



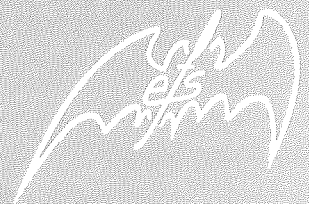
DOSSIER INSTRUCTION

France GUILLAUME

MODIFICATIONS BIOLOGIQUES A L'EFFORT EN SPELEOLOGIE

2ème édition - Janvier 1995

Ecole Française de
Spéléologie



MODIFICATIONS BIOLOGIQUES A L'EFFORT EN SPELEOLOGIE

1. INTRODUCTION

2. LA MACHINE MUSCULAIRE

3. LE MUSCLE, SA CONSTITUTION

4. PROCESSUS ENERGETIQUES INTIMES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

4.1. La voie aérobie

4.2. La voie anaérobie

5. APPLICATION DE CES DONNEES THEORIQUES A LA SPELEO

6. COMMENT AMELIORER SES PERFORMANCES ?

6.1. Par l'entraînement physique

6.2. Par une diététique appropriée

7. L'HYPOTHERMIE, L'EPUISEMENT

7.1. La thermorégulation

7.2. Les mécanismes régulateurs

7.3. Les moyens de lutte contre l'hypothermie

7.4. Conduite à tenir

8. ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE RECENTE

1. INTRODUCTION : "Connais-toi toi-même"

Un minimum de connaissance en physiologie doit permettre aux spéléologues de mener à bien leurs explorations dans de bonnes conditions. Une meilleure utilisation des ressources permet de s'économiser.

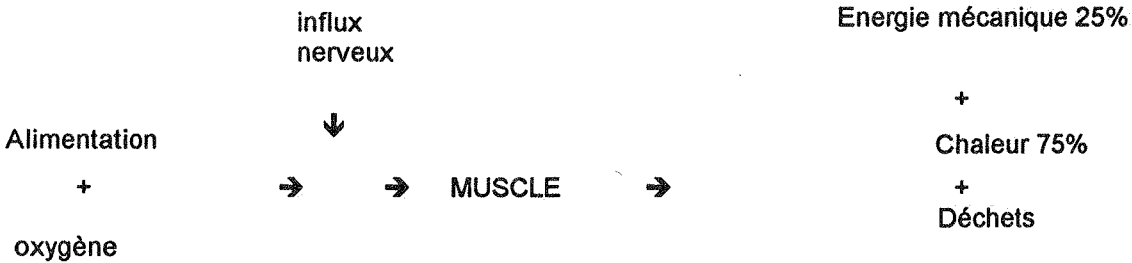
Les performances en spéléo sont fonction :
des capacités physiques d'origine génétique,
de l'entraînement,
de la préparation psychologique,
de l'équipement,
de l'alimentation.

Un principe de base de notre activité : réfléchir avant d'agir, étudier les passages, soit

"un minimum d'effort pour un maximum d'efficacité"

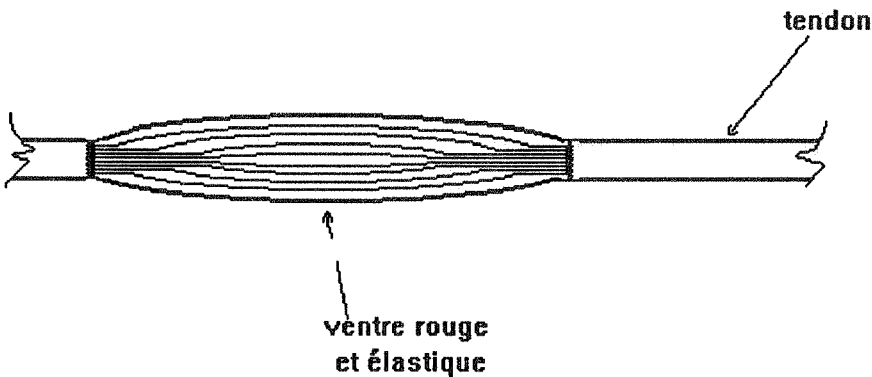
2. LA MACHINE MUSCULAIRE

On peut comparer l'appareil musculaire locomoteur à un moteur à essence : toutes les fonctions de l'organisme contribuent à transformer une énergie chimique en énergie mécanique.



3. LE MUSCLE, SA CONSTITUTION

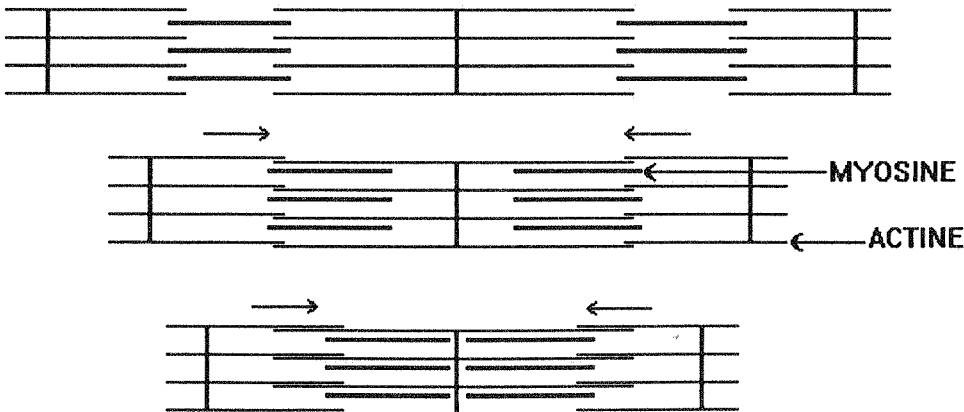
Les muscles squelettiques constituent 40% de la masse corporelle ; ils sont constitués de 2 parties distinctes : le tendon et le ventre.



Le ventre est constitué d'une multitude de fibres musculaires, assemblées par un tissu d'enveloppes. Entre les faisceaux musculaires et les enveloppes circulent les vaisseaux et les nerfs.

Lorsque l'on regarde de plus près les fibres musculaires, elles apparaissent constituées de faisceaux de fibrilles plus fines et découpées en bandes claires et foncées.

Au cours de la contraction, ces fibres s'interpénètrent provoquant un raccourcissement du muscle.



Au sein des tissus musculaires, on trouve des organites qui sont le support de l'énergie chimique du muscle :

- les mitochondries, qui renferment les enzymes pour l'utilisation de l'oxygène dans les réactions aérobies ;
- la myoglobine, pigment qui transporte l'oxygène au sein même du muscle ;
- le glycogène, réserve de glucides du muscle.

Une analyse par prélèvements (biopsie) des fibres musculaires, permet d'en distinguer deux types :

<u>Fibre I :</u>	<u>Fibre II :</u>
Contraction lente	Contraction rapide
Riche en myoglobine	Peu de myoglobine
Très vascularisée	Circulation peu développée
Beaucoup d'enzymes correspondant aux processus aérobie (apport d'oxygène suffisant)	Equipée pour les processus anaérobie (apport d'oxygène insuffisant)
Fibre de l'endurance	Fibre de la résistance, des efforts brefs et violents

La proportion des 2 types de fibres varie d'un individu à l'autre.

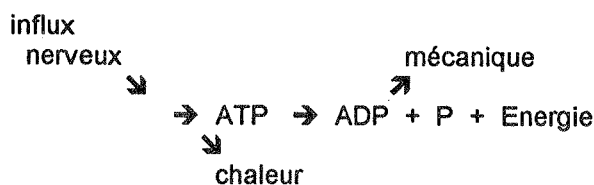
L'entraînement va faire varier :

- le volume,
- la vascularisation,
- le contenu énergétique des muscles,

mais pas la proportion des 2 types de fibres ce qui explique la prédisposition individuelle à telle ou telle activité sportive.

4. PROCESSUS ENERGETIQUES INTIMES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

L'énergie chimique nécessaire à la contraction musculaire résulte de l'action de l'influx nerveux sur une molécule d'ATP (Adénosine triphosphate) qui est dégradée en ADP (Adénosine diphosphate) libérant de l'énergie utilisée dans la contraction. L'ATP est présente en très petite quantité dans l'organisme.



Il existe dans l'organisme 2 voies de production d'énergie d'ATP.

4.1. La voie aérobie

Quand l'approvisionnement en oxygène satisfait à la demande, la voie aérobie fonctionne au cours des efforts de moyenne importance mais soutenus : c'est la voie énergétique de l'endurance.

La voie aérobie utilise une série de réactions chimiques se déroulant dans les mitochondries. Elles aboutissent à la formation d'ATP en partant de l'énergie des aliments et de l'oxygène.

Les carburants utilisés par la cellule sont variés : glucides, protides, lipides. Les déchets sont facilement éliminés (gaz carbonique, eau).

La chaleur dégagée le sera par la peau sous la forme de sueur ce qui en spéléo n'est pas sans inconvénient (voir la thermorégulation et l'épuisement).

Ces réactions sont lentes et présentent une inertie due à la mise en route du système transporteur d'oxygène. Elles sont limitées en puissance et permettent des efforts d'intensité moyenne.

La durée possible de cet effort est fonction du niveau d'entraînement du spéléo, et du niveau de l'effort par rapport à la puissance maximale de l'individu.

4.2. La voie anaérobie

La voie anaérobie se met en action quand la voie aérobie n'est pas encore efficace au début de l'exercice, et quand la voie aérobie est dépassée.

Au cours de ce processus l'organisme contracte une dette d'oxygène qu'il faudra rembourser par la voie aérobie.

a. Voie anaérobie alactique :

C'est l'énergie starter qui permet d'attendre la mise en route de la voie aérobie.

Un composé proche de l'ATP: la créatine phosphate (CP) est présent dans la cellule. Ce composé est chargé d'énergie au repos et réagit avec l'ADP.

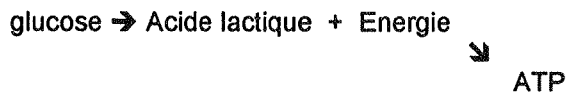
(dès que le muscle est sollicité ATP → ADP)



Cette réaction starter autorise de très fortes puissances, mais ne dépasse pas 15 à 30 secondes.

b. Voie anaérobie lactique :

Le glucose et le glycogène (forme de stockage du glucose) peuvent s'oxyder sans oxygène.



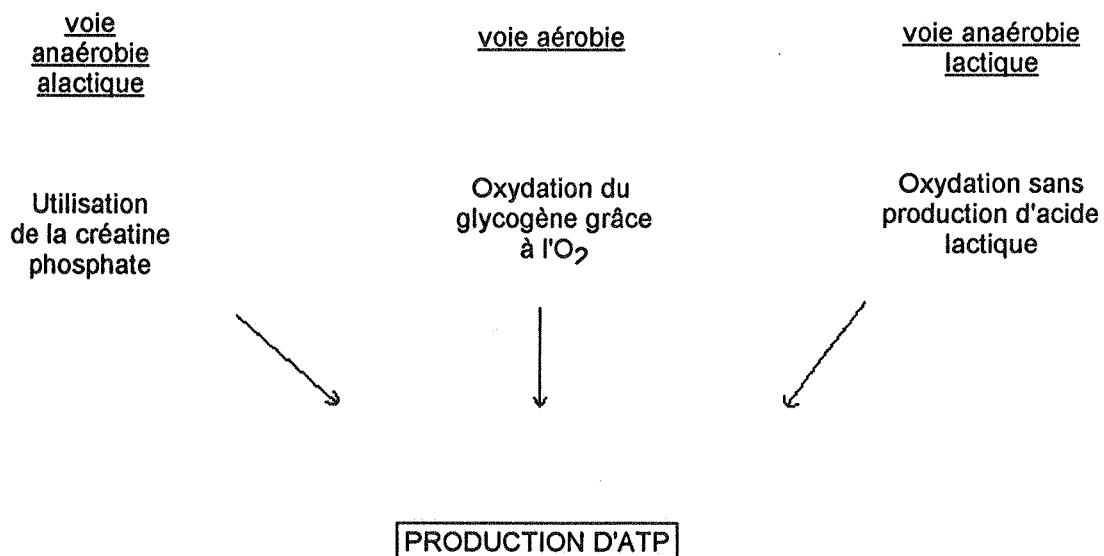
L'acide lactique va s'accumuler et modifier l'acidité cellulaire, perturbant l'activité musculaire.

c. La dette en oxygène :

Pour la voie alactique, elle se remboursera de façon aérobie. Le muscle devra fournir de l'énergie pour reconstituer la créatine phosphate ; cela se fera soit au cours de l'exercice si celui-ci se prolonge à faible intensité, soit en phase de récupération.

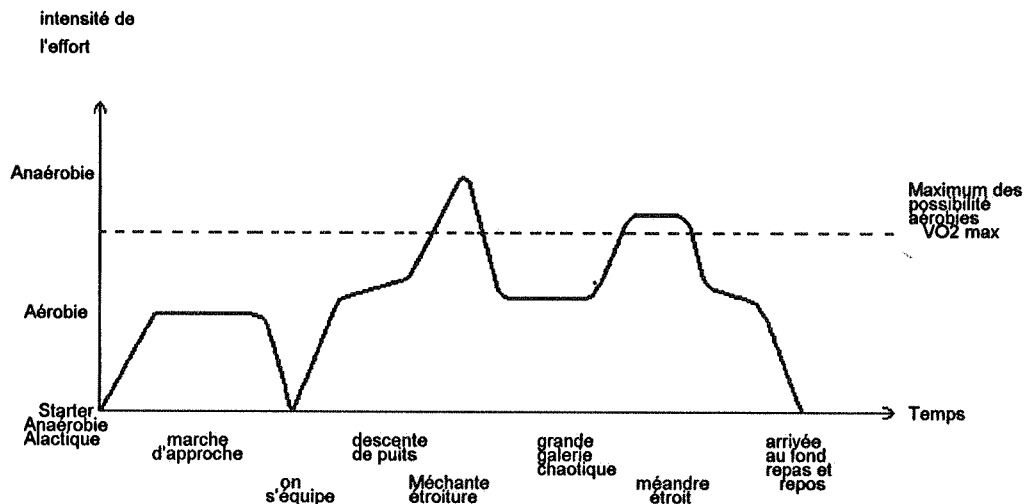
Pour la voie lactique, la dette sera fonction de l'intensité et de la durée de l'exercice. L'acide lactique sera éliminé pendant une durée qui s'échelonne entre quelques minutes et plusieurs heures. Il est soit consommé par oxydation aérobie (coeur ou muscle) soit resynthétisé par le foie et le glucose.

En résumé



5. APPLICATION DE CES DONNEES THEORIQUES A LA SPELEO

Analyse au cours d'une exploration moyenne de la mise en jeu des processus énergétiques :



Pour la remontée, il existe déjà au départ une dette d'oxygène à payer et pourtant, dans la plupart des cas, l'effort à fournir est plus important que pour la descente. Il est donc primordial en spéléo de faire en sorte d'être le plus souvent en régime aérobie.

"Rien ne sert de courir, il faut partir à point"

Qu'est-ce qui permet de savoir si on se situe bien en régime aérobie ?

- Le coeur se trouve à une fréquence d'endurance variable d'un individu à l'autre : le rythme cardiaque n'est donc pas un critère universel.
- La respiration permet une conversation soutenue : ceci constitue un bon test.

6. COMMENT AMELIORER SES PERFORMANCES ?

6.1. Par l'entraînement physique.

Nous ne rentrons pas dans le détail de ce type de pratique en spéléo, l'entraînement le plus simple consiste à sortir régulièrement sous terre !

L'entraînement va améliorer notamment :

- les performances cardiaques,
- les performances ventilatoires,
- la vascularisation et la charge énergétique au niveau des muscles.

Ceci conduira à une amélioration des performances.

6.2. Par une diététique appropriée.

Nous avons vu que seule la voie aérobie autorise des efforts longs. Quelle est la nature des carburants utilisés par les muscles pour fabriquer de l'ATP ?

a. *les protéides* constituent le moteur ; sauf à la limite de l'épuisement, il ne sont plus utilisés.

b. *les lipides ou graisses* sont la forme de stockage de l'énergie. Ils sont utilisables en régime aérobie. La réserve est très importante ≈ 70000 calories / homme (6 à 8 semaines de réserves).

c. *les glucides* sont stockés sous la forme de glycogène : 4/5 dans les muscles, 1/5 dans le foie. Le stock de glycogène va conditionner les possibilités d'efforts d'endurance. Il existe des techniques de régimes permettant d'augmenter les réserves de glycogène en vue des compétitions (ex : ski de fond, marathon...)

Pour le spéléologue, il y a un certain nombre de choses simples à retenir :

- La veille d'une exploration, il vaut mieux privilégier, à l'occasion des repas, les sucres lents. Il faut éviter les repas difficiles à digérer (viandes en sauces...) qui font que dès le démarrage de l'explo, l'organisme n'a pas éliminé les déchets.

- Au cours d'une exploration, il faut savoir prendre le temps de s'arrêter pour manger, et ceci régulièrement. Les repas à base de charcuterie sont à éviter bien qu'ils soient dans nos habitudes alimentaires. En effet, la digestion de ceux-ci laisse bon nombre de déchets à un moment ou l'organisme en a beaucoup à éliminer, du fait de son propre fonctionnement.

Il vaut mieux absorber là aussi des sucres lents, des fruits secs, des barres de céréales...

- Au retour d'une explo longue : éviter là aussi les surcharges par des grosses bouffes indigestes !

- Conserver un degré d'hydratation le meilleur possible. Le vieux principe qui consistait à ne pas consommer de boisson soi-disant parce que "ça coupe les pattes" ne repose sur rien. Au contraire, le rendement du muscle est bien meilleur avec une hydratation suffisante.

En spéléologie, il faut boire souvent (attention à la pollution éventuelle de l'eau des cavernes) et ne pas hésiter à emporter le petit réchaud pour pouvoir absorber une boisson chaude.

7. L'HYPOTHERMIE, L'ÉPUISEMENT

Normalement, les moyens de défense de l'organisme sont très puissants. L'hypothermie survient lorsque les moyens de défense sont débordés (exploration au-dessus des possibilités de l'individu).

L'hypothermie se caractérise par une température centrale inférieure à 35° (c'est à dire température rectale ; en spéléo, on peut la prendre sous la langue).

7.1. la thermorégulation.

L'homme est un homéotherme : sa température centrale est constante, ce qui veut dire qu'il existe un équilibre entre les gains et les pertes de chaleur. La température périphérique est intermédiaire entre la température du noyau et la température ambiante.

Pertes

- automatiques (équilibre avec le milieu ambiant)
- évaporation, sueur
- volontaire \Rightarrow plus ou moins de couverture vestimentaire

Gains

- automatiques \Rightarrow métabolisme de base
- frissons
- volontaires \Rightarrow exercices musculaires

= balance thermique

7.2. Les mécanismes régulateurs.

Il est difficile de provoquer une hypothermie chez un sujet réveillé, en bonne santé.

a. Diminution des pertes :

- Par vasoconstriction généralisée favorisant la conservation de la température des structures internes. (ex : lorsqu'il fait froid on ne voit presque plus les veines de la main).
- Par horripilation = "chair de poule". Chez l'animal, ce mécanisme crée un matelas d'air, malheureusement inefficace chez l'homme.
- Par le port de vêtements appropriés.

A. augmentation des gains :

L'augmentation de la consommation d'oxygène s'accompagne de la production de chaleur, grâce à deux mécanismes :

- Les frissons, sous la dépendance du système nerveux central.
- La thermogenèse chimique, qui est moins efficace mais plus précoce, sous la dépendance de facteurs hormonaux : il existe des récupérateurs thermiques cutanés sensibles au froid et stimulés quand la température passe de 33° à 20° au niveau de la peau. La régulation se fait au niveau de l'hypothalamus.
- On peut également pratiquer des exercices musculaires : 20 à 30 exercices musculaires intenses amènent la température centrale à 38°5.

7.3. Les moyens de lutte contre l'hypothermie.

Ils sont très puissants :

- Chez le sujet en bonne santé : il faut bouger. C'est la première phase de lutte active, qui varie d'un individu à l'autre en fonction de l'épaisseur du tissu sous-cutané, de l'intensité du froid, de l'immobilité forcée (cas de blocage sous terre pour cause de crue ou autre).

- L'hypothermie constitue la deuxième phase d'épuisement de l'organisme ; elle progresse de la périphérie vers le noyau.

Durée potentielle de survie dans l'eau : 1 heure si sa température est proche de 0° ; 3 à 6 heures si sa température atteint 15°...

- En spéléo, les pertes caloriques sont multipliées par 10 à cause du degré hygrométrique élevé et du port de vêtements humides.

Température Stade	Frissons	Attitude Conscience	Peau/muscle	Respiration	Pouls
37 à 34° Stade 1	oui	↘coordination -attitude inerte -perte de mémoire	vasoconstriction crampes	 normale	↗de fréquence
34 à 30° Stade 2	oui disparition à 32°	-à certains moments : conscience ↘ -torpeur	raideur musculaire vasoconstriction peau livide, froide, sèche	↘amplitude et fréquence	↗de fréquence
<30° Stade 3	non	non		3 à 4 fois/mn	↘de fréquence 30 à 40' souvent irrégulier

A 24°, toute lutte a cessé = épuisement total de l'organisme ou inhibition par le refroidissement des mécanismes thermorégulateurs. De 22 à 20° = arrêt circulatoire. Difficulté du diagnostic de la mort.

7.4. Conduite à tenir.

- Au cours d'une exploration savoir se mettre au niveau du plus faible ; savoir ne pas se laisser prendre par la frénésie de la découverte ;
- ne pas laisser une victime seule ;
- si l'exploration s'effectue seul ou à deux ; donner à l'extérieur un délai d'alerte court ;
- en cas de crue : savoir attendre ;
- stade 1 et début du stade 2 :
 - exercices musculaires modérés,
 - boissons chaudes.

Ceci doit suffire pour un retour à la normale.

- stade 2 et 3 :
 - installation confortable pour éviter l'aggravation : isoler du sol (cordes, combinaisons) et "mettre au large" (enlever baudrier et quincaillerie) ;
 - si conscient : boissons chaudes, lampes à acétylène contre les artères fémorales, chaleur animale, et faire la tortue : c'est à dire s'installer contre la victime (à laquelle on aura enlevé au moins le haut de la combinaison) sous la couverture de survie avec un casque acéto allumé. Sous cette tente, la température monte à 20° en quelques minutes.

8. ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE RECENTE

- ASTRAND PO. : "*Manuel de physiologie de l'exercice musculaire*", Masson.
 - BALLEREAU A. 1985 : "*Boire en spéléo*", Spelunca n°19, pages 30 à 32.
 - BESSAC JF. et DUSEIN P. 1985 : "*Physiologie, diététique et secourisme en spéléologie*", Lumière Noire, numéro spécial.
 - BLANCHARD JM. 1983 : "*Epuisement et hypothermie*", Spelunca n°9, pages 40 et 41.
 - Commission Médicale FFS, 1981 : "*Médicalisation*", Spelunca n°4, page III.
 - Commission Médicale FFS, 1982 : "*L'équipe spéléologique face à l'accident, conseils médicaux*", Spelunca n°5, pages 23 et 24.
 - CRAPLET C et P. : "*Physiologie et activité sportive*", Vigot.
 - DELMAS 1985 : "*L'aptitude à l'effort en spéléologie*", Spelunca n°19, pages 33 et 34.
 - ETIENNE JL. : "*Médecine et sports de montagne*", Favre.
 - MALLARD M. 1990 : "*Besoins nutritionnels du spéléologue*", compte-rendu de la 10ème réunion de la CoMed, Chalain, pages 21 à 23.
 - MONOT H. et FLANDROIS R. 1985, "*Physiologie du sport*", Masson (Paris).
 - QUER G. : "*Intendance d'un stage*", travail de recherche d'instructeur fédéral, EFS.
- + Polycopiés Jeunesse et Sports, BEES 1er degré.