

Les adaptations des Sherpas

Les Sherpas optimisent la fabrication de l'énergie dans leurs muscles.

En 1875 à bord d'une montgolfière qui atteint l'altitude record de 8 600 mètres, Eustache Crocé-Spinelli et Théodore Sivel meurent d'une syncope due à la diminution de l'oxygène dans l'organisme. Aujourd'hui, en grim-pant plus progressivement, l'homme résiste au manque d'oxygène. Cependant, tous les alpinistes ne s'adaptent pas de la même façon : Peter Hochachka et ses collègues de l'Université de Vancouver ont montré que le cœur des Sherpas, peuple montagnard du Népal, utilisaient l'oxygène de manière plus efficace que les natifs de basse altitude.

Lors de l'effort, la contraction des fibres musculaires est assurée principalement par la dégradation de l'adénosine triphosphate (ATP), le carburant des muscles. Or, l'organisme ne dispose que d'une petite réserve d'ATP. Deux métabolismes, contrôlés par des enzymes, fabriquent ce carburant : le métabolisme anaérobie et le métabolisme aérobie. Le premier mécanisme fabrique de l'ATP en l'absence d'oxygène par dégradation du glucose (glycolyse anaérobie). L'acide lactique, produit final de ce mécanisme biochimique, inhibe l'activité des enzymes responsables de la glycolyse, limitant la production de l'ATP.

Durant les efforts longs, l'ATP est surtout fabriquée par le métabolisme aérobie. Les glucides et les lipides y sont dégradés pour former de l'ATP. La capacité de cette transformation, mesurée par la consommation maximale d'oxygène, est limitée en altitude : à 8 800 mètres, la pression partielle en oxygène est trois fois inférieure à sa valeur au niveau de la mer.

Les performances physiologiques des Sherpas sont supérieures à celles des alpinistes. Les Sherpas ont une plus grande capacité de travail pour une même consommation limitée d'oxygène. De plus, ils produisent moins d'acide lactique pour une même puissance développée. Ces paradoxes traduisent une adaptation

structurale et fonctionnelle des cellules des muscles.

La structure des muscles des Sherpas a été comparée à celle de sujets caucasiens après un séjour en altitude : le type et l'organisation des fibres sont identiques. En revanche, l'activité enzymatique des fibres musculaires explique pourquoi ces populations peuvent porter de lourds fardeaux sur les sentiers himalayens. En étudiant l'activité des enzymes présentes dans le muscle, on constate une diminution de l'activité de la pyruvate kinase, une enzyme qui intervient dans la glycolyse anaérobie, et de la lactate déshydrogénase enzyme qui forme ensuite l'acide lactique. De plus l'activité de l'enzyme citrate synthase qui contrôle la glycolyse aérobie est également diminuée. À quoi est due l'endurance exceptionnelle des Sherpas si leurs capacités aérobies et anaérobies sont inférieures ?



Ces Sherpas, marchant en altitude, utilisent de faibles quantités d'oxygène plus efficacement que les alpinistes.

L'OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ATP

P. Hochachka et ses collègues ont montré que les cellules musculaires des Sherpas optimisaient la production d'énergie musculaire. L'optimisation peut se faire de trois manières : par augmentation de la production d'ATP par quantité de glucide ou de lipide dégradé, par optimisation de la production d'ATP par molécule d'oxygène consommée et par augmentation du travail musculaire par molécule d'ATP consommée.

La baisse de l'activité de la lactate déshydrogénase confirme le premier point : pour chaque molécule de glucose oxydée, la formation d'acide lactique est diminuée chez les Sherpas et, ainsi, la fabrication d'ATP se fait préférentiellement par la voie aérobie. Celle-ci est plus efficace car chaque molécule de glucose fournit 36 molécules d'ATP, alors que la dégradation par la voie anaérobie n'est pas complète et ne produit que trois molécules d'ATP.

Le second point vient d'être également confirmé par cette même équipe, qui a étudié le métabolisme musculaire cardiaque de Sherpas par tomographie en émission de positons. Cette étude a montré que le cœur des Sherpas utilise préférentiellement le glucose plutôt que les acides gras libres. Or, le rendement, par molécule d'oxygène, de la glycolyse aérobie est supérieur à celui de la dégradation des acides gras (la lipolyse) : par rapport aux muscles des natifs de basse altitude, les muscles des Sherpas produisent entre 25 et 60 pour cent d'ATP en plus pour chaque molécule d'oxygène consommée.

Cette modification serait un critère d'adaptation à l'altitude d'origine probablement génétique, puisque le cœur des Sherpas utilise plus de glucose non seulement en altitude, mais également plusieurs semaines après un séjour au niveau de la mer. Les Sherpas produisent donc plus d'ATP avec une moindre production d'acide lactique, bien que leurs capacités maximales aérobies et anaérobies soient diminuées. D'autres études seront nécessaires pour savoir si le rendement musculaire (augmentation du travail musculaire par molécule d'ATP consommée) est accru dans cette population.

G. SAVOUREY et J. BITTEL
Centre de recherches du Service de santé des armées, Grenoble

JEU-CONCOURS

N°25

PIERRE TOUGNE

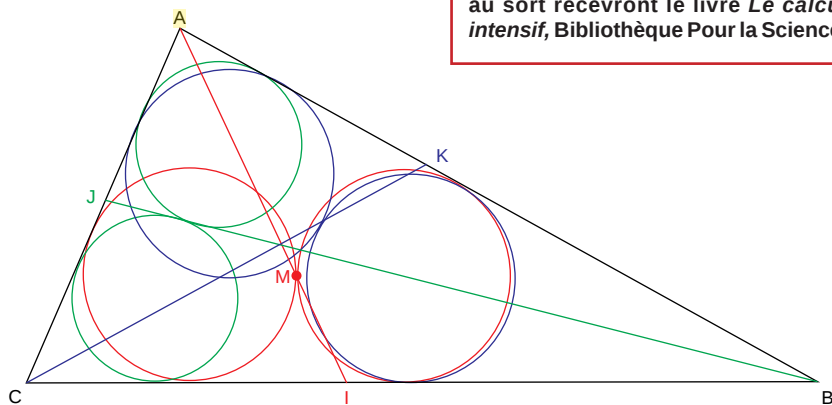
DROITES CONCOURANTES DU TRIANGLE

Jusque dans les années 1960, avant l'arrivée des mathématiques modernes, les propriétés du triangle jouaient un grand rôle dans l'enseignement des mathématiques. Peut-être exagéré, car un livre était paru sur les 273 propriétés du triangle... Pourquoi ce chiffre 273? Pour rappeler les propriétés du zéro absolu?

Nous vous proposons ce mois un problème désuet sur le triangle. Dans un triangle ABC , on trace deux cercles égaux (en rouge), le premier étant tangent aux cotés AB et BC et l'autre aux cotés

AC et BC , ces deux cercles étant, de plus, tangents entre eux, au point M . On trace AM . On effectue la même opération pour les cercles verts et bleus, et l'on trace les droites CK et BJ , passant par les points de contact des paires de cercles. Démontrez que ces trois droites sont concourantes.

Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à Pour la Science, 8, rue Férou, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de juillet 1996, dix gagnants tirés au sort recevront le livre *Le calcul intensif*, Bibliothèque Pour la Science.



RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N°23

Si a et b désignent respectivement les chiffres des dizaines et des unités d'un nombre, son carré se terminera comme le carré de $10a + b$, c'est-à-dire comme $100a^2 + 20ab + b^2$. Donc ses deux derniers chiffres seront ceux de $b(10a + b)$ mod 100 (reste après division par 100).

On doit donc résoudre $b(200 + b) \equiv 11x \pmod{100}$ avec $x = 0, 1, 4, 5, 6, 9$ (seuls chiffres terminant un carré). Il est facile de voir qu'il n'y a de solution que pour $x = 4$ et que les terminaisons possibles sont 0, 12, 38, 62 et 88. Les nombreux lecteurs qui ont résolu le problème seront peut-être fiers de savoir que s'ils l'avaient fait en 1871, leur nom serait apparu dans la monumentale histoire de la théorie des nombres d'Eugène Dickson (1919)!

Pour la deuxième question, rectifions d'abord trois «coquilles» : le dernier nombre entier de 1 à 100 par ordre alphabétique est 23 et non 0, dans la liste en chiffres romains : il faut glisser CCCIC entre CCCI et CCCII, enfin le premier nombre impair par ordre alphabétique est cent billions cent cinq. Pour trouver le premier cube par ordre alphabétique, on remarque que les candidats doivent commencer par cent billions puis cent ou cinq ou cinquante, etc. Les cubes croissants très vite, on trouve rapidement que ce nombre est $100\,155\,921\,984\,000 = (46\,440)^3$, soit cent billions cent cinquante cinq milliards neuf cent vingt et un million neuf cent quatre vingt quatre mille (ouf!). En chiffres romains, un lecteur me fait remarquer qu'il faut aller chercher bien moins loin, soit $343 = 7^3$, c'est-à-dire CCCXLIII.

Écriture ancienne

Des inscriptions en linéaire A retrouvées en Turquie.

Toutes les langues disparues n'ont pas trouvé leur pierre de Rosette. C'est notamment le cas du linéaire A découvert par l'archéologue britannique Arthur Evans, au début du siècle, à Cnossos, en Crète. Des vestiges similaires viennent d'être mis au jour en Turquie.

Evans avait fait ressortir de terre le palais de Cnossos, en Crète, et y avait trouvé de nombreuses tablettes d'argile couvertes d'inscriptions mystérieuses, qu'il dénomma le linéaire A et le linéaire B. Pendant 20 ans, il tenta en vain, avec ses collègues, de décrypter ces tablettes. En 1952, un jeune architecte britannique, Michael Ventris, décoda le linéaire B, et conclut que ce langage était un grec archaïque. En revanche, le linéaire A, plus ancien et moins bien conservé, semblait d'une origine différente, inconnue.

Certains archéologues pensent que le linéaire A était la langue des Hittites



Des poteries minoennes ont été découvertes en Turquie. Les inscriptions (en haut) sont en linéaire A. Elles ressemblent à celles découvertes en Crète, vers 1900. Les Minoens de Crète étaient peut-être originaires de Turquie.