

Fédération Française de Spéléologie

SPELEO SECOURS FRANÇAIS

Essais mécaniques en spéléo-secours

Campagnes d'essais 1994 et 1996

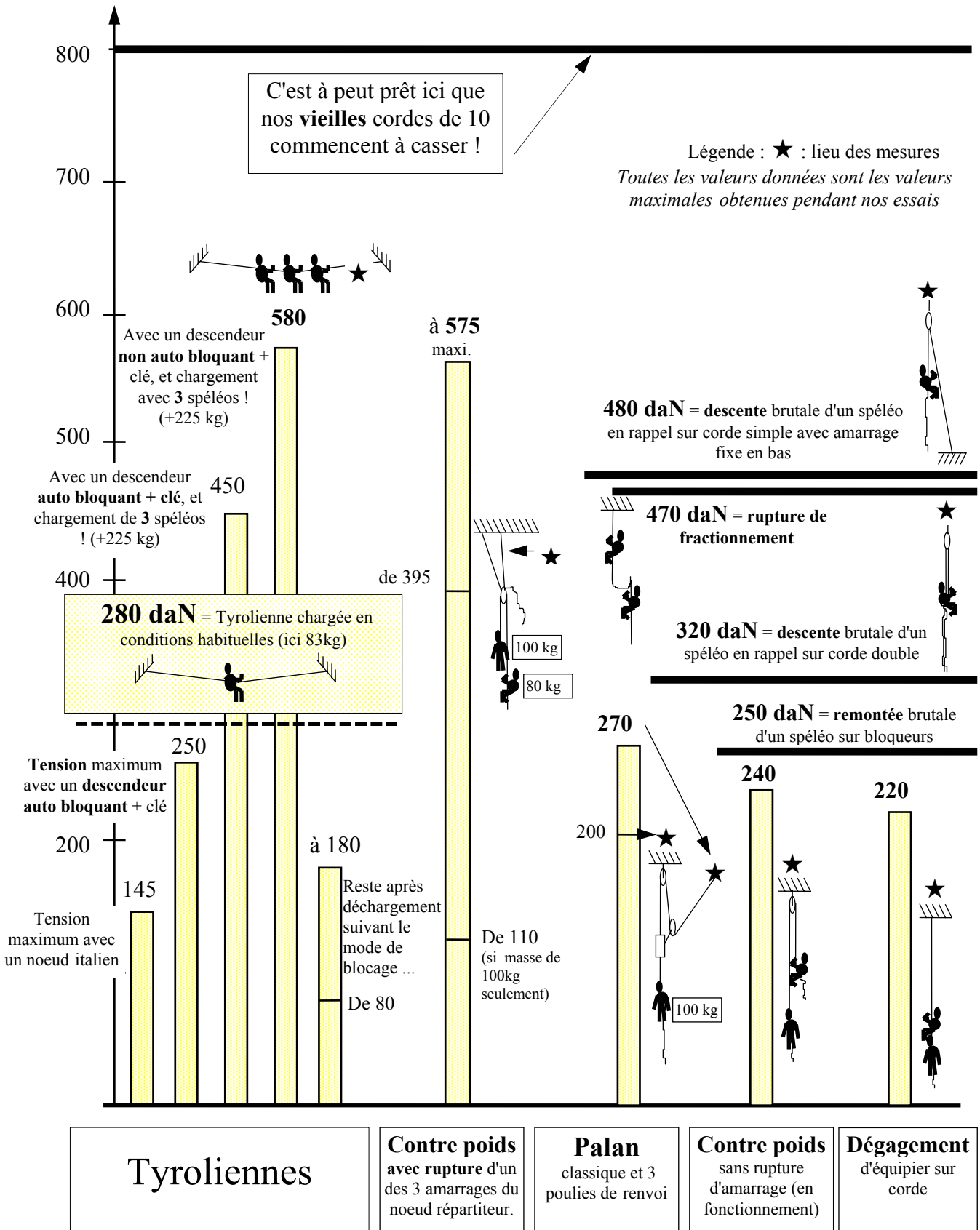
Rédaction : Jacques GUDEFIN

Pour les pressés, voici le résumé en une page des deux campagnes d'essais contenues dans ce compte rendu

Résumé des essais SSF

(campagne de 1994 et 96 dans les établissements PETZL)

Effort en daN



Sommaire

Première série d'essais

<i>1. Conditions matérielles et méthodologie</i>	4
<i>2. Le triple amarrage</i>	5
<i>3. Le triple amarrage avec un balancier (1 spéléo + 1 blessé)</i>	8
<i>4. Balanciers et dégagement d'équipier</i>	9
<i>5. Essais statiques sur un amarrage en "Y" (ou petite tyrolienne)</i>	10
<i>6. Essais statiques sur une tyrolienne</i>	12
<i>7. Tension des tyroliennes</i>	13
<i>8. Plusieurs poulies sur une corde de traction</i>	15
<i>9. Conclusion générale</i>	17

<i>10. Deuxième série d'essais</i>	18
------------------------------------	----

<i>11. Tyrolienne tendue à vide</i>	19
<i>12. Tyrolienne horizontale chargée</i>	21
<i>13. Poulie de renvoi mobile (PRM)</i>	23
<i>14. Rupture de fractionnement</i>	24

Annexes : les graphiques des essais

1. Conditions matérielles et méthodologie

Les essais qui suivent ont été réalisés par le SSF, dans les établissements PETZL à Crolles. Nous adressons ici tous nos remerciements à Paul PETZL de nous avoir permis d'utiliser son laboratoire d'essai, et particulièrement à Alain MAURICE (responsable du bureau d'étude) pour son aide efficace.

L'objectif de ces essais était d'évaluer les efforts dans des configurations utilisées en secours spéléo, et dans des conditions se rapprochant le plus possible de la réalité. Ainsi beaucoup d'essais tiennent compte des effets dynamiques dus à des applications de charges irrégulières : traction saccadée sur un palan, voire même rupture d'amarrage en secours. Nous avons considéré comme étant négligeables, les différences de performances des cordes de marques différentes, de même diamètre.

La civière a souvent été remplacée par une gueuse, ce qui donne un caractère légèrement plus pénalisant aux résultats obtenus.

Quatre séances ont été nécessaires pour proposer les conclusions qui suivent.

Les participants ont été les suivants :

Dates	Participants, tous spéléos d'exploration
Vendredi 17 Décembre 1993 (premier contact)	Christian DODELIN (Instructeur fédéral, Bees1, CTD73 et CTN du SSF) Jacques GUDEFIN (Instructeur fédéral, Bees1, CTD69 et enseignant en construction mécanique pour des BTS)
Vendredi 7 Janvier 1994	Franck BOEMARE, Jean DEBREE, Christian DODELIN, Jacques GUDEFIN,
Vendredi 11 Février 1994	Jean BOTTAZZI (responsable qualité matière chez Salomon) Christian DODELIN, Yves GOURJU (CTDA73), Jacques GUDEFIN
Vendredi 18 Mars 1994	Christian DODELIN Jean Marc GIBELIN (Instructeur fédéral, bees1, CTD) Jacques GUDEFIN
Vendredi 8 Avril 1994	Gérard GUDEFIN, Jacques GUDEFIN, Patrick NOEL

La matériel mis à notre disposition dans la tour d'essai se compose de 3 capteurs (dynamomètres) reliés à un système de tracé. Il est possible d'enregistrer dans un temps donné les sollicitations simultanées des capteurs sur un graphique.

Ces sollicitations peuvent être de type statique et progressif ou de type dynamique.

Il devient possible de mesurer la mise en tension d'une tyrolienne ou ce qu'un amarrage supporte pendant l'évolution d'un balancier.

Sur le plan dynamique la rupture d'un amarrage occasionne une force choc avant de se stabiliser à nouveau.

Les graphiques restituent l'événement à l'échelle choisie en temps et en force.

Le matériel utilisé pour ces essais provenait du lot de matériel du SSF Savoie.

-Les cordes avaient déjà été utilisées en cavités. Elles ont été numérotées en fonction de leurs âges et de leurs diamètres.

-Les mousquetons étaient à vis et en acier.

-Les amarrages utilisés étaient des anneaux soudés sur la structure métallique du laboratoire servant aux essais. Donc pas d'utilisation de chevilles de type "Spits".

2. Le triple amarrage

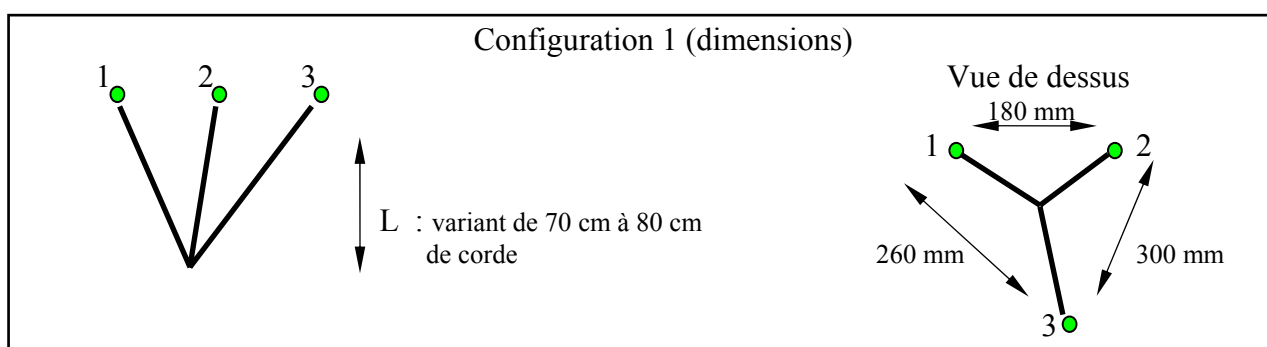
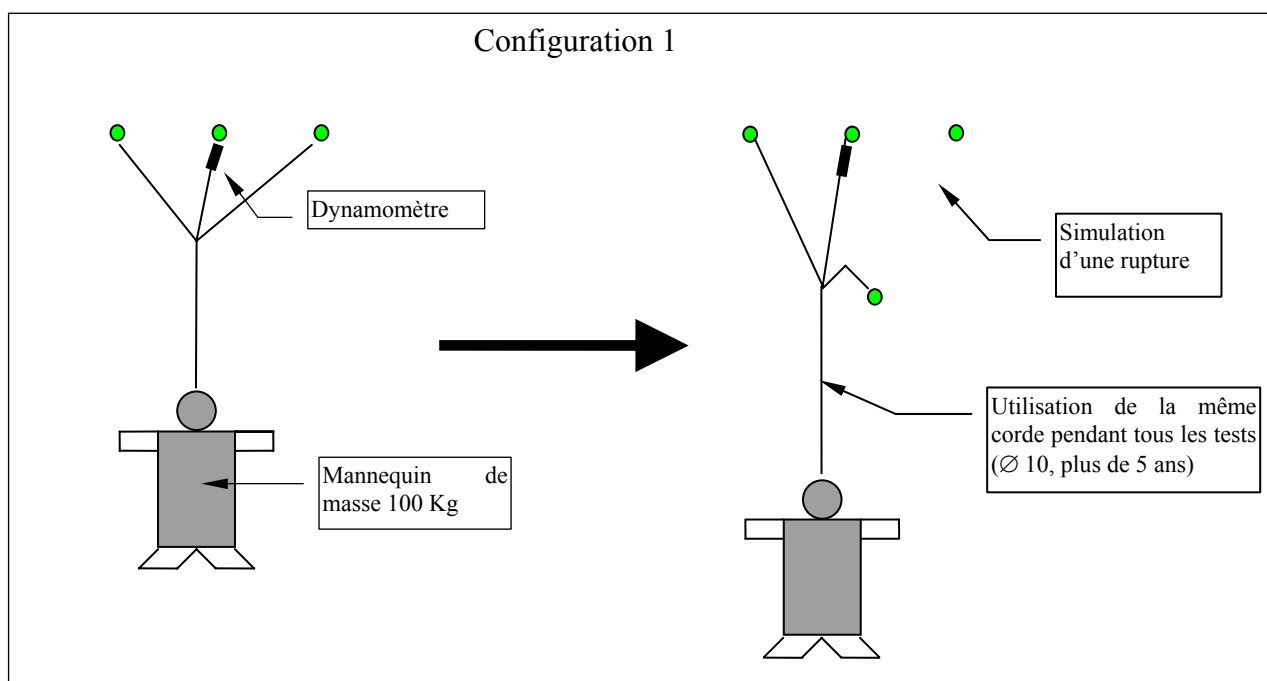
Principe : les sollicitations des amarrages en secours étant doublées voire triplées par rapport aux situations classiques, d'autres techniques ont été adoptées depuis quelques années. Elles consistent à faire travailler simultanément deux ou trois points d'amarrages afin de répartir sur plusieurs points les forces qui s'exercent. Dans une progression classique, deux "Spits" sont reliés entre eux, mais selon le cas de figure, un seul supporte la charge. En secours, l'éventuelle rupture du premier amarrage risquerait d'endommager le second. Le noeud de répartition de charge, permet de répartir la charge dès le début des manoeuvres.

Nous nous proposons de mesurer les charges supportées en cas de rupture partielle d'un triple amarrage (un brin sur les trois).

2.1. Protocole des essais

Mesurer l'effet, sur les autres points, de la rupture d'un des trois points d'amarrage d'un triple amarrage. Il a été possible de fixer un dynamomètre sur l'un des deux amarrages restants. Le Triple amarrage est réalisé avec un anneau de corde fermé par un noeud de jonction pêcheur double.

Plusieurs paramètres dans le triple amarrage, ont été modifiés : longueur de l'anneau, la façon de vriller les brins, le type de cordes utilisés (usures différentes), cordes sèches ou mouillées.



2.2. Résultats des essais

Les charges sont données en daN (1 déca Newton = la force créée par une masse de 1 Kg)

	L avant	L après	Charge avant l'essai	Charge dynam. maxi	Charge après rupture	taux charge maxi / charge avant	Observation sur l'anneau et l'essai
corde 3 (Æ10), 2 ans d'âge							
essai 1	70	80	22	200	61	6,7	Brins non vrillés, l'amarrage qui a lâché n'est pas passé au travers du mousqueton acier du mannequin
essai 3	70	80	20	165	69	8,3	Les 2 brins vrillés ont retenu, par pincement, le brin mou
essai 4	70	80	25	260	80	10,4	Le brin lâché n'a pas été retenu dans la chute par pincement.
essai 8	52	55	50	150	38	3,0	
essai 11*	52	55	25	225	51	9,0	Anneau déjà utilisé à l'essai 8
essai 13*	52	55	28	138	37	4,9	Déjà utilisé pour essai à sec
essai 14*	52	55	30	165	4 !!!	5,5	Anneau pas encore utilisé dans nos essais, un brin (ou 2) n'était pas vrillé: la charge s'est retrouvée sous deux amarrages, mais 2 brins ont coulissé et seulement 1 d'eux retenant la charge totale (le dynamomètre n'était pas sur ce brin: dommage!)
essai 15*	50	55	30	138	47	4,6	
essai 16*	16	18	20	130	39	6,5	
essai 17*	87	90	40	220	50	5,5	
essai 18*	132	140	35	155	36	4,4	
essai 19*	132	142	30	175	36	5,8	
corde 5 (Æ9), 2 ans d'âge							
essai 6	52	55	30	200	38	6,7	Tout a bien glissé
corde 7 (Æ10), 1 an d'âge							
essai 5	70	80	20	190	30	9,5	Tout à bien glissé
essai 9*	75	80	25	110	38	4,4	Le brin libre s'est vrillé au cours de la chute
essai 10*	75	80	25	145	26	5,8	Anneau déjà utilisé à l'essai 9
corde 10 (Æ9), dynamique							
essai 7	70	80	40	200	52	5	Corde dynamique

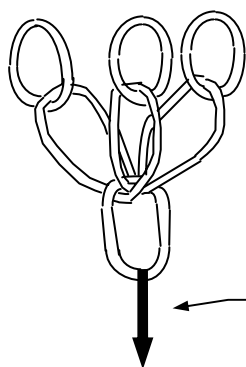
* = corde mouillée

2.3. Remarques et interprétations

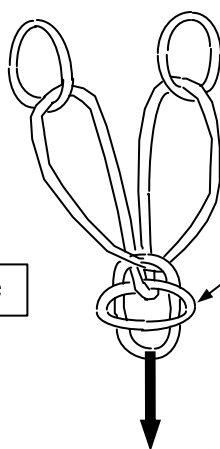
- 2.3.1. Après une rupture de l'un des amarrages du Triple amarrage, la **charge** d'un des deux amarrages restant est, en moyenne **au moment du choc**, de **5** (pour une corde dynamique) à **10,4 fois plus importante** que la charge statique avant la rupture. Mais dans tous les cas cette **force** est restée **acceptable** : **260 daN maximum, avec une masse de 100 Kg**. Pour comparaison, un spéléo sur descendeur s'arrêtant brutalement sur la corde fait encaisser à l'amarrage un effort d'environ 200 daN (avec des pics plus importants encore, mais non significatif pour la corde temporairement sollicitée). Et nous verrons plus loin que deux spéléos sur la même corde (dégagement d'équipier), génère un effort de 260 daN.

- 2.3.2. La **manière de confectionner** le noeud de répartition de charge est un paramètre important dans l'accroissement de la force choc. Si les brins sont mal vrillés, le brin libéré par la rupture de l'amarrage peut doubler la longueur de chute (voir croquis), ce qui est peu agréable pour un blessé (essais 4 et 14).

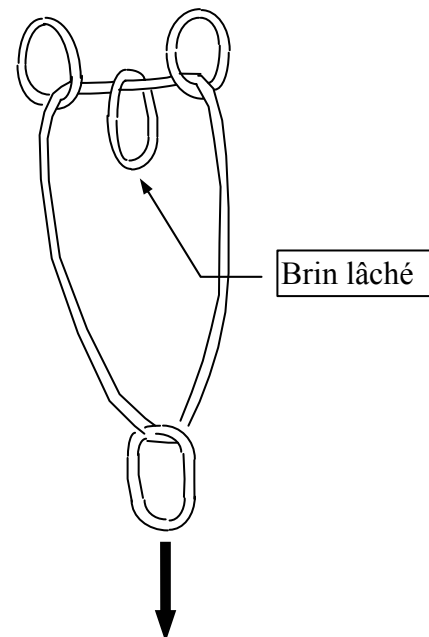
**Première phase
(Valdotin non vrillé !)**



**Deuxième phase : juste
après la rupture**



**Troisième phase : et si le mousqueton
passe à l'intérieur du premier !**



- 2.3.3. **Diamètre de la corde** : Il est facile de comprendre qu'une corde de petit diamètre supporte une charge de **rupture** plus petite qu'une corde de gros diamètre. Mais on peut aussi dire qu'une corde de $\varnothing 8$ mm absorbe mieux le choc (*en s'allongeant plus*), sans qu'il y ait rupture, par rapport à une corde de $\varnothing 10$ mm. On peut illustrer cette propriété en prenant d'un côté une corde de $\varnothing 8$ avec une gueuse, et de l'autre une corde de $\varnothing 11$ avec une gueuse de masse identique. Pendant la chute de la gueuse, l'effort maximum encaissé par l'amarrage de la corde de $\varnothing 8$ est moins important que celui de l'amarrage de la corde de $\varnothing 11$.

Il n'en est pourtant pas ainsi dans nos essais, la moyenne du facteur d'augmentation de la charge étant de 6,7 pour la corde de $\varnothing 9$ contre 6,2 et 6,5 en moyenne pour les cordes de $\varnothing 10$. Il resterait aussi à vérifier si le diamètre de la corde servant au triple amarrage a une influence sur les efforts encaissés par les amarrages.

- 2.3.4. Enfin, notre série d'essais ne permet pas de conclure quant à l'effet de la longueur de l'anneau de corde.

2.4. Conclusions

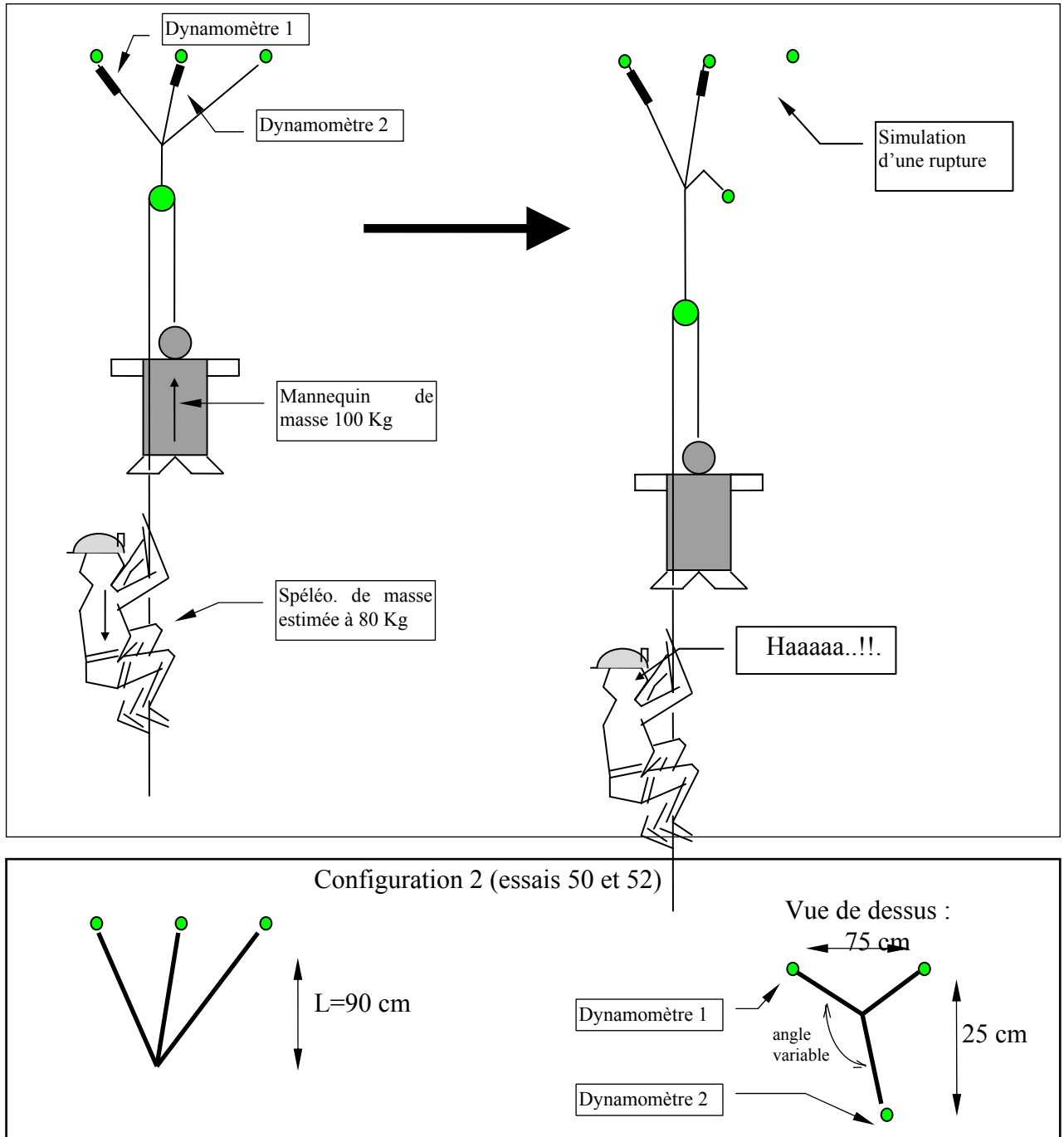
Ce n'est pas nouveau, le noeud de triple amarrage est un noeud qui répartit la charge sur plusieurs amarrages, qui sont les éléments fragiles d'un équipement secours. Ce qui doit être souligné est l'importance de la **bonne conception du noeud (vrillé)**.

Enfin la limite de cette étude est d'avoir fait varier plusieurs paramètres sans utilisation d'un plan d'expérience du type "Tagushi", comme cela a été fait plus loin, pour la tyrolienne. Il en résulte une incertitude quant à l'effet de la longueur de l'anneau, qui devrait être mieux maîtrisé avec un dynamomètre sur chaque brin restant, et avec l'utilisation de cette méthode.

3. Le triple amarrage avec un balancier (1 spéléo + 1 blessé)

3.1. Protocole des essais

Mesurer l'effet d'une rupture d'un des brins d'un noeud répartiteur, sur les autres brins, l'ensemble servant à un balancier.



3.2. Résultats des essais

La corde du triple amarrage utilisée pour ces essais est une 10mm de 2 années d'utilisation.

L'unité des forces est en daN

Lors des essais 53 et 54 : changement de configuration (angles différents), qui se traduit par des charges avant l'essai qui diffèrent

	Dynamo.1 avant l'essai	Force choc dynamo.1	Dynamo.1 après l'essai	Dynamo.2 avant l'essai	Force choc dynamo.2	Dynamo.2 après l'essai	Observation
Essai 50				105	395		Balancier avec rupture d'amarrage
Essai 52	60	175	65	120	450	160	Balancier avec rupture d'amarrage
Essai 53	35	150	50	55	460	175	Balancier avec rupture d'amarrage
Essai 54	140	160	70	70	575	150	Balancier avec rupture d'amarrage

3.3. Remarques et interprétations

- 3.3.1. Après une rupture d'un des trois amarrages, la charge d'un des deux amarrages restants est, au maximum, 8,4 fois plus importante que la charge statique avant la rupture, dans le cas d'un balancier.

- 3.3.2. Les mesures simultanées des amarrages sollicités avant le choc, pendant et après nous montrent :
 - Une différence d'un amarrage à l'autre dans la répartition des charges
 - On ne peut pas présumer de la répartition de la force choc sur les deux amarrages restants au moment de la rupture. **Les essais ont donné une force choc maxi. de 575 daN sur un amarrage.**

3.4. Conclusions

Paramètres	Triple amarrage, première série d'essais	Triple amarrage, deuxième série d'essais
Charge initiale	1 masse de 100 kg	1 masse de 100 kg et 1 spéléo de 80 kg
Corde 3 (Æ10), 2 ans d'âge	parfois mouillée	constante
Mesure sur dynamomètre	Un seul sur les deux	Prise en compte du plus chargé
Angle et longueur de l'anneau	variable	variable

- Nous avons effectué des mesures en simulant la rupture d'amarrage. En considérant la répartition des sollicitations sur les amarrages pour une charge de 180 kg, le cas le plus défavorable fait état de 140 daN sur 1 amarrage, avant l'essai.

- La grande différence d'intensité des efforts appliqués sur les deux amarrages restants (dynamo.1 et dynamo.2), que cela soit avant rupture (60 daN et 120 daN) ou après (110 daN et 575 daN) montre l'importance des angles choisis (voir aussi remarque 2.3.4).

140 daN est une sollicitation minimum pour un amarrage classique en spéléologie. Dans de telles conditions il paraît peu probable que l'un de nous soit témoin un jour de la rupture d'un "spit" après la mise en place d'un triple amarrage avec un balancier en action.

Si tel était le cas, la force maximum enregistrée a été de 575 daN, ce qui reste inférieur à la force résultante d'un facteur 1.

4. Balanciers et dégagement d'équipier

Les essais ont été réalisés **sans** la simulation de rupture d'un des trois amarrages. Nous nous sommes donc contentés de faire évoluer un secouriste et un blessé sur un balancier, avec des mouvements plus violents qu'en cas de secours réel.

	Effort maximum sur le seul dynamo.	
Essai 56	210	Balancier aller retour sans rupture avec poulie r ^{lt} à billes
Essai 57	220	Balancier aller retour sans rupture avec poulie r ^{lt} à billes 240 daN si le régulateur aide...
Essai 58	235	Balancier aller retour sans rupture avec poulie bague bronze
Essai 59	260	Départ blessé et accompagnateur du bas, avec seulement un mousqueton acier en haut
Essai 60	220	Dégagement d'équipier du bas (blessé à 3 m de l'amarrage)

- Pour tous ces essais, l'effort lu avant les mesures est de 180 daN

Conclusion : les effets dynamiques, quel que soit le renvoi utilisé (poulie ou mousqueton), ou la méthode de remontée (contrepois ou départ accompagnateur du bas), n'ont que peu d'influence sur les amarrages.

Si ces techniques sont similaires du point de vue résultats mécaniques, par contre dans la tête de l'exécutant,

la différence est de taille. On est moins sensible à être sur un seul "spit" pour aller décrocher un spéléo sur une seule corde, alors qu'on angoisse dans le rôle de contrepoids jusqu'à exiger une corde d'assurance au cas où!

Sur une faible hauteur (5 à 10m), on installe une poulie à roulement à bille. Un régulateur prend place à la poulie. Deux spéléos de poids très proches se mettent en position : un en bas se fixe en bout de corde, l'autre près de la poulie se met en contre poids.

L'importance psychologique que revêt cet exercice se mesure à la différence observée entre l'angoisse du 2^{ème} spéléo qui fait contre poids et celui qui attend tranquillement qu'on le monte dans la situation du blessé fictif. Quand les rôles s'inversent, quelle différence y a t'il entre les deux situations?...

Nous devons prendre en considération ces données psychologiques par l'apprentissage, et non pas justifier 2 cordes d'assurances, l'une au blessé et l'autre au contre poids.

5. Essais statiques sur un amarrage en "Y" (ou petite tyrolienne)

5.1. Protocole des essais

Pour cette série d'essais, la charge est de 80 daN, la longueur de la tyrolienne est courte (environ 2m) et permet des similitudes avec l'amarrage en Y. Elle est fixée avec un seul ancrage de chaque côté.

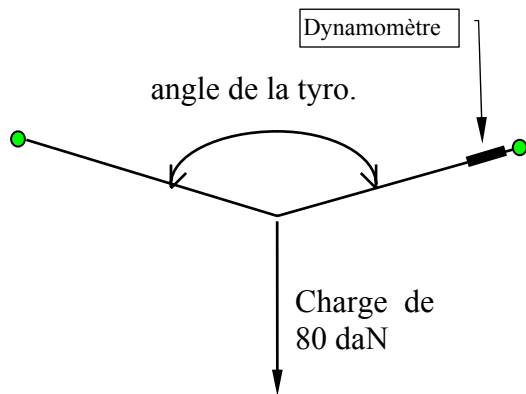
Le capteur dynamométrique est placé sur un point d'amarrage. De l'autre côté la corde passe dans un mousqueton puis bloquée au moyen d'un "gri gri". Ce dispositif permet de lâcher du mou sous tension, en modifiant les angles.

La position de la charge est pratiquement toujours au milieu, la charge étant suspendue à une poulie qui roule sur la tyrolienne.

5.2. Résultats des essais

La tension initiale sur la tyrolienne est de 33daN (chargée avec un poids de 80 daN).

Angle	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	155	160	170
Tension théorique calculée avec une charge de 80 daN	43	44	46	47	49	51	53	56	58	62	65	70	75	81	89	98	110	173	216	430
Tension obtenue avec une tension initiale de 33 daN+charge de 80daN	58	60	61	62	65	66.5	69	73			78	85		96		111		141		



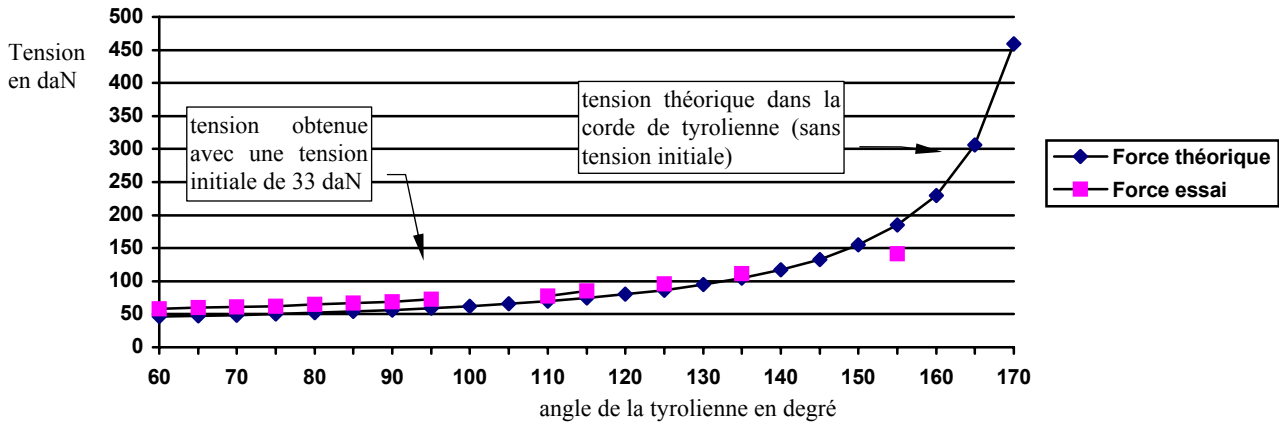
Remarque : en tendant au mieux la corde entre les amarrages, il est impossible de garder l'angle de 180° obtenu au repos. Il a fallu mettre la corde sous tension à 33 daN, pour n'obtenir qu'un angle de 155° avec la charge de 80 daN. La force supportée par le "spit" est alors de 141 daN.

5.3. Remarques et interprétations

- On peut noter sur le graphique obtenu que pour des angles de 60 à 120° environ, l'expérience ne s'éloigne pas trop de la théorie calculée avec de la trigonométrie classique et des éléments de statique du solide. L'écart entre les deux courbes, s'explique en partie par la tension initiale appliquée pour l'expérience (nulle pour les calculs théoriques).

- Le rapport entre la tension maximum obtenue (141daN), et la tension initiale (33daN) pour une charge classique de 75 daN est de 4,27.

Tension dans une petite tyrolienne en fonction de l'angle



5.4. Conclusion

Dans la pratique, il est rare de trouver un amarrage en Y d'un angle supérieur à 125°. Et même légèrement supérieur, les forces obtenues sur les amarrages ne dépasseraient guère les 100 daN en statique.

Pour les essais ci-dessus, la tension obtenue dans la tyrolienne reste donc acceptable. En spéléo-secours, avec une charge de 120 daN (brancard+ blessé), on obtiendrait une tension maximale de 212 daN ($141 \times 120 / 80$) en statique.

6. Essais statiques sur une tyrolienne

6.1. Protocole des essais

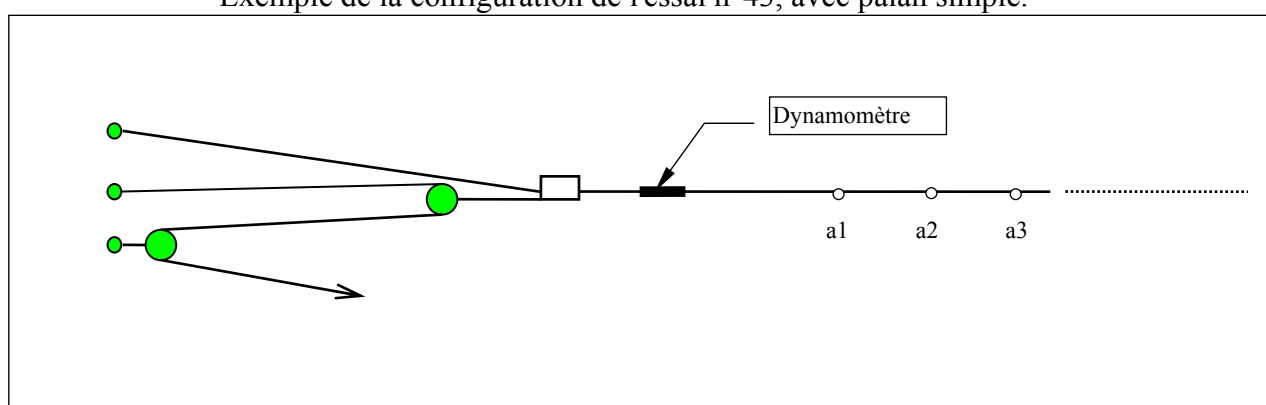
Nous nommerons la charge, comme étant le poids (gueuse ou spéléo) simulant le brancard.

Définitions des paramètres :

- A = position. C'est la position de la charge par rapport aux amarrages de la tyrolienne avec a1=côté capteur, a2=milieu, a3=autre côté
- B = suspension. Il s'agit du nombre d'ancrages de la charge sur la tyrolienne (simulation de plusieurs poulies avec B=1 ou 3 poulies)
- C = tension. C'est la force initiale sans charge, lue par le dynamomètre dans la corde de la tyrolienne

La longueur constante de la tyrolienne est de 6 mètres, la corde de 2 ans est de diamètre 10 mm et statique.

Exemple de la configuration de l'essai n°43, avec palan simple.



6.2. Résultats des essais

Contrairement aux procédés classiques qui consistent à ne faire varier qu'un seul facteur à la fois, nous avons ici combiné la variation des facteurs. La méthode d'exploitation fait appel à un plan d'expérimentation développé au Japon et appelé "Tagushi".

Cette méthode non développée ici, fait apparaître le rôle et l'importance relative de chaque facteur en économisant un nombre très appréciable d'essais.

	Force (ou tension) mesurée sur le dynamomètre	réponse du modèle restreint aux facteurs significatifs	A position	B suspension	C tension initiale dynamo.2 en daN
1	122	118	a1	1 poulie	40
2	175	173	a1	1 poulie	105
3	119	118	a1	3 poulies	40
4	165.5	173	a1	3 poulies	105
5	140	139	a2	1 poulie	40
6	200	194	a2	1 poulie	105
7	135	139	a2	3 poulies	40
8	192	194	a2	3 poulies	105
9	105	104	a3	1 poulie	40
10	162	159	a3	1 poulie	105
11	100	104	a3	3 poulies	40
12	158	159	a3	3 poulies	105

6.3. Remarques et interprétations

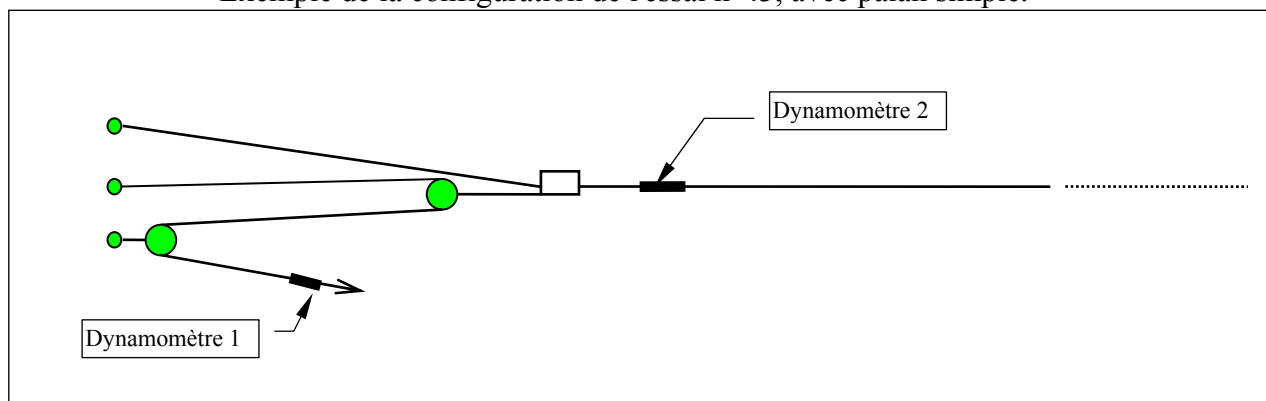
Les résultats de cette méthode indiquent que dans notre essai, seules la position de la charge et la tension ont une influence sur les efforts aux amarrages. L'effet du nombre de points d'ancrage de la charge sur la tyrolienne (1 ou 3 poulies) est négligeable. **Le facteur le plus influent est la tension initiale de la tyrolienne.**

7. Tension des tyroliennes

7.1. Protocole des essais

Nous nommerons la charge, comme étant le poids (gueuse ou spéléo) simulant le brancard.
La longueur constante de la tyrolienne est de 6 mètres, la corde de 2 ans est de diamètre 10 mm et statique.

Exemple de la configuration de l'essai n°43, avec palan simple.



Le dynamomètre 1 enregistre la force exercée par les spéléos qui tirent sur le palan
Le dynamomètre 2 enregistre la tension (corde de la tyrolienne)

7.2. Résultats des essais

	Tension obtenue...	Tension initiale maxi.de la tyro. avant le blocage et sans charge dynamomètre 2	Tension initiale maxi.de la tyro. après le blocage et sans charge dynamomètre 2	Action des équipiers dynamomètre 1
Essai 40	avec une traction directe sur le brin orienté à 25° par rapport à la tyrolienne, sans palan et avec 2 équipiers	80 daN	sans blocage	130 daN
Essai 41	idem	160 daN	sans blocage	280 daN
Essai 42	avec une traction directe sur la corde de la tyrolienne, en se pendant sur le brin vertical (masse de 35 kg puis 1,2 et 3 équipiers)	200 daN	70 daN	275 daN
Essai 43	avec un palan (corde indépendante de la tyrolienne), et angle de 25° sur le brin tracté avec 3 équipiers	240 daN	60 daN	250daN
Suite essai 43	Un équipier (80 daN) s'installe au milieu de la tyrolienne		avec charge : 200daN	
Essai 44	palan avec poulie à roulement avec 3 équipiers	350 daN	80daN	220 daN
Essai 45	palan avec poulie à roulement et arrêt avec un demi-cabestan directement en bout de tyrolienne avec 3 équipiers	280 daN	50 daN	180 daN
Essai 46	double palan avec poulies à roulement avec 2 équipiers	420 daN	60 daN	100 daN
Essai 47	double palan avec bloqueurs en fin de palan	460 daN	360 daN	
Essai 48	suite du 47 sans détendre avec la charge d'un équipier sur la tyrolienne en dynamique		450 daN	

7.3. Conclusion

- 5.4.1 Grosse influence du mode de blocage de la tension.

La valeur de la tension initiale sur la tyrolienne dépend essentiellement de son mode de blocage. Avec des moyens classiques (demi cabestan), on conserve **14 à 35 %** seulement de la tension, soit **jamais plus de 80 daN** !. Les 200 à 400 daN de tension initiale tombent à 60 ou 80 daN au moment du basculement du demi cabestan et de la mise en oeuvre de la clé d'arrêt du noeud largable.

La solution expérimentale de l'essai 47 (à proscrire sur le terrain), consiste à bloquer le brin de traction en fin de palan. C'est alors 78% de la tension qui est conservée après le blocage (360daN/460daN). Dans ce cas, le rajout d'un spéléo de 85 kg sur la tyrolienne monte sa tension à 450 daN.

- 5.4.2 Régression de notre puissance, dans la phase de tension

Le graphe de l'essai 44 montre qu'il est inutile de s'énerver sur les palans multiples, le meilleur de nous-mêmes est produit dans les 20 premières secondes ! Toutes les autres dépenses d'énergie ne sont que gesticulations !

- 5.4.3 Efforts acceptables, mais avec 3 amarrages !

Les tensions les plus importantes avant le blocage (460 daN) restent très acceptables pour des amarrages de tyrolienne qui sont toujours multiples.

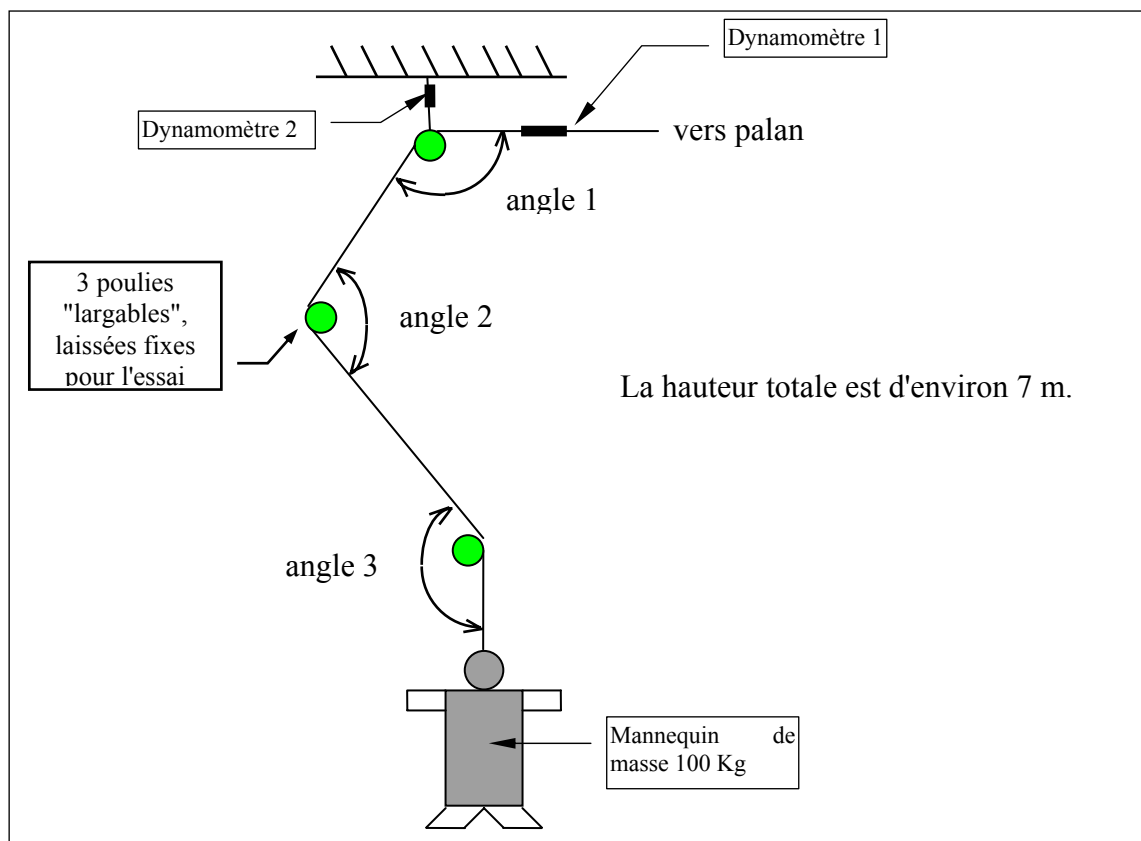
L'effet dynamique de la suspension d'une charge sur tyrolienne (simulation des à-coups de la traction), semble très réduit (essai 48). La variation étant de + ou - 60 daN pour une charge de 80 daN.

Par comparaison, cette charge de 450 daN maximum est inférieure aux 575 daN obtenus sur un brin d'un balancier (masses de 100 kg + spéléo de 80 daN), après la rupture d'un de ses trois points d'amarrage. Mais on comprend que les trois amarrages sollicités en même temps (noeud de répartition de charge) soient impératifs afin de prévenir toute rupture, même si le mode de blocage de l'essai 47 n'est pas utilisé et à proscrire.

8. Plusieurs poulies sur une corde de traction

8.1. Protocole des essais

Essai en dynamique d'une traction déviée par 3 poulies. Les paramètres variables étant la nature des poulies, et les angles. L'importance de la tension exercée par les équipiers sur le palan n'a pu être mesurée, les deux seuls dynamomètres ayant été placés à la sortie du palan et sur la poulie la plus chargée.



8.2. Résultats des essais

	Valeur maxi. de la traction avant le palan dynamo.1	Valeur maxi. à l'amarrage du plafond dynamo. 2	angle 1	angle 2	angle 3	
Essai 70	270 daN	200 daN	140 °	90 °	130 °	palan avec 2 poulies à roulement les 3 autres sont à bagues bronzes
Essai 71	235 daN	160 daN	140 °	90 °	130 °	idem mais avec un double palan
Essai 72	270 daN	155 daN	145 °	65 °	120 °	double palan et les 3 poulies sont à roulements

8.3. Remarques et interprétations

- Dans les trois cas, l'effort à fournir avec un palan (simple ou double), pour monter la charge de 100 daN, est supérieure à trois fois celle-ci (de 235 à 270 daN), selon le type de poulie utilisée.

- Les efforts sur la corde de maintien de la poulie largable la plus sollicitée, sont au plus du double (200daN) avec un seul palan et au moins une fois et demi (155 daN) celle de la charge avec un double palan.

- Le fabricant PETZL des poulies utilisées ici donne une absorption de 40% avec une poulie bague bronze et 10% avec une poulie à roulements (pour un demi tour de corde autour de la poulie).

Essais mécaniques en spéléo-secours (campagnes d'essais 1994 et 1996)

Si la vitesse devient plus importante les bagues nylon (comme bronze) ont de très mauvais comportements.

- L'essai 72 montre qu'avec les mêmes équipiers au palan qu'à l'essai 71, on obtient un effort de 270 daN au lieu de 235 daN, pour une tension au niveau de la poulie identique (155 pour 160 daN), avec des angles pourtant globalement plus faibles.

8.4. Conclusion

Cette dernière série d'essai est incomplète : tous les paramètres n'ont pu être appréciés précisément (la variation du nombre de poulies, mesure de chaque côté du palan, influence relative des paramètres angles, nombre et nature des poulies).

On notera aussi que les efforts sur les cordes de maintien des poulies largables (270 daN maxi.), nécessitent des blocages efficaces et un diamètre de corde suffisant (8 mm minimum).

9. Conclusion générale

Nos séries d'essais montrent que globalement, nous travaillons en spéléo-secours avec des marges de sécurité très larges, même dans le cas des simulations dynamiques assez fidèles à la réalité.

Elles confirment que c'est aux amarrages que l'on doit attacher beaucoup d'importance. La corde, avec un diamètre suffisant (9 mm minimum en secours), n'est pas l'élément de la chaîne le plus sensible.

Les essais du Triple amarrage, par exemple, montrent qu'il est plus ennuyeux pour le blessé que pour la corde d'avoir un amarrage qui lâche.

Pour la tyrolienne, on peut dire qu'avec plusieurs amarrages travaillant en même temps, la corde d'assurance n'a qu'un rôle psychologique, compte tenu des efforts modérés supportés par la porteuse.

Résumé numérique de nos essais:

Chapitre		Chargement	Efforts maximum obtenus
4	Dégagement d'équipier (sans rupture)	masse de 100 kg + 1 spéléo de 80 kg = 180 kg	Effort maxi. sur l'unique amarrage: 220 daN seulement, mais sur un seul amarrage
4	Balancier sur Triple amarrage (sans rupture), avec aide d'un régulateur	masse de 100 kg + 1 spéléo de 80 kg = 180 kg	Effort sur la poulie à roulement à billes: 240 daN
4	Contrepoids en accompagnant du bas (sans rupture)	masse de 100 kg + 1 spéléo de 80 kg = 180 kg	Effort sur le mousqueton dans lequel coulisse difficilement la corde: 260daN
3	Balancier sur Triple amarrage avec rupture	masse de 100 kg + 1 spéléo de 80 kg = 180 kg	Chaque amarrage reprend de 35 à 95 daN et pendant la rupture de 110 à 575 daN
7	Tyrolienne	1 spéléo de 80 kg	La tension initiale obtenue ne dépasse jamais 80 daN sans la charge, avec les moyens classiques de tension, c'est à dire système de blocage avant le palan et non du côté des équipiers (essai n°47), qu'il s'agisse de double palan ou non avec poulies à roulement ou non. Dans ce cas, avec un équipier simulant la civière, la tension ne dépasse pas 200 daN Dans le pire des cas, à proscrire (blocage du palan du côté équipiers : essai n°47), avec une charge de 80 daN simulant la civière, la tension atteint 460 daN .
8	Pour un palan classique	masse de 100 kg	Effort à fournir : 270 daN

10. Deuxième série d'essais

Lors de cette deuxième campagne, il s'agissait de confirmer et/ou d'affiner nos premiers résultats. Nous avons fréquemment utilisé les méthodes des plans d'expérience.

Une période de cinq jours continus a permis de conclure et a servi de base à la deuxième édition du manuel du sauveteur SSF.

Les personnes suivantes ont participé à cette deuxième campagne :

Dates	Participants
Mars 1996	Bernard ABDILA Christian DODELIN Jean Marc GIBELIN Jacques GUDEFIN Florence GUILLOT Eric MEYGRET Joël POSSICH Bernard TOURTRE

11. Tyrolienne tendue à vide

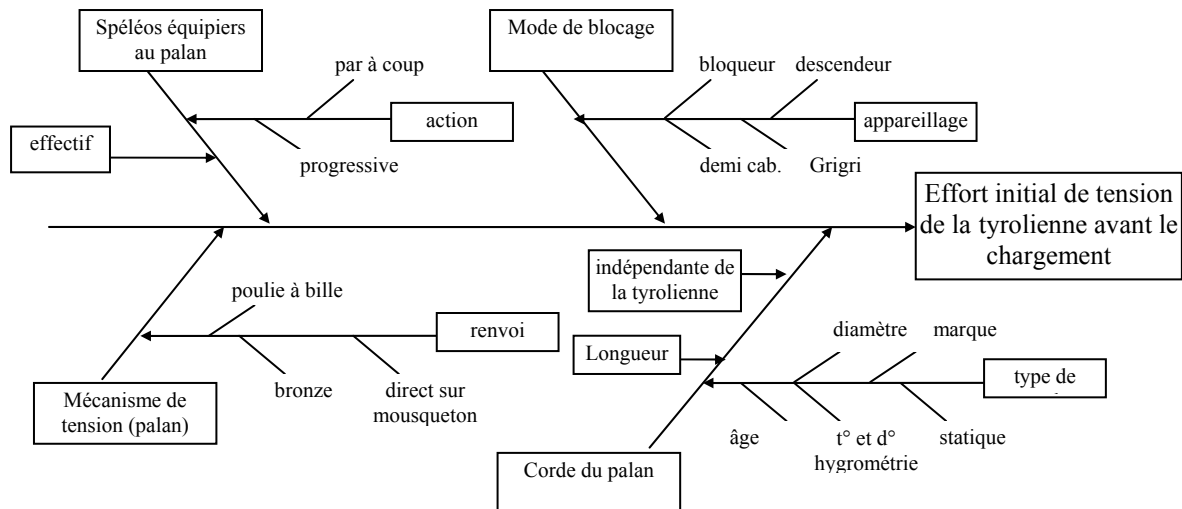
11.1. Objectif poursuivi :

Quelles mesures ?

Connaître les efforts de la tension initiale sur la tyrolienne avant chargement, en fonction du mode de blocage.

11.2. Paramètres (facteurs)

11.2.1. Recensement (diagramme cause/effet)



11.2.2. Sélection des paramètres les + influents

	Paramètre	modalité 1 (niveau)	modalité 2 (niveau)
1	Mode de blocage : bloqueur	avec poulie	
2	Mode de blocage : descendeur	avec clé	sans clé
3	Mode de blocage : Grigri	avec clé	sans clé
4	Mode de blocage : ½ cabestan	clé mule	clé arrêt
	Tous les autres facteurs constants		

11.2.3. Sélectionner les interactions les plus influentes

Aucune possible, car les solutions de blocage ne peuvent coexister

11.3.Construction du plan

Neuf essais, pas de plan d'expérience.

11.4.Résultats et analyse

	Paramètre : mode de blocage	Tension avant blocage (en daN)	Tension après blocage	Tension avec 3 spéléos (+225 daN)	Tension après déchargement des 3 spéléos
1	Noeud Italien+clé avant retournement	70	50	relâchement	10
2	Noeud Italien+clé après retournement	170	145	450	80
3	Descendeur auto bloquant	de 500 à 600	pour cet essai la	corde s'est rompu	sous le bloqueur
4	Descendeur auto bloquant sans clé (renvoi avec un angle / tyrolienne)	250 (avec crêtes de 400)	150	380	60
5	Descendeur auto bloquant sans clé (renvoi dans l'axe de la tyrolienne)		200	420	10
6	Descendeur auto bloquant avec clé	(avec crêtes de > 500)	220	500	180
7	Grigri		300	> 500	180
8	Bloqueur avec poulie		380	> 500	260
9	Descendeur non auto bloquant avec clé	(avec crête de 580)	90	550	50

11.5.Conclusion

Méthode de blocage d'une tyrolienne :

Grigri : impossibilité de déblocage sous tension (à 180 daN)

Bloqueur :
 - La tension initiale obtenue avec un bloqueur est trop forte.
 - Sous forte charge il y a un danger de dégainer la corde.

Noeud Italien : - Inconvénients = avant son blocage, difficulté de maintien manuellement de la tension et beaucoup de déperdition.
 - Avantage = Reste une solution matériellement facile à mettre en oeuvre

Descendeur autobloquant : Bonne solution, réduit suffisamment les déperditions avant blocage. Permet de "larger" aisément la tyrolienne.

12. Tyrolienne horizontale chargée

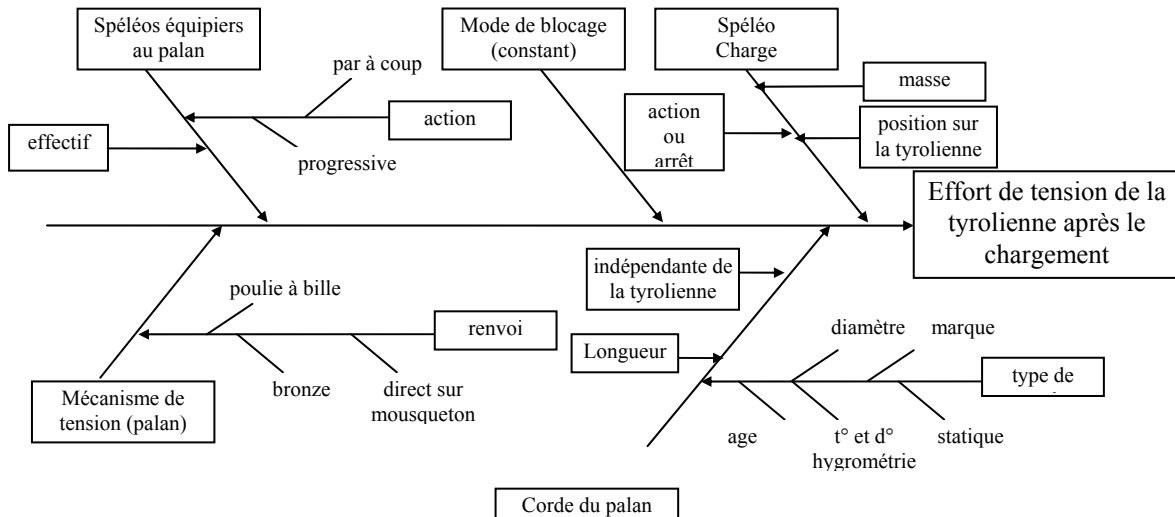
12.1.Objectif poursuivi :

Quelles mesures ?

Connaître les efforts de la tension initiale sur la tyrolienne après chargement.

12.2.Paramètres (facteurs)

12.2.1.Recensement (diagramme cause/effet)



12.2.2.Sélection des paramètres les + influents modalités et valeurs pour chaque paramètre

Nombre de

	Paramètre	modalité 1 (niveau) ou constant	modalité 2 (niveau) ou constant
10	Longueur	6.6 m	2.4 m
12	Position sur la tyrolienne	3.3 m	0.5 m (côté dynamo.)
	Tous les autres facteurs constants		
	Mode de blocage (descendeur auto bloquant +clé)	constant	
	Tension initiale à vide	Ramenée constante à 190 daN	
	Masse équivalente à 3 spéléos	220 daN	

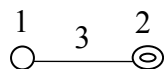
12.2.3.Sélectionner les interactions les plus influentes

La seule possible !

12.2.4.Construction du plan

Choix de la table, exemple : $L_4 2^2$

Annotations: L_4 (4 essais), 2^2 (2 paramètres (facteurs), 2 modalités (niveaux))



essai	Longueur en m.	Position			résultat 1	résultat ramené à une tension de 190 daN
10	6.6	milieu			500	
10	6.6	au bout côté du dynamo			410	
12	2.4	milieu			480	
12	2.4	au bout côté du dynamo			480	

→ ○ ⊖ ⊙ ● + facile à mettre en oeuvre pour changement de

12.3.Analyse

	Paramètre : mode de blocage	Tension après blocage	Tension avec 3 spéléos côté dynamomètre	Tension avec 3 spéléos au milieu de la tyro.	Tension avec 3 spéléos côté opposé au dynamo.	Tension résiduelle
10	Tyrolienne chargée avec 220 daN (blocage avec descendeur auto bloquant)	210	410	500	330	140
11	Idem	260	420	520	340	
12	Idem mais avec une longueur de tyro plus courte	170	480	480	330	80
13	Tyrolienne chargée avec 220 daN (blocage avec descendeur auto bloquant) et les trois spéléos qui s'agitent très violemment	160		740		

12.4.Conclusion

Le paramètre le plus influent est la variation de la longueur de la tyrolienne par rapport à la position de la civière sur la tyrolienne.

Le fait d'augmenter la longueur de la tyro, réduit la tension dans celle-ci.

L'angle maximum obtenu sur une tyrolienne courte (de 2,1 m) est de 162° après le chargement d'un spéléo et 160° après le chargement de deux spéléos. La tension initiale étant de 185 daN.

	Tension initiale	Masse des spéléos	Tension tyro. obtenue en plus sur le graphe	Tension totale obtenue sur le graphe
Chargement d'un spéléo	190	environ 83 daN	+90 daN	= 280daN
Chargement de 2 spéléos	181	environ 164 daN	+183 daN	=364 daN

13. Poulie de renvoi mobile (PRM)

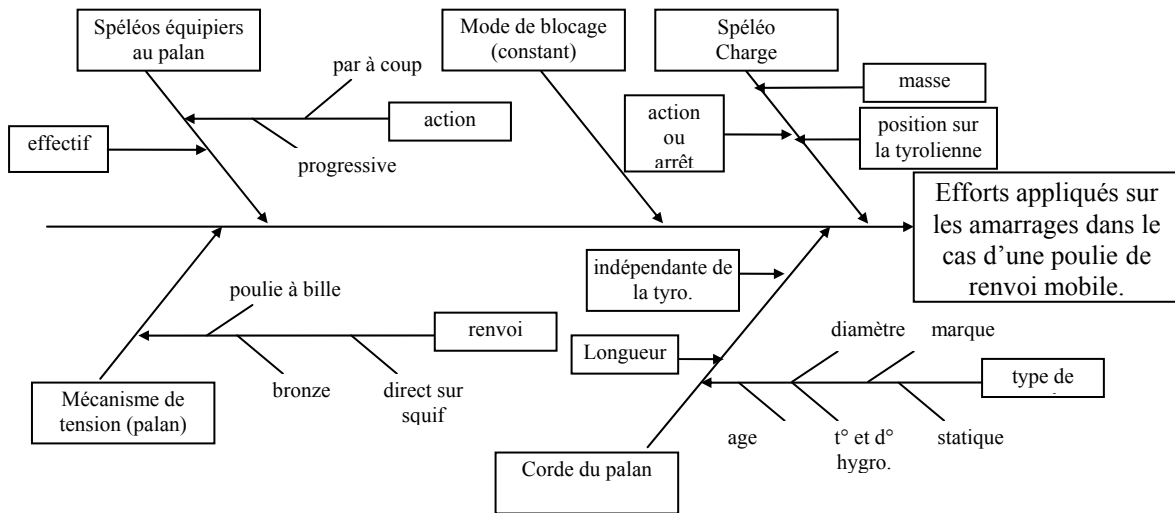
13.1. Objectif poursuivi :

Quelles mesures ?

Connaître les efforts appliqués sur les amarrages les plus sollicités (PRM et palan) dans le cas d'une poulie de renvoi mobile.

13.2. Paramètres (facteurs)

13.2.1. Recensement (diagramme cause/effet)



13.2.2. Sélection des paramètres et nombre de modalités et valeurs pour chaque paramètre

	Paramètre	modalité 1 (niveau) ou constant	modalité 2 (niveau) ou constant
	Poulies utilisées pour le palan	bague bronze	à bille
	Poulies utilisées pour la PRM	bague bronze	à bille
	<i>Tous les autres facteurs constants</i>		

13.3. Résultats et analyse

	Poulies utilisées pour le palan	Poulies utilisées pour la PRM	Effort sur palan	Effort sur PRM
15	bague bronze	bague bronze	200 daN	> 500 daN
16	bague bronze	à billes	200 daN	600 daN
17	à billes	à billes	220 daN	690 daN

13.4. Conclusion

Dans le cas d'une PRM, les efforts supportés par les amarrages de la poulie (PRM) peuvent atteindre des valeurs importantes. Elles peuvent atteindre 690 daN avec des poulies à billes. Ces efforts sont occasionés d'une part par le blocage de la civière sur la PRM à son arrivée au sommet du puits, et d'autre part au maintien trop long de la clé de blocage du descendeur.

Quand la civière circule horizontalement sur cette installation, l'amarrage de la PRM subit des contraintes dépassant 400 daN.

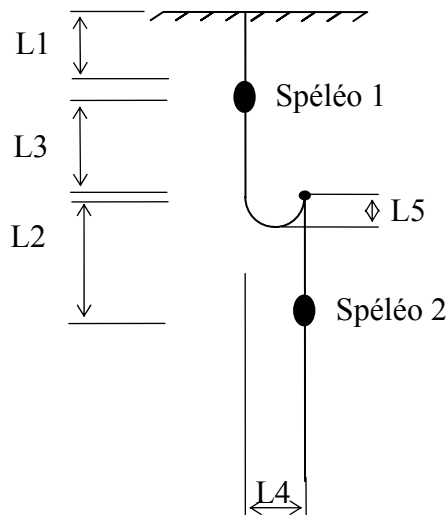
A l'amarrage du palan les efforts ne dépassent pas 220 daN.

14. Rupture de fractionnement

14.1. Objectif poursuivi :

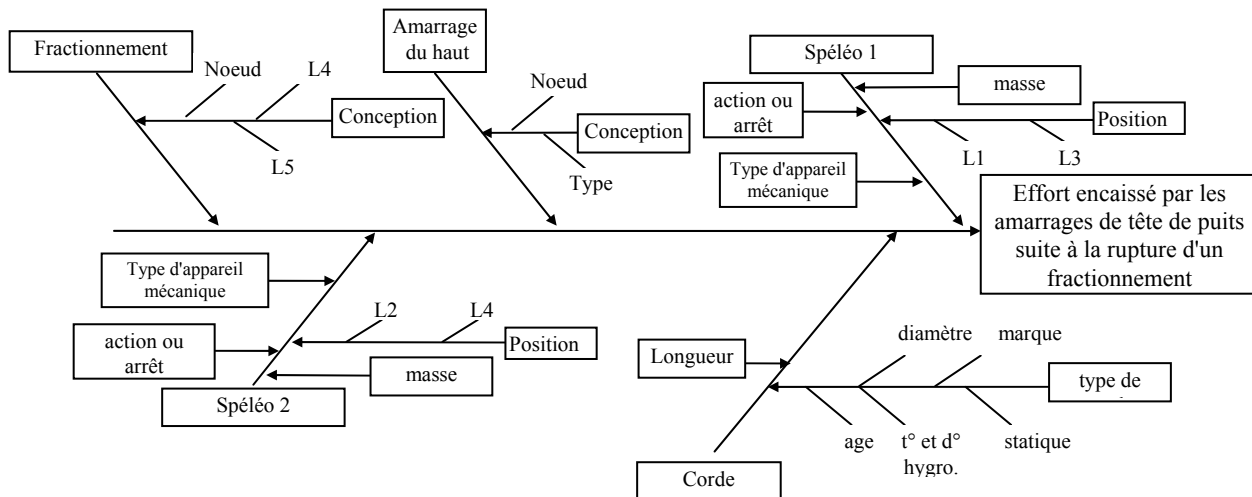
Quelles mesures ?

Connaître les efforts subis par les amarrages en tête de puits lors de la rupture d'un fractionnement.



14.2. Paramètres (facteurs)

14.2.1. Recensement (diagramme cause/effet)



14.2.2.Sélection des paramètres les plus influents. Nombre de modalités et valeurs pour chaque paramètre.

	Paramètre	modalité 1 (niveau) ou constant	modalité 2 (niveau) ou constant
1	L1	0.40 m	1 m
2	L2	0.30 m	1.5 m
4	L4	0.12 m	1.9 m
	<i>Tous les autres facteurs constants</i>		
5	L5 est resté constant	0.45 m	m
3	L3 dépend de L1	m	m
	Masse Spéléo 1	kg	kg
	Masse Spéléo 2	kg	kg
	Corde		

14.2.3.Sélectionner les interactions les plus influentes

3 facteurs

14.3.Résultats et analyse

	1	2	4	1	2	4
	○	⊖	⊖	⊖	●	
	L4	L1	L2	L4	L1	L2
f1	1	1	1	0.12	0.40	0.3
5	1	2	2	0.12	1	1.5
17	1	2	1			
19	1	1	2			
21	2	1	1			
23	2	1	2			
25	2	2	1			
27	2	2	2			

résultat 1	résultat 2
470	420
415	
428	
445	
385	
390	
395	

Le paramètre le plus influent est le décalage des deux cordes verticales (L4) par rapport aux positions des spéléos (L1 et L2). Le rapport entre ces facteurs est de 43 pour 4 et 1.

14.4.Conclusion

Les valeurs maximales obtenues après une rupture du fractionnement ne dépassent jamais 470 daN sur l'amarrage du haut.

Bibliographie :

Pratique des plans d'expériences, méthodologie Taguchi (Les éditions) Petite encyclopédie de la qualité
Auteur : Michel G.VIGIER

Sciences et technologies industrielles n°66 février 1994 (Cndp) page 17 à 31