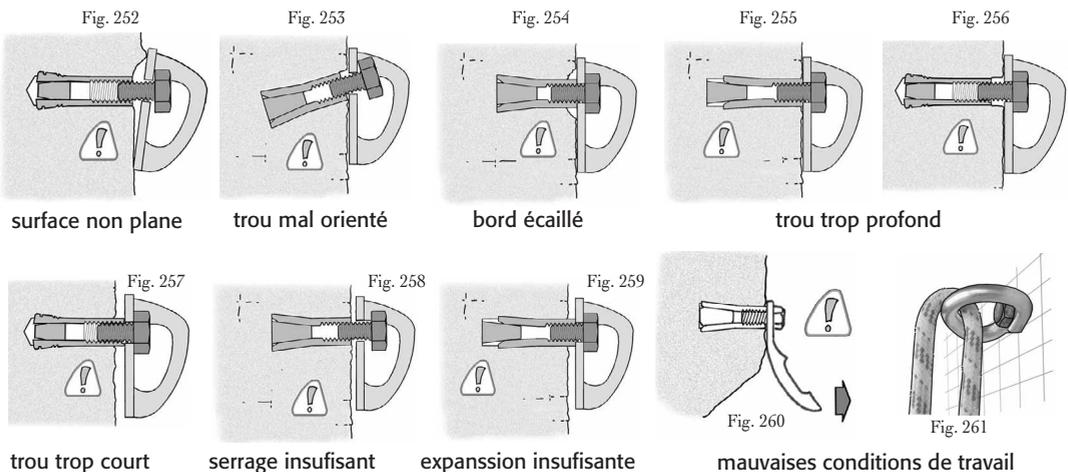
- ancrage trop court par exemple.

Affaiblissement consécutif à un défaut d'installation

- le non-respect des conditions d'implantation (bords de dalles, entre-axes, épaisseurs du support en présence de strates fines) qui risque d'occasionner une rupture du rocher ;
- défaut de perçage (fig. 252 à 257), (mal orienté, surface non plane, bord écaillé, trop court, trop profond mauvais diamètre...) qui risque d'occasionner une expansion insuffisante ou de fragiliser l'ancrage;
- défaut d'installation : vis mal serrée (fig. 258), expansion mal réalisée (fig. 259).

Affaiblissement consécutif à un défaut d'utilisation

- plaquette (fig. 260 et 261) qui travaille dans de mauvaises conditions.



Causes d'affaiblissement dans le temps (en résumé)

Affaiblissement consécutif au vieillissement

- descellement progressif (usure de la roche)
- corrosion (usure de l'ancrage, du filetage de la vis)
- choc externe, surcharge (déformation, et usure de l'ancrage)

Causes de rupture des scellements chimiques

Tenue des scellements chimiques .

Les ancrages scellés chimiquement, constitués d'une broche monobloc (fig. 262 et 263) sont moins vulnérables et moins exposés aux risques de vieillissement et de rupture comparativement à la plupart des amarrages à expansion (pas de couple serrage, pas de pièce fragile, pas d'assemblage mécanique ou de pièce creuse ; pas de contrainte au repos).

Paradoxalement, on a tendance à se méfier davantage des ancrages scellés chimiquement (fig. 264) car leur tenue est conditionnée par une réaction chimique que l'on ne peut évaluer qu'en surface. Sachant par ailleurs que ce type d'ancrage est susceptible de présenter dans certains cas bien particuliers, des défauts de polymérisation qui peuvent affecter la tenue de l'ancrage (voir également cahier n°3 page 96). Dans tous les cas, même si nos craintes ne sont pas fondées dans la mesure où toutes les précautions ont été prises, la probabilité d'être

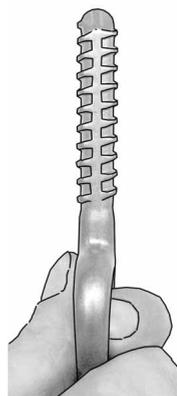
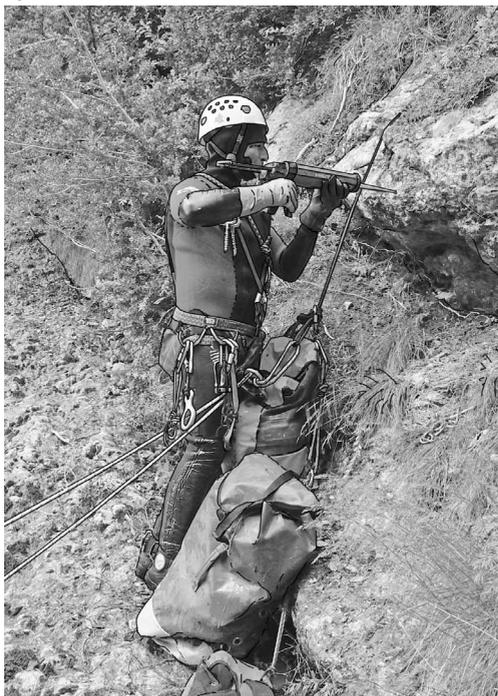


Fig. 262

Fig. 264



confronté à la rupture d'un scellement chimique en raison d'une déficience de la résine est (dans l'absolu) plus élevée que celle de voir ressortir un goujon que l'on vient d'introduire dans son logement... d'où cette méfiance.



Fig. 263

Causes de rupture des scellements chimiques (en résumé)

Une fois en place, la rupture d'un scellement chimique peut se produire de trois manières distinctes :

- rupture du "collage" qui peut se produire au niveau de l'une ou de plusieurs des liaisons : colle/broche (fig. 265 et 266) colle/roche (fig. 267), ou colle au cisaillement (fig. 268).

Fig. 265



Fig. 266

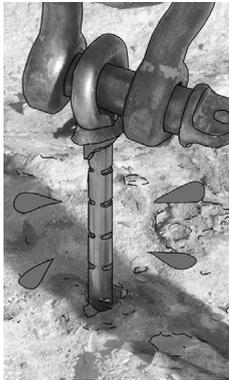
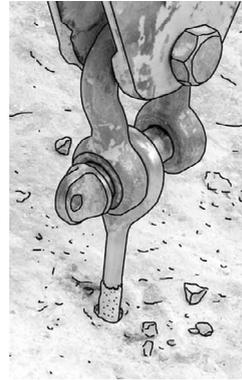


Fig. 267



Fig. 268



- rupture (lors de tests d'arrachement uniquement) de la broche ou de la soudure qui ferme l'oeil de la broche. On peut également y associer les plaquettes, maillons ou anneaux de rappel incorporés à la broche (fig. 269 et 270).
- rupture de la roche (fig. 272).

Fig. 269



Fig. 270

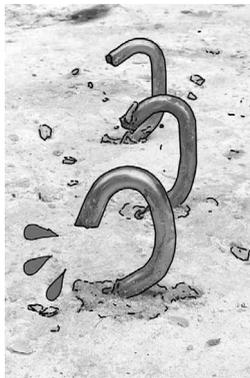


Fig. 272



voir également scellement et collage cahier N°3 page 9

Causes d'affaiblissement des scellements (en résumé).

Indépendamment des causes extérieures qui peuvent contribuer à affaiblir un scellement chimique, il est utile de rappeler que le choix du modèle de broche ou du type de résine a des conséquences directes sur la résistance de l'ancrage car les performances des produits ne sont pas homogènes et le résultat dépend surtout de l'association broche/résine choisie (fig. 273).

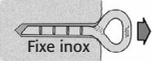
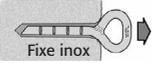
	cartouche méthacrylate HY150 Hilti	977 daN.	2 ruptures résine
	ampoule à tourner polyester Wurth	4095 daN.	2 ruptures broche
	cartouche méthacrylate HY150 Hilti	4849 daN.	2 ruptures résine

Fig. 273

Parmi les causes d'affaiblissement d'un ancrage scellé chimiquement, on peut citer notamment :

- diminution de la liaison colle/roche avec certaines résines sensibles à la présence d'eau sur la paroi du trou avant injection (réduction de la résistance en traction) ;
- l'utilisation d'un produit périmé ou avarié (notamment avec les cartouches trop anciennes ou réutilisées après stockage) ;

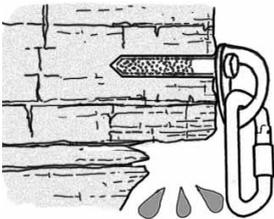


Fig. 274

- scellement réalisé dans un rocher trop fragile :
 - résistance ou texture inappropriée ;
 - altération superficielle (gélifraction) ou fissuration importantes ;
 - profondeur insuffisante ;
 - implantation (fig. 274) trop près d'une bordure de dalles.
- les défauts d'installation :
 - trou mal nettoyé ;
 - mauvais mélange des produits liés à la spécificité de certaines ampoules ou à l'emploi des cartouches ;
 - défauts d'installation spécifiques liés à l'utilisation des ampoules ;
 - remplissage du trou au pistolet insuffisant (négligence, poches d'air ou d'eau emprisonnées).

Causes d'affaiblissement des scellements chimiques dans le temps.

Au final, lorsque toutes les précautions sont prises, le principal risque d'affaiblissement en canyon, provient des agressions extérieures (choc externe, crue, glace, et usure mécanique des anneaux de rappel ou des maillons métalliques (déformation, et usure de l'ancrage). On peut également observer des phénomènes de corrosion notamment sur les broches qui ne sont pas en inox.

D'une manière générale, les scellements sont insensibles aux trépidations, aux successions de cycles charge/décharge. Dans un rocher homogène et compact, ils sont également plus ou moins étanches à l'air et à l'eau. Ils ne sont donc pas vraiment exposés aux risques de descellement progressif.

Remarque : Sur la documentation Hilti on peut lire notamment que des essais réalisés sur la résine HILTI en ampoule ont montré que les ancrages (tige filetée) ayant subi deux millions de cycles de charge puis 10 charges de chocs d'intensité maximale (150% de la charge de service) ainsi que 540 cycles de charges et de cisaillement et de traction d'intensité maximale (130 % de la charge limite de service) ne présentaient aucune différence significative par rapport à celles n'ayant subi aucune épreuve.

Cependant, il est vrai, comme on peut le constater parfois dans certains canyons, que des équipements ont effectivement mal vieillis et que des broches ont pris du jeu ou ont fini par quitter leur logement (fig. 275 à 277). Il est vrai aussi que bien souvent c'est la qualité du rocher qui est déterminante. Mais il y a aussi d'autres raisons à cela car il existe une grande diversité de résine de scellement ; elles n'ont pas toutes les mêmes qualités et ne vieillissent pas de manière identique compte tenu notamment du type d'environnement dans lequel elles se trouvent (type de roche, altération chimique) et des écarts de température auxquelles elles sont exposées.

L'analyse des causes d'affaiblissement est un sujet d'autant plus complexe à aborder que ce genre d'observation s'effectue généralement sur du long terme et que les modèles de broche et de résine sont nombreux ; ils ont évolués au fil des progrès technologiques ou ont été remplacés par d'autres plus performants ; les problèmes ne sont plus forcément les mêmes.



Fig. 275



Fig. 276



Fig. 277

Causes d'affaiblissement des scellements chimiques dans le temps (en résumé) :

- agressions extérieures (chocs, crues, glace,) susceptibles de déformer et d'user l'ancrage (fig. 278 et 279);
- corrosion atmosphérique notamment sur les broches qui ne sont pas en inox, et corrosion par frottement et usure au niveau des anneaux de rappel ou des maillons métalliques des chaînes de relais ;
- affaiblissement possible de la liaison colle/broche avec certaines résines dont la capacité d'adhérence diminue avec le temps et les conditions climatiques (susceptibles de provoquer une cause de rupture prématurée (fig. 280) avec les anciennes broches à fût lisses) ;
- affaiblissement de la liaison colle/roche (fig. 275 à 277) dans certains cas de figure assez rares (roche friable, poreuse, infiltration d'eau, altération de la roche au contact de la résine).

Les cas de dégradation de résine sont rarissimes, mais il est probable que les défauts d'adhérence occasionnent une diminution de l'étanchéité qui contribue à la détérioration de l'ancrage.

Fig. 278



Fig. 279



Fig. 280

Comportement au cisaillement des chevilles hautes performances à expansion par vissage SPIT associées à un anneau Raumer.



Comportement en traction sur plaquette Coeur PETZL et au cisaillement sur plaquette Rock RAUMER des chevilles hautes performances à expansion par vissage SPIT associées à un anneau Raumer.



Chevilles hautes performances Spit diamètre 12 mm.
+ plaquette Coeur Petzl
résistance en traction: 2470 daN.
2 ruptures 1 déchaussement



cheville hautes performances Spit diamètre 12 mm.
+ plaquette Coeur Petzl
résistance 2470 daN. en traction
(2 ruptures 1 déchaussement)



Chevilles hautes performances Spit diamètre 12 mm.
+ plaquette Coeur Petzl
résistance en traction: 2470 daN.
2 ruptures 1 déchaussement



Spit acier 12x90
1000 daN.



Spit acier 12x90
2000 daN.



Spit acier 12x90
2310 daN.



Spit acier 12x90
2720 daN.



Spit acier 12x90
2720 daN.



Spit acier 12x90
2908 daN.



Spit acier 12x90
3000 daN.



Spit acier 12x90
3200 daN.



Spit acier 12x90
3396 daN.

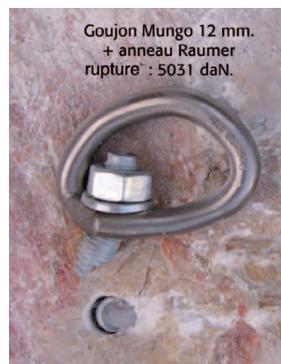
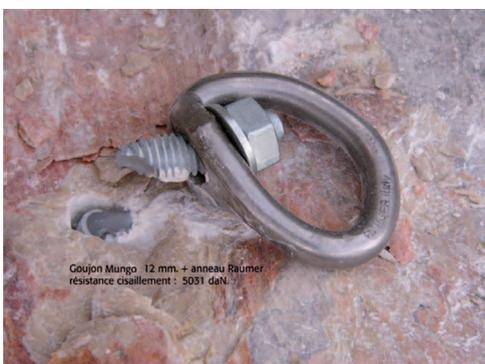
Comportement des goujons HILTI HST diamètre 10mm en traction sur plaquette Coeur PETZL.



Comportement des goujons MUNGO acier diamètre 12mm au cisaillement sur anneau RAUMER.



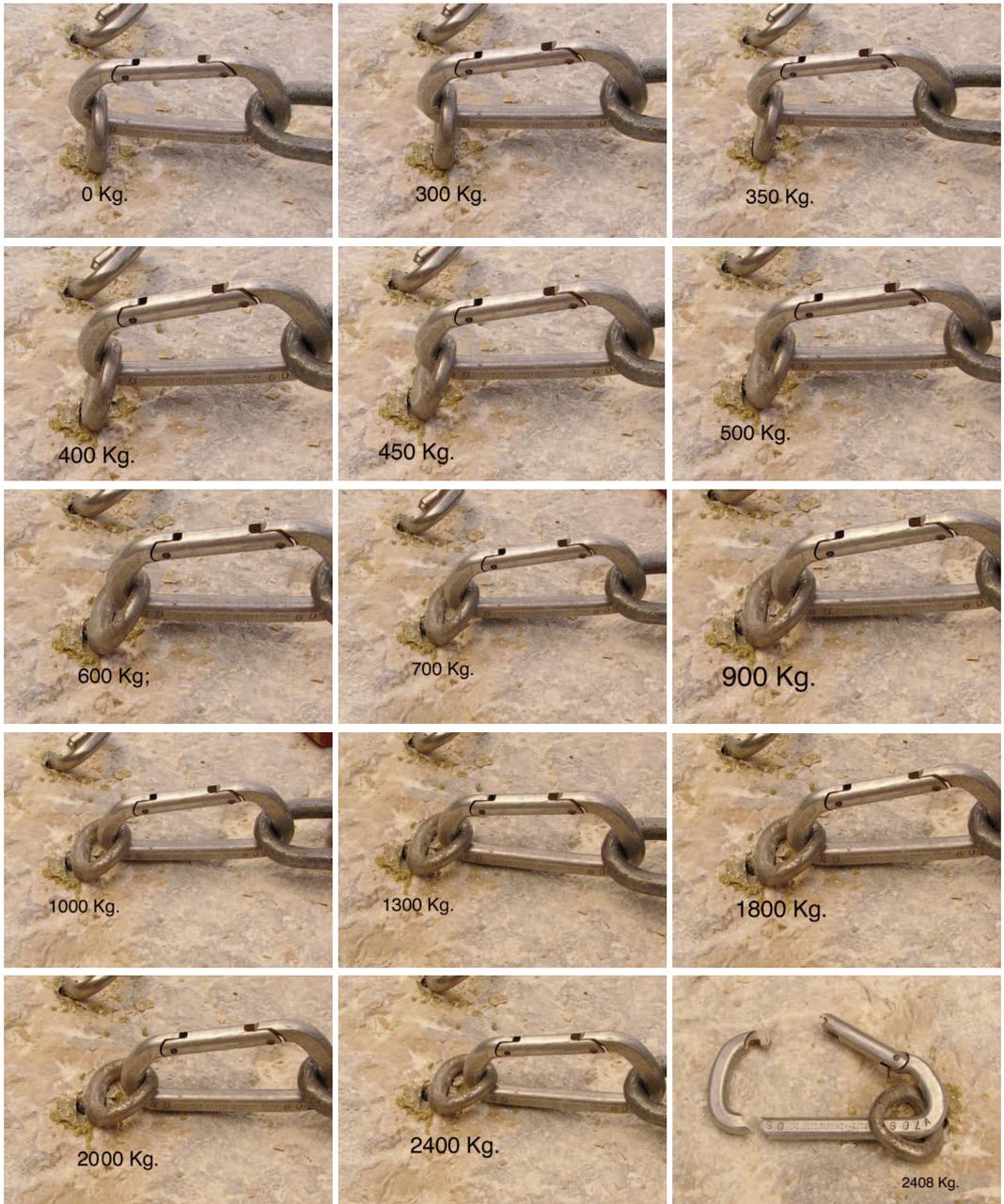
Comportement des goujons MUNGO acier diamètre 12mm au cisaillement sur anneau RAUMER.



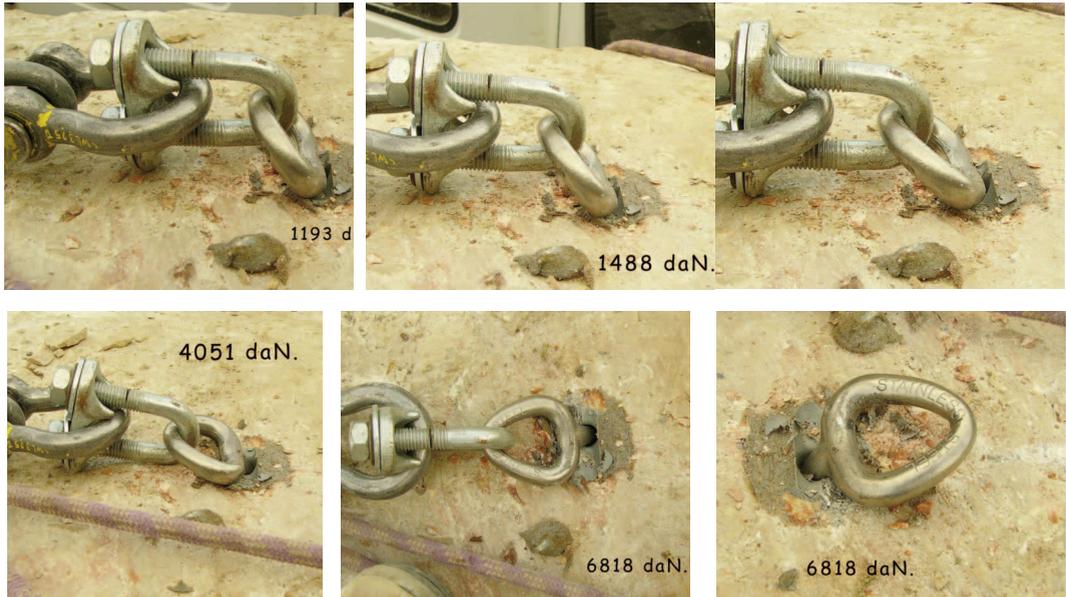
Comportement des Broches FIXE inox sollicitées à l'équerre.



Comportement des Broches Collinox PETZL sollicitées à l'équerre.

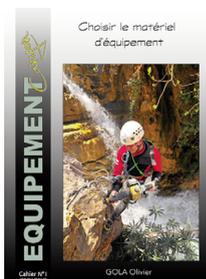


Comportement d'une Broche Batinox PETZL sollicitée à l'équerre.



Comportement d'un amarrage Full Time Maxi RAUMER en traction.

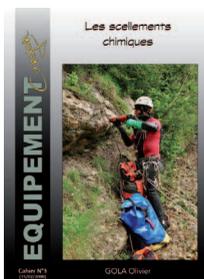




Cahier n°1



Cahier n°2



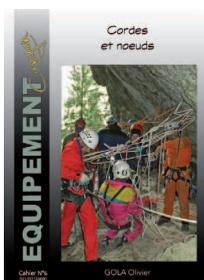
Cahier n°3



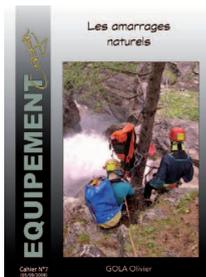
Cahier n°4



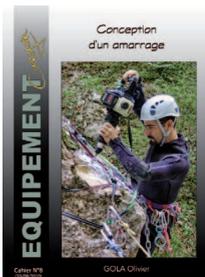
Cahier n°5



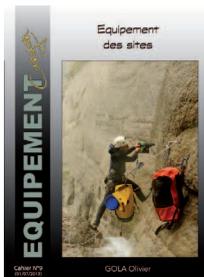
Cahier n°6



Cahier n°7



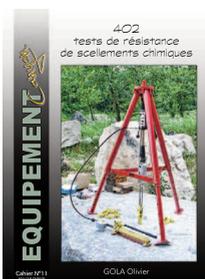
Cahier n°8



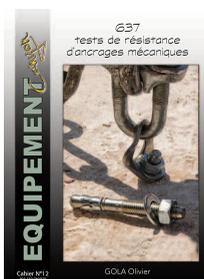
Cahier n°9



Cahier n°10



Cahier n°11



Cahier n°12

Liste des cahiers

Cahier n°1
Choisir le matériel d'équipement

Cahier n°2
Les ancrages mécaniques

Cahier n°3
Les scellements chimiques

Cahier n°4
Les plaquettes d'amarrage

Cahier n°5
Comportement des amarrages

Cahier n°6
Cordes et noeuds

Cahier n°7
Les amarrages naturels

Cahier n°8
Conception d'un amarrage

Cahier n°9
Equipement des sites

Cahier n°10
Les fournisseurs de matériel d'ancrage

Cahier n°11
402 tests de résistance de scellements chimiques

Cahier n°12
637 tests de résistance d'ancrages mécaniques

Bibliographie

- **Cahier de l'EFS n°11** : Mémento équipement permanent de cavités en ancrages permanents (Gérard CAZES, Nicolas CLEMENT, Pierre Bernard LAUSSAC)
- **Technique de la spéléologie alpine** (MARBACH Georges)
- **Les amarrages en plafond** GET – FFS (Gérard CAZES, Nicolas CLEMENT, Pierre Bernard LAUSSAC)
- **Aménagement et équipement d'un site naturel d'escalade** Daniel TAIPIN, Jean Pierre VERDIER – COSIROC FFME

Comportement des amarrages