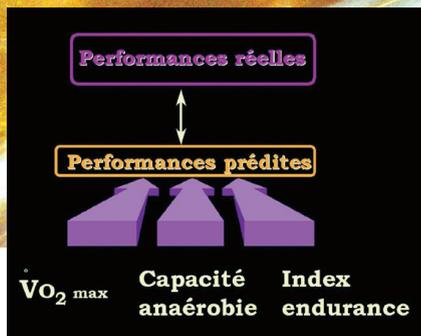
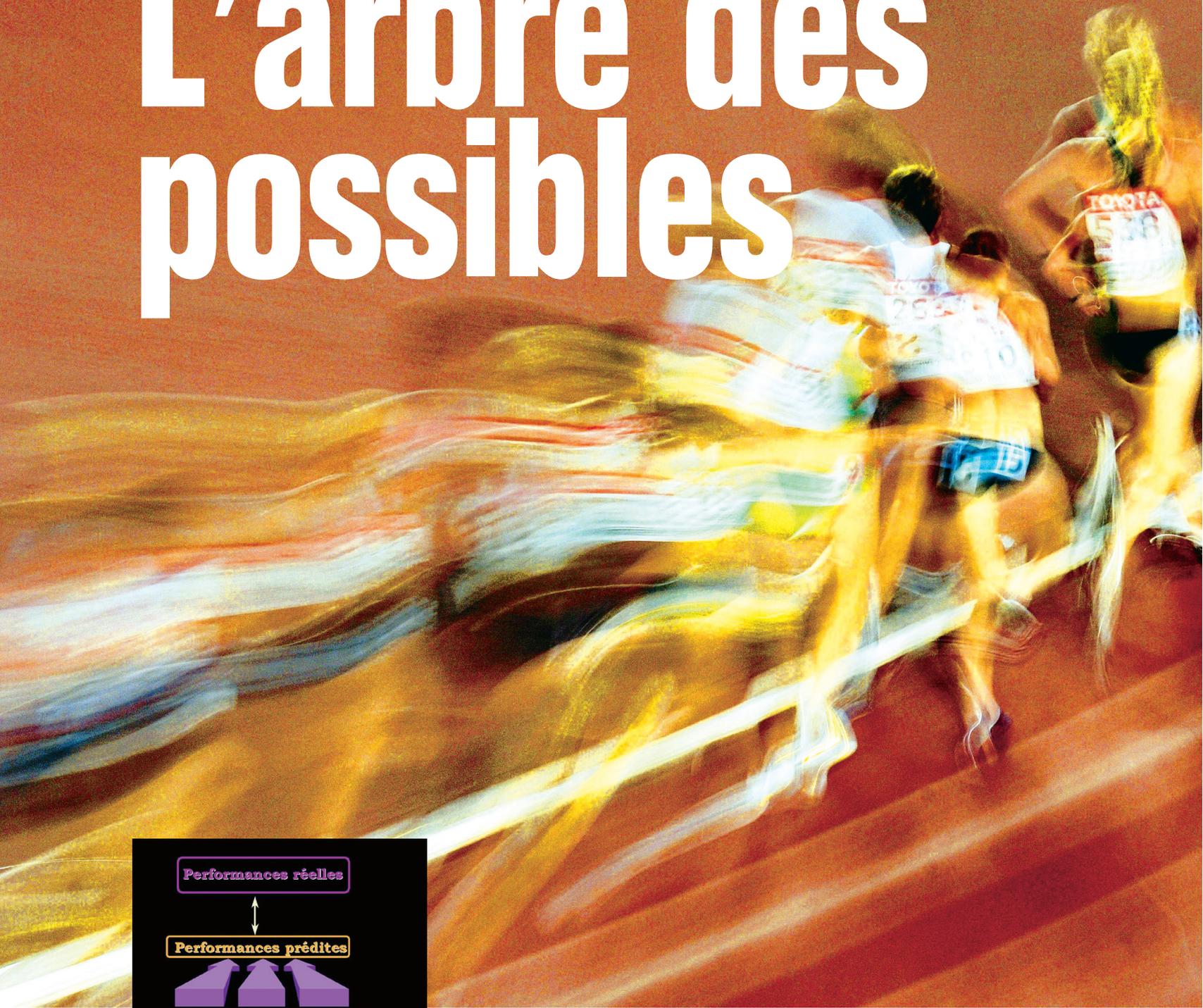


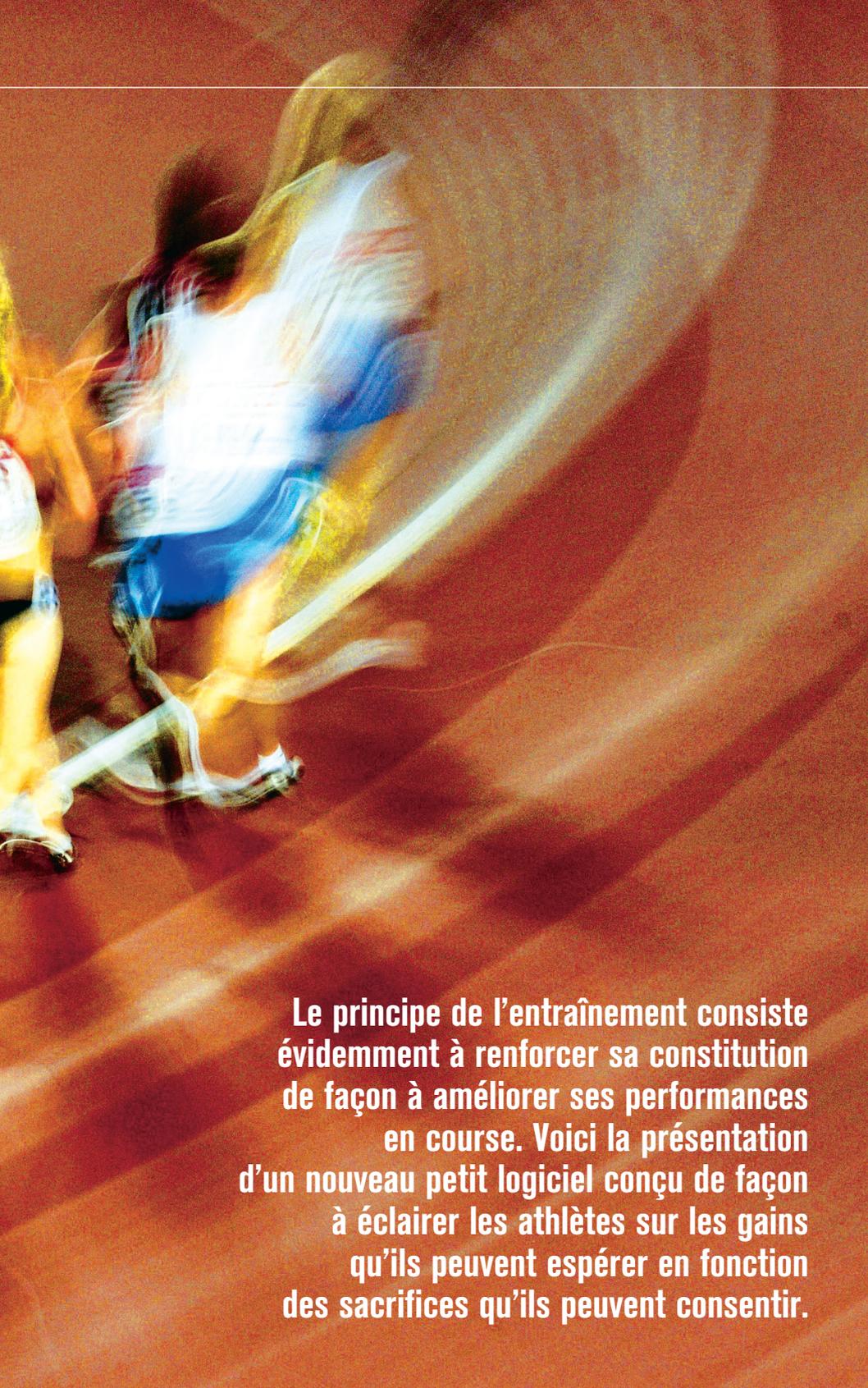
L'arbre des possibles



Dans une nouvelle intitulée *L'arbre des possibles*, le romancier Bernard Werber imagine la situation suivante: une communauté de scientifiques se réunit dans un lieu isolé de la planète dans le but de rassembler toutes leurs connaissances au cœur d'un immense ordinateur. Ils mettent ainsi le monde en équa-

tion afin de pouvoir mesurer les conséquences de chacun de nos actes fondamentaux. Sur les feuilles de cet arbre virtuel, ils déposent alors un certain nombre d'hypothèses comme par exemple "si une guerre mondiale éclatait" ou "si le climat se déréglait" ou beaucoup plus grave "si la mode des minijupes revenait". Ensuite, ils observent comment l'arbre se réorganise, réservant un avenir chaque fois différent

à notre espèce. Une telle entreprise paraît évidemment très audacieuse puisqu'il s'agit, répétons-le, de collecter toutes les connaissances humaines. Mais à une échelle plus modeste, des prédictions de ce type paraissent tout à fait envisageable comme, par exemple, la mise en équation des facteurs de performance en course à pied. Pour bâtir ce logiciel, nous nous sommes servis du modèle de l'énergétique humaine



Le principe de l'entraînement consiste évidemment à renforcer sa constitution de façon à améliorer ses performances en course. Voici la présentation d'un nouveau petit logiciel conçu de façon à éclairer les athlètes sur les gains qu'ils peuvent espérer en fonction des sacrifices qu'ils peuvent consentir.

proposé par François Péronnet et Guy Thibault (1). Et nous l'avons soumis aux règles du petit jeu imaginé par Bernard Werber (2).

Comment tirer des plans sur la comète

Pour commencer, imaginons la situation d'un honnête gars prénommé Marcel qui réalise les temps suivants sur 1500 mètres

(5 minutes), 5 kilomètres (19 minutes), le 10 kilomètres (42 minutes), le semi-marathon (1 heure 40) et le marathon (3 heures 45). Les aptitudes énergétiques qui correspondent à ses performances sont vraisemblablement celles-ci: une $VO_2\text{max}$ de 60 ml/min/kg, une capacité anaérobie de 42 ml d' O_2 /kg et une endurance de - 2,2 W/kg/s. Ces trois aptitudes énergétiques déterminent la performance sportive en particulier dans la locomotion humaine

(3). Voyons à présent comment elles exercent leur influence respective. "Si j'améliorais ma $VO_2\text{max}$ de 20%", se demande Marcel. "Quelles seraient les répercussions sur mes chronos?" Grâce à notre nouveau logiciel, la réponse s'affiche en un clic de souris! Avec 20% de $VO_2\text{max}$ en plus, soit 72 ml/min/kg plutôt que 60, Marcel gagnerait environ 37 secondes sur le 1500 mètres, soit une amélioration de 12% par rapport à son précédent chrono. Est-ce que vous suivez? Dans ce cas, vous aurez remarqué que le gain de performance est inférieur à l'augmentation de $VO_2\text{max}$: 20% contre 12%. C'est logique! On sait que la capacité anaérobie intervient de façon importante dans le 1500 mètres. Or nous n'avons pas modifié ce facteur. L'athlète reste donc limité dans les épreuves courtes. En revanche, on observe que les progrès deviennent de plus en plus manifestes à mesure que l'on s'inscrit dans un répertoire d'effort presque exclusivement aérobie. Sur 5 kilomètres, le gain de performance atteint déjà 2 minutes et 35 secondes ce qui représente une amélioration de 14%. Sur 10 kilomètres, le bénéfice croît à 15% avec un gain de temps de 6 minutes 11 secondes. Sur semi marathon, le bonus maximal est atteint: 17% soit 16 minutes et 37 secondes. Et sur marathon, le logiciel prédit une arrivée avec 34 minutes et 20 secondes d'avance, juste le temps pour Marcel de prendre une douche et de manger un bon saucisson en attendant les copains! Voilà ce que l'on peut espérer d'une amélioration de 20% de $VO_2\text{max}$. Evidemment, cela implique un énorme boulot. Il faudra fractionner à l'entraînement de façon à cumuler le plus de temps possible à une intensité qui sollicite la consommation maximale d'oxygène (voir encadré). D'après les études, sept à huit séances d'intervalles bien cognées en 2-3 semaines peuvent suffire à produire des gains de l'ordre de 5 à 20%. Naturellement, cela dépend du niveau initial d'entraînement et des facteurs de sensibilité individuelle. Une personne très entraînée progressera nécessairement moins vite qu'une autre. Quelques séances d'intervalles dans la semaine restent cependant tout à fait indiquées, ne serait-ce que pour maintenir $VO_2\text{max}$ à son niveau le plus élevé. Pour progresser, l'athlète confirmé sera alors tenté de jouer aussi sur d'autres facteurs.

(1) Péronnet F, Thibault G. Mathematical analysis of running performance and world running records. *J Appl Physiol*. 1989 Jul;67(1):453-65.

(2) Bernard Werber. *L'arbre des possibles et autres histoires* Edition Albin Michel. Collection Le livre de poche 2002.

(3) Lire "La $VO_2\text{max}$ pour les nuls", *Sport et Vie* n°90, page 14.

Les promesses de l'endurance

Plutôt que la $VO_2\text{max}$, on peut aussi choisir de développer son endurance. Rappelons que cette grandeur s'apprécie au travers le plus haut pourcentage de $VO_2\text{max}$ que l'athlète est capable de maintenir sur un temps donné. On l'exprime généralement par la réduction de puissance maintenue en fonction du logarithme népérien du temps de l'épreuve. Les facteurs biologiques qui la déterminent sont différents de ceux de la $VO_2\text{max}$ même si, dans les milieux sportifs, ces deux notions sont fréquemment confondues. Ici, la taille et la puissance de la pompe cardiaque importent peu. En réalité, l'endurance dépend essentiellement des facteurs périphériques comme la facilité de diffusion de l'oxygène des capillaires musculaires vers les mitochondries des cellules. Ces paramètres sont également améliorables avec un entraînement adapté. Retrouvons l'exemple de Marcel dont les performances correspondent à une valeur de $-2,2 \text{ W/kg/s}$. Pas mal! Mais dans le cas d'un athlète de l'élite, on descend jusqu'à $-1,5 \text{ W/kg/s}$. Comme pour la $VO_2\text{max}$, nous avons fait le calcul d'une amélioration de 20%. Première constatation: l'impact est quasiment inexistant sur des courtes distances. On gagne 9 secondes de peine sur un 5000 mètres. Une paille! Le bénéfice devient plus appréciable sur 10 bornes: 1 minute 54. Et là encore, il augmente à



Joanna Hayes, la bien nommée

mesure que les distances s'allongent. Sur semi-marathon, le bénéfice pour Marcel est de 8 minutes 37 et il passe à 24 minutes 48 sur marathon. L'endurance constitue donc bien un facteur déterminant pour la performance de longue durée; même si son influence reste très légèrement en deçà de la $VO_2\text{max}$ qui, souvenez-vous, octroyait un avantage de 34 minutes pour une même amélioration de 20%.

L'anaérobie ne paie pas

Il reste un troisième paramètre important dans l'analyse de la performance que l'on a pris l'habitude de désigner par l'expression "*capacité anaérobie*". On désigne ainsi l'aptitude à résister à l'acidification de la cellule et à l'accumulation des métabolites en son sein lors d'un effort à plein régime malgré un apport insuffisant d'oxygène. A l'opposé des deux précédentes

aptitudes énergétiques, l'avantage se mesure ici dans les épreuves les plus courtes. Une bonne capacité anaérobie offre plus de puissance dans les phases décisives d'accélération et dans le sprint final. Mais si on examine l'effet global sur la vitesse moyenne de déplacement pour toutes les distances au-dessus de 1500 mètres, le bénéfice reste faible. Ne comptez pas sur une capacité anaérobie élevée pour lâcher les copains au train. En revanche, si l'un d'eux est déjà à l'agonie, vous pouvez tenter un petit coup de bluff en plaçant une accélération courte juste pour l'écœurer. De fait, il arrive qu'en course, la différence se fasse parfois grâce à une petite flambée d'énergie anaérobie. Voilà comment, on peut transformer à loisir les déterminants de la performance. A vous de jouer maintenant. Comme Marcel, vous pourrez vous plonger sans retenue dans un avenir meilleur et surtout plus rapide. Il suffit de télécharger gratuitement notre programme intitulé "*L'arbre des possibles*", de rentrer vos données personnelles et vous obtiendrez une évaluation de vos aptitudes énergétiques ainsi qu'une simulation effectuée sur la base d'une d'augmentation de $VO_2\text{max}$ de 20%. Libre à vous ensuite d'effectuer toutes les simulations qui vous chantent en modifiant une aptitude énergétique particulière dans la proportion que vous souhaitez. Pour cela, ne modifiez que les valeurs en bleu dans la feuille de calcul et ajustez vos temps sur les diverses

Aptitude énergétique	Facteur limitant	Forme d'entraînement
Capacité anaérobie	La capacité anaérobie dépend de l'aptitude de l'organisme à transporter les ions hydrogène du muscle vers le compartiment sanguin, de son pouvoir tampon et de sa résistance à la fatigue neuromusculaire	Exercices très intenses qui conduisent à l'épuisement sur des durées de 1 à 4 min. Les temps entre les séries doivent être suffisamment longs pour déterminer une récupération complète. Un bon point de repère : attendez que la fréquence cardiaque soit redescendue en dessous de 100 battements par minute avant de recommencer.
$VO_2\text{max}$	La $VO_2\text{max}$ dépend principalement des facteurs systémiques et à 80% du débit cardiaque maximal qui se trouve lui-même contrôlé par la taille et la force de contraction du cœur. Le volume de sang et la concentration en hémoglobine jouent aussi un rôle majeur.	Ne pas hésiter à monter dans les tours et à accumuler le plus possible d'exercice à une consommation d' O_2 très proche du maximum. L'intervalle training représente de loin la forme d'entraînement la plus efficace. On peut alterner des efforts courts (15 secondes d'exercice / 15 secondes de récupération active) ou plus long : 30 secondes, 1 minute, 3 minutes. Des séances du type : 5/3 minutes ou même 10/3 sont également très courantes. Ou alors on agit au feeling en plaçant régulièrement des accélérations en cours de sortie. Placer 1 à 3 séances de ce type par semaine et débrouillez-vous pour finir bien entamé de manière à déterminer des profondes adaptations.
Endurance	L'endurance dépend essentiellement de facteurs périphériques tels que la typologie des fibres musculaires, la densité mitochondriale, la distance moyenne entre capillaires et mitochondries, l'aptitude à oxyder des lipides plutôt que des glucides, l'efficacité des systèmes de thermolyse	On optera pour des séquences d'exercice plus longues (de l'ordre de 10 à 20 minutes), à intensité élevée, entrecoupées de périodes de repos (environ 3 minutes). Les longues sorties à vélo sont aussi les bienvenues. Cela permet de varier les plaisirs et de ne pas trop user son appareil locomoteur avec les chocs répétés de la course à pied. Enfin, pour les athlètes les plus chevronnés et en respectant des précautions élémentaires, une sortie le matin de 10 à 40 min. à jeun représente une sollicitation efficace.

>> RENCONTRE AVEC UN MODÈLE

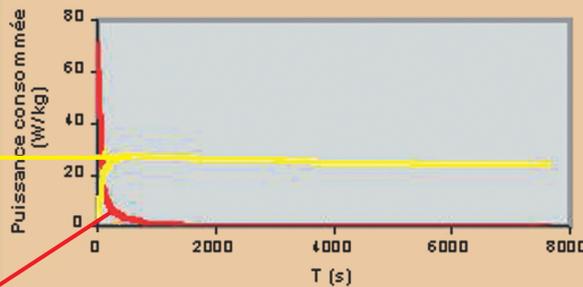
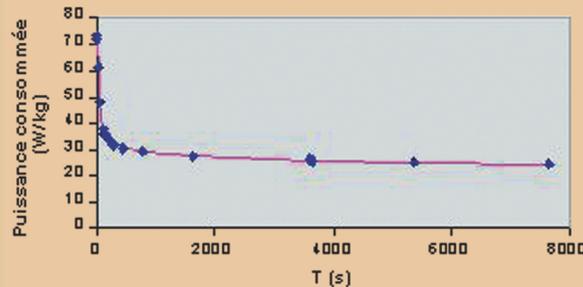
En langage scientifique, le mot "modèle" désigne le système le plus simple possible qui permet de rendre compte de la réalité des phénomènes mis en jeu. Il autorise en outre la possibilité de simuler n'importe quelle situation. En l'occurrence, Péronnet et Thibault ont établi une relation précise entre les trois aptitudes essentielles de la performance - VO₂max, endurance, capacité anaérobie-

et les performances enregistrées sur le terrain. Nous disposons ainsi d'un outil qui permet de prédire les performances en fonction de la physiologie ou a contrario d'évaluer les aptitudes sur base des résultats de terrain. Dans le graphique ci-dessous, le modèle est confronté aux records du monde en course à pied. Observez la très fine adéquation qui existe entre la puissance nécessairement

développée pour courir à une vitesse donnée (les points bleus) et la puissance soutenue par les métabolismes aérobie et anaérobie (la courbe violette d'après le modèle). De fait des valeurs de 83,5 ml/min/kg pour VO₂max et de 1655 J/kg pour la capacité anaérobie concordent parfaitement avec celles qui sont effectivement mesurées sur des athlètes de l'élite.

Résultats		Résultats record monde 87	
MAP (W/kg)	29,0	MAP	29,1
VO ₂ (ml/min/kg)	83,4	VO ₂	83,5
A (J/kg)	1655,1	A	1657
A (ml/kg)	79,6	E	-1,539
E (W/kg/s)	-1,6		
E (%)	-5,6		

Records du monde



$$P_{a\acute{e}r} = \frac{1}{T} \int_0^T BMR + B(1 - e^{-T/k_2}) dt$$

Si (T < 420 ; B = MAP - BMR ; B = ((MAP - BMR) + (E ln(T/420))))

$$P_{ana} = [A/T (1 - e^{-T/k_1})]$$

Dans les deux équations qui permettent d'estimer les composantes aérobie et anaérobie de la fourniture d'énergie : MAP = puissance maximale aérobie, VO₂max = consommation maximale en oxygène, A = capacité anaérobie, E = index d'endurance, Pa_{er} = puissance aérobie, Pa_{na} = puissance anaérobie, T = temps de course, BMR = métabolisme de base (Basal Metabolic Rate), k₂ constante de vitesse du métabolisme aérobie, k₁ constante de vitesse du métabolisme anaérobie, ln = logarithme népérien; e = exponentielle. Vous avez remarqué que ces deux équations incluent chacune une fonction exponentielle qui permet de tenir compte du fait que les métabolismes aérobie et anaérobie n'arrivent pas à leur puissance maximale instantanément mais au bout d'un certain temps un peu comme le fût du canon auquel il faut chaque fois laisser le temps de refroidir. Ces vitesses d'adaptation des deux voies de régénération de l'ATP sont d'ailleurs fixées par les constantes de vitesse k₁ et k₂.

distances jusqu'à ce que les points bleus et gris du graphique se superposent (4). Ces divers tâtonnements vous permettront en outre de bien cerner l'influence respective des 3 aptitudes sur les performances.

A la recherche du temps perdu

Lorsqu'on a pris l'habitude de jongler avec ces différents paramètres, on se trouve évidemment tenté d'en essayer d'autres. Comment évaluer par exemple l'amélioration de la foulée? Souvenons-nous qu'une performance est toujours le résultat du rapport formé entre la puissance du moteur, c'est-à-dire les aptitudes énergétiques, et l'économie de déplacement. En améliorant l'efficacité de son geste, on abaisse inévitablement les chronos. Seulement ici, nous touchons aux limites du modèle de Péronnet qui suppose que l'économie de déplacement reste invariable pour chaque coureur. Or, dans la réalité, on observe des différences. On

peut même faire le calcul. Reprenons le cas de Marcel qui court le semi-marathon en 1 heure 40. Cela correspond pour lui à une consommation d'oxygène de 48 ml d'O₂/min.kg. Il possède de ce fait une économie de course de 0,23 ml d'O₂/m/kg qui lui permet de maintenir une vitesse de croisière de 11,2 km/h (5). Imaginons à présent qu'il améliore l'économie de sa foulée de 20%. Le résultat ne se fait pas attendre. Il gagnera en effet 2,8 km/h, soit un bénéfice de 25% quelle que soit la distance parcourue (6). Un tel gain sur l'économie de déplacement est-il possible? Oui. Il existe des mauvaises et des bonnes façons de courir, même si à l'opposé des disciplines très techniques comme la natation, le patinage ou le ski de fond, la course à pied n'autorise un tel bénéfice qu'au prix d'un travail acharné. En particulier, on doit veiller à ne pas "s'effondrer" sur ses appuis. Le freinage à chaque pose du pied sur le sol constitue effectivement la principale source de perte d'énergie. Pour courir vite, il

convient donc de réduire autant que possible les temps de contact, ce qui requiert un contrôle optimal de la raideur des membres inférieurs. La différence se fait aussi sur l'aptitude à rebondir c'est-à-dire à stocker de l'énergie dans les structures élastiques des muscles et des tendons et à la restituer en phase de

(4) Les as de l'informatique sous Excel trouveront rapidement la solution qui consiste à utiliser le solveur pour automatiser cette tâche. Il suffit en effet de changer les paramètres variables du solveur pour y glisser les temps qui méritent d'être ajustés parmi ceux exprimés en secondes et portés en grisé dans la feuille Excel.

(5) La vitesse moyenne maintenue en compétition dépend de l'économie de déplacement (C) et de la "puissance du moteur" que l'on peut ici évaluer au travers de la consommation d'O₂ pendant l'exercice à laquelle on prend soin de retrancher la consommation de repos: Vitesse = (VO₂ - VO₂.repos) / C x 0,06 soit en l'occurrence 11,2 km/h = (48-5) / 0,23 x 0,06

(6) En bonifiant l'économie de déplacement de 20% on obtient alors une valeur de 0,184 mlO₂/m/kg : 0,23 x (1-20) = 0,184 mlO₂/m/kg. De ce fait, la vitesse passe à 14 km/h : (48-5) / 0,184 x 0,06 = 14 soit un gain de performance de 25%.

>> UN CHRONO DANS LES MUSCLES

2 SECONDES

Cette durée correspond au moment où la glycolyse (dont le produit terminal est le lactate) commence à assurer l'essentiel de la fourniture énergétique. Il faut donc abandonner cette vieille idée que le sprint s'inscrit dans un registre d'effort appelé "anaérobic alactique". La production de lactate intervient dès le début de la mise en action et ce métabolisme devient même prépondérant à partir de la deuxième seconde!

6 SECONDES

On atteint un premier palier qui correspond à l'épuisement des stocks de phosphocréatine. On se trouve dès lors obligé de lever le pied. Même Asafa Powell perd de la vitesse dans les dernières foulées du 100 mètres. On ne peut pas faire grand-chose pour retarder ce phénomène. La concentration en phosphocréatine avoisine les 20 mmoles par kg de muscle au repos et

1 MINUTE

La minute représente également la durée d'un exercice maximal pour lequel intervient une fourniture énergétique à part égale entre métabolisme aérobie et anaérobic. Du moins chez les athlètes de haut niveau. Chez le sportif occasionnel, le métabolisme aérobie est plus lent à se mettre en place et donc cette durée est certainement plus proche d'1 minute 30. La vitesse d'augmentation de la consommation d'oxygène constitue d'ailleurs un excellent critère pour évaluer le niveau d'excellence de l'athlète.

3 MINUTES

Après trois minutes, un sportif moyen parvient à un état stable de consommation d'oxygène pour un exercice de faible intensité (inférieur au seuil d'accumulation du lactate sanguin). Là encore les athlètes entraînés bénéficient d'un avantage. Il leur faut deux ou trois fois moins de temps pour parvenir à l'état stable.

D'où leur vient cet avantage?

Deux grandes écoles de pensée s'opposent sur cette question. Pour la première, la réponse réside dans le travail du cœur et la distribution du sang aux cellules. On parle alors de facteurs systémiques. Pour la seconde, il s'agirait plutôt d'une plus grande vitesse d'adaptation des réactions enzymatiques au sein de la cellule notamment des phosphorylations oxydatives. Ils évoquent donc l'influence de facteurs périphériques.

En réalité, il apparaît que les deux explications sont valables mais qu'elles s'appliquent différemment en fonction du type d'effort. En kayak, par exemple, la pompe cardiaque doit fournir un travail important contre la gravité

pour perfuser une masse musculaire qui se trouve nettement au-dessus du cœur. On peut donc logiquement penser que la cinétique de consommation d'oxygène dépend principalement de la vitesse d'adaptation du cœur. Dans ce cas précis, les facteurs périphériques auraient peu d'importance. Les facteurs systémiques semblent prépondérants aussi pour expliquer cette difficulté que rencontrent beaucoup d'athlètes vieillissants de "monter dans les tours". Avec l'âge, on a effectivement besoin de plus de temps pour atteindre sa consommation maximale d'oxygène. Mais quelle qu'en soit la cause, on prêter attention à

cette altération dans l'organisation des séances d'entraînements fractionnés. Les vieux percheros éviteront donc les intervalles courts (de l'ordre de 15 ou 30 secondes) pour se consacrer plutôt aux alternances plus longues (de l'ordre de 1 ou même 3 minutes) ce qui leur permettra d'optimiser le temps passé à une consommation maximale d'oxygène proche du maximum, alors que les jeunes, peuvent se tourner sans inconvénient vers les intervalles plus courts qui représentent des exercices plus faciles à encaisser et qui réclament aussi un investissement mental moindre.

7 MINUTES

On considère habituellement qu'au-delà de 7 minutes, il n'est plus possible de maintenir une consommation maximale d'oxygène. Lorsque l'on examine la vitesse maintenue lors des records du monde en fonction du temps (et plus particulièrement en fonction du logarithme du temps), une rupture de pente est identifiable à 7 min. indiquant l'intervention d'un nouveau facteur de contrôle de la performance: l'endurance. En d'autres termes, il n'est alors plus possible de maintenir une consommation maximale d'oxygène mais seulement un pourcentage de cette dernière. Des différences entre les athlètes ont été rapportées en ce qui concerne le temps maximal de maintien de la VO_2 max sans que l'on puisse savoir s'il s'agit simplement d'erreurs de mesure ou des différences réelles car une toute petite erreur de mesure de la vitesse maximale aérobie possède un impact très important sur le temps maximal de maintien d'une telle vitesse.

1 H 30 - 2 H

Bien connue des marathoniens, cette durée d'effort correspond à l'épuisement des stocks de glycogène et donc à une nouvelle chute de la vitesse. Lors d'une expérience célèbre, le physiologiste américain David Costill avait mesuré, par biopsie musculaire, l'état des réserves en glycogène chez des athlètes qui s'étaient livrés précédemment à des efforts conduisant à l'épuisement dans des temps compris entre quelques minutes et plusieurs heures. Les seules durées qui étaient associées à une déplétion glycogénique importante étaient celles comprises entre 1 heure 30 à 2 heures. Pour tous les temps inférieurs, les stocks semblent suffisants et, pour des durées supérieures, l'intensité de l'exercice plus faible favorise une utilisation des lipides et autorise donc une épargne glycogénique.



Bekele, le meilleur de tous les temps

s'effondre jusqu'à des valeurs de 5 mmoles. Aucun entraînement ne semble capable d'élever le niveau des stocks au repos. En revanche, il permettrait une déplétion de 2-3 mmoles supplémentaires.

1 MINUTE

Voilà qui constitue la durée minimale pour mobiliser l'ensemble de la capacité anaérobic. A condition de se donner à fond de bout en bout. Si l'exercice est plus court, l'ensemble des ressources énergétiques anaérobic n'a pas le temps de se mettre en oeuvre. Si l'exercice dépasse 7 minutes, la capacité anaérobic semble se réduire légèrement.

Données personnelles

Masse cor (kg) **70**

Distance (m)	Temps (sexa)
60	0:00:00
100	0:00:00
200	0:00:00
400	0:00:00
800	0:00:00
1000	0:00:00
1500	0:05:00
1609	0:00:00
2000	0:00:00
3000	0:00:00
5000	0:19:00
10000	0:42:00
20994	1:40:00
21100	0:00:00
30000	0:00:00
42195	3:45:00

respecter le format avec les ":" entre les h min et s

Résultats

	personnels	de l'élite
MAP(W/kg)	21,0	29,1
VO2(ml/min/kg)	60	83,5
A(J/kg)	875	1 657
A(ml/kg)	42	80
E(W/kg/s)	-2,2	-1,5
E(%)	-10,3	-5,2
Erreur ²	0,00	

cellule cible

Si j'améliore ma VO₂ max de 20%

Distance	T' (sexa)	Gain (sexa)
1500 m	0:04:23	0:00:37
5000 m	0:16:25	0:02:35
10000 m	0:35:49	0:06:11
20994 m	1:23:23	0:16:37
42195 m	3:10:40	0:34:20

Mode d'emploi

1/ Dans les cellules surlignées en bleu, **rentrez votre masse corporelle et vos différents temps** sur diverses distances en respectant le format sexagésimal (deux points entre les heures les minutes et les secondes) comme dans l'exemple ci-dessus où 4 records personnels ont été saisis. N'oubliez pas d'effacer les records affichés pour l'exemple avant de passer à l'étape suivante.

2/ Appliquez le modèle de **Péronnet et Thibault (1989)** en exécutant le **solveur** dans le menu "outils" et en appuyant sur résoudre sans modifier la cellule cible (erreur²) ni les paramètres variables (A, VO₂ max et E). Si le solveur n'est pas installé, il faut le faire en allant dans "macro complémentaire toujours dans le menu "outils". Examinez vos 3 aptitudes énergétiques fondamentales et comparez les aux valeurs de l'élite mondiale. Sur le graph Pv représente la puissance nécessairement développée pour courir à une vitesse donnée et Pest représente la puissance estimée par le modèle de Péronnet.

3/ **Orientez votre entraînement futur** en fonction de vos aptitudes personnelles. Pour développer spécifiquement une aptitude énergétique, référez-vous aux exercices spécifiques présentés dans le tableau 1 de l'article. Incluez dans votre programme les séances alors recommandées et chaussez vos baskets!

propulsion. Cette caractéristique dépend partiellement de caractéristiques anthropométriques mais on peut également travailler par des exercices techniques dits "de pied": bondissements, pliométrie (avec ou sans charge), course en survitesse, entraînement pieds nus, etc. Enfin, un troisième point mérite d'être pris en considération lorsqu'on discute de l'amélioration de l'efficacité de la foulée: il s'agit en l'occurrence de limiter les oscillations verticales qui surviennent inévitablement au cours du déplacement. On le voit chez les marathoniens qui se caractérisent par une foulée rasante. Ceci dit, l'impact de ces pertes d'énergie sur l'économie de course demeure assez modeste car les trois quarts du travail sont fournis dans le plan horizontal et un quart seulement dans le plan vertical.

Combien pèse une minute?

Poursuivons le petit jeu en faisant varier d'autres paramètres. Le poids, par exemple. Que se passe-t-il si un jeune athlète de 50 kilos décide de perdre encore deux kilos à l'approche d'une épreuve importante? Ces deux kilos représentent 4% de sa masse corporelle, soit une économie de 4% également du travail fourni contre la gravité. La formule de

l'énergie potentielle s'écrit: $E_{pot} = \text{masse} (m) \times \text{gravité} (g) \times \text{hauteur} (h)$. La diminution de masse affecte donc proportionnellement le résultat du calcul. Seulement, on ne court pas sur place. On doit également tenir compte du travail mécanique effectué dans le plan horizontal. Il s'agit du travail cinétique. L'énergie cinétique dépend de la moitié de la masse: $E_{cin} = 1/2 m \times v^2$. Ici, une réduction de 4% de la masse corporelle aura un impact de seulement 2% sur la dépense d'énergie. Or, le travail cinétique représente environ les 3/4 des forces qui s'exercent pour le déplacement du centre de masse, ce qui veut dire qu'un gain de masse de 4% se répercute en définitive par une réduction de 2,5% du travail mécanique fourni sur une distance donnée (7). Au total, le bénéfice sur la performance est du même ordre (2.6%) car la performance dépend de la puissance dont dispose l'athlète (valeur constante dans le cas de figure envisagé) divisée par l'économie de déplacement. Au bout d'un marathon, cela représente tout de même une bonne poignée de minutes (environ 5 minutes sur un chrono de 3 heures). On comprend pourquoi tant de coureurs, notamment ceux de l'élite, surveillent aussi attentivement les fluctuations sur la balance. Surtout en altitude où l'importance de ce paramètre se trouve encore augmentée du fait de la prépondérance du travail fourni contre la gravité.

Les gabarits légers possèdent toujours un avantage lorsqu'il s'agit de basculer en tête dans les cimes. Toutefois, la perte de poids ne doit pas devenir une obsession car une trop grande réduction de masse corporelle est nécessairement associée à une diminution de la masse musculaire et à un tas de désordres dévastateurs pour l'organisme. Toute initiative prise au détriment de sa santé s'avère non payante à plus ou moins brève échéance. Même en termes de performance! Voilà qui nous amène à réfléchir au dernier facteur influent de l'effort: le dopage. Sur l'arbre des possibles, on aurait pu prévoir un onglet avec cette question: "Que se passe-t-il si en marge de l'entraînement, je choisis d'avoir aussi recours à un petit traitement à base de stéroïdes anabolisants?" Nous y avons renoncé car la seule réponse que nous puissions décemment concevoir était celle-ci: "Progression sensible dans la capacité d'encasement des charges d'entraînement; nette amélioration du niveau de performances... explosion du risque de cancer et des maladies cardiaques!"

Robin Candau

(7) $(1/4 \times 4\%) + (3/4 \times 2\%) = 2,5\%$

Rendez-vous sur le site "Sport-et-vie.com". Téléchargez gratuitement notre logiciel "L'arbre des possibles" qui permet une prédiction précise des performances en fonction des progrès de l'entraînement.