
Sport, Entraînement et Régulation hormonale

Charles-Yannick Guézennec

Citer ce document / Cite this document :

Guézennec Charles-Yannick. Sport, Entraînement et Régulation hormonale. In: Les Cahiers de l'INSEP, n°9, 1994. Sport, Entraînement et Régulation hormonale. pp. 3-32;

doi : <https://doi.org/10.3406/insep.1994.888>;

https://www.persee.fr/doc/insep_1241-0691_1994_num_9_1_888;

Fichier pdf généré le 14/03/2024

**Sport
Entraînement
et Régulation hormonale**

**Actes des Entretiens de l'INSEP
2 avril 1993**

Charles-Yannick GUEZENNEC

SOMMAIRE

PRÉFACE À L'ÉDITION NUMÉRIQUE DES « CAHIERS DE L'INSEP »	5
PRÉFACE	7
CONFÉRENCE	8
Le rôle des hormones au cours de l'exercice physique	8
Les axes hormonaux	8
Rappel sur l'utilisation des substrats énergétiques	9
La régulation des axes hormonaux	9
– <i>Le glycogène endogène (musculaire) et exogène (hépatique)</i>	9
– <i>Les lipides</i>	10
– <i>La néoglucogenèse</i>	10
– <i>La régulation des substrats au niveau du muscle</i>	11
Les effets de l'exercice physique sur la régulation hormonale	11
L'exercice prolongé	11
<i>Comment ces phénomènes sont-ils régulés à l'échelon central ?</i>	13
L'exercice très prolongé	13
Le rôle de l'entraînement dans les régulations hormonales	16
Rôle des régulations hormonales dans le surentraînement	17
QUESTIONS-RÉPONSES	19
DÉBAT	23
Agnès Mourier, Docteur Charles-Yannick Guezennec, Docteur Éric Jousselein, Eberhart Mund, Docteur Pierre Pesquiès, Merry Saint-Géniès, Docteur Hubert Tisal	
LISTE DES INTERVENANTS	32
LISTE DES CAHIERS DÉJÀ PARUS	33

PRÉFACE À L'ÉDITION NUMÉRIQUE DES « CAHIERS DE L'INSEP »

L'édition numérique constitue une évolution importante et une innovation majeure dans l'histoire déjà ancienne des « Cahiers de l'INSEP ». Ainsi l'établissement sera-t-il en capacité de rendre à nouveau disponibles tous les cahiers, parfois épuisés, qui ont illustré et nourri, depuis près de vingt ans, la réflexion sur tous les aspects du sport et plus particulièrement du sport de haut niveau.

En « feuilletant » ce fichier électronique, vous découvrirez cette passionnante aventure éditoriale ; elle présente de nombreux avantages dès lors que la réalisation est menée avec le souci et l'objectif constants du confort du lecteur. Le service MAPI de l'INSEP a mis tout en œuvre pour que la navigation au sein de ce document soit facilitée grâce aux liens posés dans le sommaire (permettant d'accéder directement aux articles) et sur les appels de notes de bas de page. L'INSEP a également utilisé les facilités technologiques de ce nouveau support en agrémentant les articles de liens hypertextes qui pointent vers des compléments d'information.

Mais, de fait, ce passionnant projet a également été l'occasion d'un toilettage des textes et des images visant un confort de lecture accru, car il s'agit bien – au-delà de la possible mission de conservation – de « donner une seconde vie », largement méritée, à ces premiers numéros des « Cahiers de l'INSEP ». Le lecteur se replongera, avec profit, dans ces cahiers numériques, soit pour retracer l'histoire de la recherche (médicale, scientifique, sociale...), soit – et c'est le cas le plus fréquent – pour y puiser une matière encore terriblement actuelle qui nourrira ses réflexions.

Je vous souhaite une très bonne lecture.

Thierry Maudet

Directeur général de l'Institut national du sport,
de l'expertise et de la performance (INSEP)

La rédaction remercie Madame Claude Garapon-Bar pour sa contribution active et experte à la publication de ce numéro des « Cahiers de l'INSEP ».

Henri Héral

PRÉFACE

C'est par l'intermédiaire d'un ensemble de messagers hormonaux qu'est assurée la fourniture à l'organisme des divers substrats énergétiques indispensables à l'accomplissement de nos activités, et ce sont eux qui participent à la régénération de ces substrats quand ils sont épuisés. Ils répondent en outre aux besoins plastiques et commandent les échanges hydrominéraux.

Sans être *stricto sensu* autorisé à parler de boucles de régulation, on peut estimer que les processus hormonaux fonctionnent en mode de systèmes asservis à des valeurs de consigne, dont la nature et la localisation ne sont pas toujours parfaitement connues. Leurs constantes de temps diffèrent en fonction des types d'action concernés et s'inscrivent :

- soit dans une réponse à court terme : dans un schéma phylogénétique, elle s'apparente à la réaction primaire « combat-fuite » et recouvre le domaine de l'exercice physique intense et bref, ainsi que la composante du stress aigu ;
- soit en fonction de processus à moyen et long termes : cela sous-tend notamment tout le champ des phénomènes adaptatifs. Dans le cas de l'exercice physique, ils recouvrent le domaine de l'exercice de longue durée, celui de la récupération et de l'entraînement et, si l'on envisage la dimension pathologique, celui de la fatigue et du surentraînement.

On conçoit donc tout l'intérêt qu'il peut y avoir, dans notre discipline, à essayer de comprendre la logique et la cohérence du comportement hormonal. Mais il nous faut raisonner sur un mode global car, comme nous le verrons au cours de l'exposé de Charles-Yannick Guezennec, les effets des contraintes – qu'elles soient psychologiques (comme le stress compétitif) ou simplement énergétiques – se surajoutent et accroissent d'autant leur coût physiologique sur l'organisme.

C'est bien cette notion de globalité qui va ressortir des exposés et débats de cette matinée pendant lesquels, tour à tour, seront abordés les effets de divers types d'exercice physique, du stress et de la nutrition.

Docteur Pierre Pesquiès

Ancien directeur de la division
de physiologie métabolique et hormonale du CERMA

Conseiller scientifique Sandoz-France

La conférence que je vais avoir le plaisir de mener devant vous sera presque informelle pour que le message passe bien. Rassurez-vous, elle commencera très lentement, afin de bien rappeler des notions simples qui, pour certains d'entre vous, seront des notions de base. Et, au fil du développement, j'essayerai de vous conduire le plus clairement possible dans quelques-uns des mécanismes très complexes de la biologie de l'exercice physique. Pour ce qui est du sujet qui nous occupe aujourd'hui, je poserai quatre questions, auxquelles je répondrai au cours des quatre parties qui composent mon intervention :

- 1) Quel est le rôle des hormones lors de l'exercice physique ?
- 2) Quels sont les effets d'un effort intense sur les régulations hormonales ?
- 3) Quelles sont les conséquences de l'entraînement physique sur les régulations hormonales ?
- 4) Quel est le rôle des régulations hormonales dans le syndrome de surentraînement ?

Les entraîneurs seront particulièrement sensibles à ces deux dernières interrogations.

LE RÔLE DES HORMONES AU COURS DE L'EXERCICE PHYSIQUE

À quoi servent les hormones ? C'est une question que je me pose depuis que j'ai commencé à travailler dans ce domaine. Leur apparition remonte à l'origine même de la vie. Celle-ci est apparue sur Terre sous forme de micro-organismes immobiles ou bactéries primitives qui, très rapidement, se sont dotés de cils et de flagelles leur permettant de se déplacer pour rechercher de la nourriture. Très tôt, dès qu'apparaissent les premières bactéries primitives, apparaissent les premières hormones.

Quel était le rôle de ces hormones primitives ? Elles informaient la cellule, au stade cellulaire initial, de son état énergétique, de la présence de nourriture dans le milieu extérieur et elles réglaient la motricité. L'évolution biologique de l'homme a eu pour conséquence de mettre de l'énergie en réserve dans les cellules, sous forme de glycogène et de graisse. Il fallait alors pouvoir renseigner l'organisme sur la localisation de ces réserves et sur leur état.

Au stade ultime du développement cellulaire qu'est le nôtre, la fonction première des hormones est de nous informer sur l'endroit où se trouvent les réserves énergétiques et sur la nécessité de les réguler. La deuxième fonction, apparue par la suite, est de régler la croissance des organismes. Quels sont, chez l'homme, les différents axes hormonaux et comment sont-ils régulés lors de l'exercice physique ?

Les axes hormonaux

L'homme exerce sa motricité grâce au « moteur thermique » qu'est le muscle. Ce moteur utilise l'énergie provenant de différents substrats externes, avec un rendement semblable à celui de la machine à vapeur. C'est par conséquent une chaudière polycombustible, capable d'utiliser l'énergie de différentes voies métaboliques.

Les substrats stockés dans le muscle constituent une source d'énergie potentielle. Le simple fait d'engager cette énergie potentielle dans une voie métabolique permet d'alimenter le muscle en énergie. Chaque molécule de glucose ou de lipide est ainsi comme une bille que l'on mettrait dans un entonnoir et qui, en tombant, entraînerait une roue à aubes productrice d'énergie.

Ensuite, il faut régler ce système. Les hormones agissent donc à un premier niveau en régulant de manière immédiate la quantité d'énergie. Ce sont des enzymes qui assurent cette fonction et le rôle des hormones est de modifier rapidement l'activité de ces enzymes. Le deuxième niveau d'action des hormones est ensuite la modification de la quantité d'enzymes intervenant directement dans le métabolisme ou dans la synthèse des protéines structurales, comme les protéines contractiles.

Les hormones modulent donc à long terme la quantité des protéines présentes dans la cellule.

En résumé, on distingue deux types d'axes hormonaux, certains agissant à court terme et d'autres à long terme.

Rappel sur l'utilisation des substrats énergétiques

Pour fournir un travail mécanique, le muscle dispose de trois réservoirs de carburant, qui sont :

- le muscle lui-même, qui dispose de **glycogène**, de lipides et de protéines,
- le foie, source immédiate d'**hydrates de carbone** (CHO),
- le tissu adipeux, qui dispose du stock énergétique quantitativement le plus important.

Durant les dix premières secondes d'un exercice physique intense et de courte durée, il y a utilisation immédiate de l'**adénosine triphosphate** (ATP) et des réserves énergétiques endogènes. Au bout de ces dix secondes, la **glycolyse** se met en action et représente alors la voie principale d'apport de substrats. Au même moment, la **lipolyse**, troisième voie métabolique, se met progressivement en jeu, mais son rôle ne devient intéressant qu'entre la cinquième et la dixième minute d'effort.

Pour des exercices physiques relativement courts, le muscle vit donc essentiellement sur ses réserves endogènes. Dès que l'on dépasse dix à quinze minutes d'exercice physique, il y a mobilisation du glycogène hépatique. Au bout de deux heures trente à trois heures d'exercice à 70 % de VO_2 max, il y a épuisement du glycogène hépatique et, progressivement, les voies lipolytiques deviennent prépondérantes. Ainsi, à partir de deux heures trente d'exercice physique, un sportif sans apport exogène de nourriture s'alimente presque exclusivement sur ses lipides et ses protéines.

En résumé, il y a, au début de l'exercice physique, une mise en jeu des réserves intramusculaires et, si l'effort se poursuit, une mise en jeu des substrats stockés hors du muscle (dans le foie et le tissu adipeux). Les hormones interviennent précisément dans la régulation de la mise en jeu de ces substrats, en fonction de la durée de l'exercice physique.

La régulation des axes hormonaux

■ **Le glycogène endogène (musculaire) et exogène (hépatique)**

Le foie est le premier organe auquel il est fait appel en cas de besoin en glycogène endogène. Ce mécanisme suppose l'existence d'une boucle de régulation qui informe l'organisme sur l'état de ces réserves endogènes et qui, via un centre d'intégration, adapte la **glycogénolyse** aux besoins énergétiques. Cette boucle, dans l'état actuel des recherches, n'est pas encore totalement décrite, mais les travaux de Lavoie ont montré qu'une suppression des voies nerveuses ascendantes en provenance des muscles entraîne la perturbation d'une partie de cette boucle. La voie descendante est, en revanche, mieux connue : lorsqu'il y a diminution des réserves endogènes, il y a, dans le foie, stimulation de la glycogénolyse par le **système sympathique** et par l'action coordonnée d'hormones : les **catécholamines** et le couple **insuline-glucagon**.

Il s'agit là d'un mécanisme important qui, depuis que les organismes se sont complexifiés, est pratiquement l'unique moyen de réguler la production de glucose par le foie. Ainsi, une augmentation d'adrénaline (catécholamine), une augmentation de glucagon (il renforce l'action des catécholamines) et une baisse d'insuline induisent une glycogénolyse hépatique, et donc la production de glucose.

Ce mécanisme de régulation suppose par conséquent l'existence de capteurs métaboliques musculaires informant le cerveau de l'état des réserves énergétiques. Le cerveau modifie alors le métabolisme par voie nerveuse (selon Lavoie) ou par voie métabolique, grâce à la concentration des substrats circulants. Ainsi, de faibles variations de glycémie pourraient être interprétées au niveau du cerveau, qui modulerait alors la glycogénolyse. Mais ce n'est pas encore démontré.

■ Les lipides

Il y a donc, au début de l'exercice physique, une réponse hormonale qui permet l'alimentation du muscle en glucose. Si l'effort se poursuit, les réserves en glycogène s'amenuisent et il faut alors stimuler l'utilisation des lipides. Fort heureusement, ce sont les mêmes axes hormonaux qui interviennent : l'augmentation des catécholamines et du glucagon, et la baisse de l'insuline vont induire l'utilisation des lipides par le muscle. Il n'a pas été mis en évidence, à l'heure actuelle, de boucle de rétroaction. On constate simplement que la baisse des réserves en glycogène stimule la lipolyse par voie hormonale, sans que ce phénomène soit, semble-t-il, lui-même régulé. En fait, au cours de l'exercice physique, les hormones mettent progressivement en place un état lipolytique non proportionnel au besoin de la cellule. Il y a libération massive de lipides dans le sang et le muscle doit « se débrouiller » pour les métaboliser. L'utilisation de ces lipides est régulée au niveau du muscle, qui augmente leur consommation au fur et à mesure que les réserves en glycogène s'épuisent. Même s'il n'y a pas de boucle de régulation, il y a néanmoins une action hormonale de stimulation.

■ La néoglucogenèse

Abordons maintenant un problème qui a fait l'objet d'un grand débat en physiologie de l'exercice. Lorsque les graisses deviennent le substrat prépondérant, il demeure cependant une nécessité impérative, qui est de maintenir un minimum de glucose dans le sang. Nous sommes au-delà de trois heures d'effort, il n'y a pratiquement plus de glycogène musculaire et hépatique, et il est impossible de laisser chuter la glycémie, pour deux raisons essentielles :

- des organes comme le cerveau, le rein et, probablement, certaines cellules du système immunitaire sont gluco-dépendants,
- la capacité de travail du muscle sera réduite du fait du moins bon rendement biochimique de la lipolyse.

Un minimum de glucose est donc indispensable. Heureusement, l'organisme peut poursuivre un exercice prolongé en dépit d'une baisse des réserves énergétiques, voire en état de dénutrition. En effet, une voie métabolique est apparue très précocement lors de l'évolution cellulaire : la néoglucogenèse. C'est une voie métabolique de recyclage des substrats provenant de la lipolyse (le **glycérol**), de la protéolyse (l'**alanine**) et de la glycolyse (le **lactate**). Ces substrats, incorporés dans la néoglucogenèse, alimenteront l'organisme en glucose. Le catabolisme protéique, qui libère de l'alanine, est donc nécessaire au fonctionnement de cette voie. Il y a une dizaine d'années, on pensait que ce n'était qu'après avoir épuisé tout le glycogène et tous les lipides, lors d'un exercice de très longue durée, que l'on commençait à « consommer » les protéines endogènes pour alimenter la néoglucogenèse. Mais les idées sur ce sujet ont radicalement évolué et on sait à présent que, dès le début de la contraction musculaire, il y a utilisation des protéines.

Le cycle des purines nucléotides est la première voie mise en jeu. Il intervient probablement dans les quinze à vingt premières secondes de l'exercice physique. Dès qu'il y a baisse de la concentration en ATP et augmentation de celle en **adénosine monophosphate** (AMP), il y a mise en jeu de la voie de recyclage de l'AMP, dont la fonction principale est, à mon avis, de produire immédiatement de l'azote. Ceci expliquerait que, dès le début de la contraction musculaire, la concentration en azote dans le muscle augmente. Simultanément, l'activité glycolytique et donc la production de **pyruvate** augmentent – pyruvate qui n'intègre pas dans sa totalité le **cycle de Krebs**. Une partie de l'azote se combine alors au pyruvate pour produire l'alanine. Il y a donc, dès les premières minutes de l'exercice physique, une augmentation de la production d'alanine.

Le cycle glutamine-glutamate, ou alanine, est la deuxième voie qui intervient. Ce n'est que très récemment qu'on a mis en évidence la formation de glutamine intramusculaire au début de l'exercice

physique. Ce substrat semble jouer un rôle important dans l'augmentation des synthèses protéiques observées dès l'arrêt de l'exercice.

Enfin, il faut noter que la néoglucogenèse est sous la dépendance de deux hormones : le cortisol et le glucagon, dont la concentration augmente lors de l'exercice musculaire.

■ La régulation des substrats au niveau du muscle

On pensait que l'élévation de la concentration en catécholamines et en glucagon, et la baisse de la concentration en insuline réglaient la glycogénolyse. Pourtant les travaux de Richter et Galbo montrent que l'inhibition de l'action des hormones, par blocage chimique ou suppression de fonction, n'empêche pas la glycogénolyse. On sait maintenant que c'est l'augmentation du calcium cytoplasmique observée pendant la contraction musculaire qui est à l'origine de la glycogénolyse dans le muscle. Si on bloque ce flux calcique, on supprime la glycogénolyse. En conclusion, la glycogénolyse est renforcée, mais pas régulée, par les hormones, le phénomène principal étant dépendant du calcium.

La lipolyse est, elle aussi, régulée par les hormones. Lorsqu'on bloque, chez l'animal, l'augmentation des catécholamines, on bloque aussi l'augmentation de glucagon et on réduit la lipolyse endogène. Il semblerait aussi que le flux lipidique soit régulé au niveau du muscle par d'autres hormones comme la STH (hormone de croissance) ou les catécholamines.

Mais quelle est l'utilisation des protéines au sein du muscle ? L'idée initiale était que la régulation des flux protéiques, lors de l'exercice prolongé, était due à la compétition qui existe entre les hormones responsables du catabolisme protéique (le cortisol) et les hormones responsables de la synthèse protéique (la testostérone chez l'homme et la progestérone chez la femme). Cette hypothèse était fondée sur le fait que, lors d'un exercice physique prolongé, on observait une augmentation du cortisol et une baisse des stéroïdes. Malheureusement, on a observé, depuis, que le cortisol et les anabolisants n'ont pas le même récepteur intramusculaire.

Cette compétition n'est donc probablement pas le moyen de régler les flux de protéines lors de l'exercice physique prolongé.

Tel est, très schématiquement, le rôle des hormones au cours de l'exercice musculaire. La seule voie pour laquelle on admet une boucle de régulation à peu près complète est donc la glycogénolyse.

LES EFFETS DE L'EXERCICE PHYSIQUE SUR LA RÉGULATION HORMONALE

Les effets d'un exercice physique de plus ou moins longue durée sur la régulation hormonale ont fait l'objet de très nombreuses recherches. Commencés voilà une trentaine d'années, ces travaux permettent maintenant de dresser un bilan assez clair de cette régulation (figure 1).

L'exercice prolongé

Dans le cas d'un effort bref et intense, les réserves d'ATP constituent l'essentiel des ressources énergétiques et il se passe très peu de chose sur le plan hormonal. Au-delà de dix secondes et jusqu'à quinze minutes, il y a une augmentation des catécholamines et, à partir de quinze minutes, on observe simultanément une baisse de l'insuline et une élévation du glucagon. Autrement dit, pour des efforts ne dépassant pas trente minutes, il y a :

- une augmentation des catécholamines stimulant la glycogénolyse au niveau du foie,
- une augmentation du glucagon renforçant l'action des catécholamines,
- une baisse de l'insuline stimulant la glycogénèse.

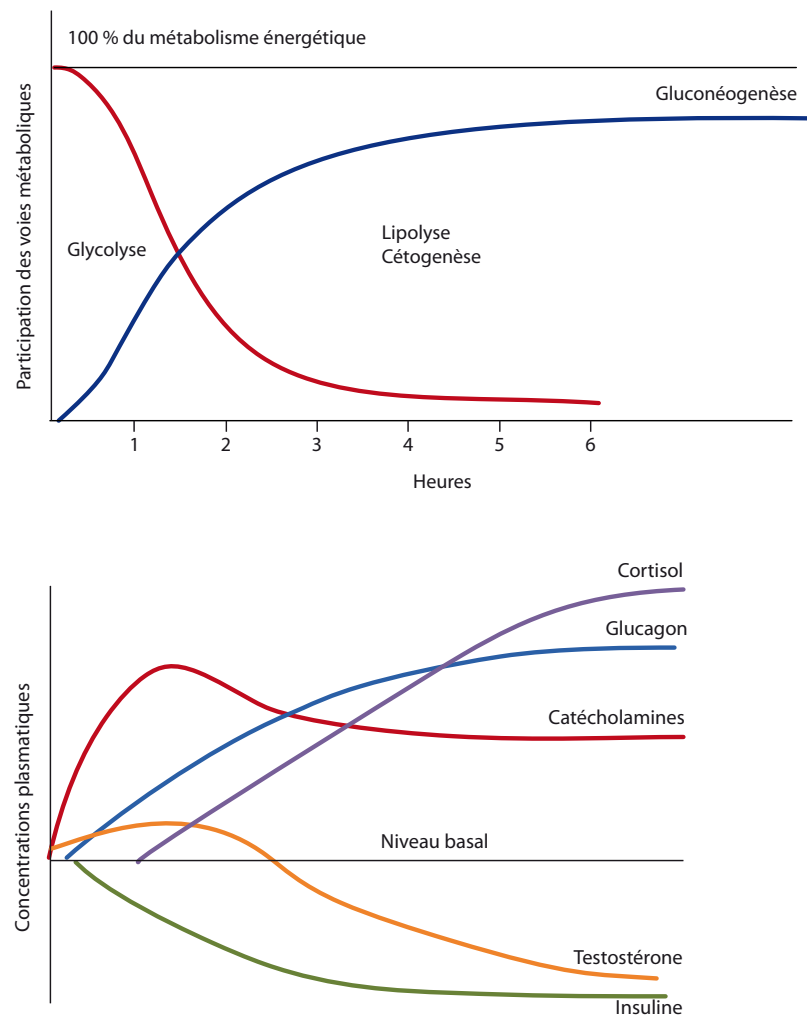


Figure 1 – Évolution comparative, en fonction du temps d'exercice musculaire, de la participation des différentes voies métaboliques dans la fourniture totale d'énergie et des concentrations plasmatiques des différentes hormones impliquées dans les régulations métaboliques.

Si l'exercice physique se poursuit au-delà de vingt minutes, on observe, de manière un peu plus tardive et de façon différente selon l'état de stress du sujet, une élévation de la concentration en cortisol puis, à partir de deux heures trente à trois heures d'effort, une baisse significative de la testostérone chez l'homme. Si la fonction principale de l'augmentation du cortisol est probablement de stimuler la néogluconéogenèse hépatique, quelle est celle de la baisse de testostérone ? Elle permet tout d'abord la mobilisation des dernières réserves en glycogène : nous savons en effet qu'à court terme, aussi bien la testostérone que la progestérone jouent un rôle important sur la synthèse de glycogène. Ensuite, il est probable qu'elle augmente à long terme la mobilisation des réserves protéiques afin d'alimenter la néogluconéogenèse. Mais cette hypothèse reste vraiment à démontrer.

En résumé, après trois heures d'effort, on se trouve devant un état catabolique important, avec des concentrations en hormones catabolisantes très élevées, des concentrations en hormones anabolisantes effondrées et une mobilisation des réserves endogènes.

Comment ces phénomènes sont-ils régulés à l'échelon central ?

Rappelons tout d'abord que les flux hormonaux sont rétro-régulés soit par des hormones, soit par des substrats. Il y a probablement, dans l'organisme, un système sensible à l'effort, une information centrale et un point de consigne avec une réponse de la glande endocrine ; et on a longtemps cherché quel pouvait être l'élément représentant ce système sensible, fixant le point de consigne et régulant les flux hormonaux.

La première hypothèse mettait en cause le glucose circulant. On imaginait que, sous l'effet de l'exercice physique, les variations de la concentration en glucose étaient enregistrées par le système nerveux central, qui modulait alors la réponse hormonale. L'inconvénient, c'est que les variations de la glycémie ne sont pas proportionnelles à l'intensité de l'exercice physique.

La deuxième hypothèse est qu'il existe, au niveau du cerveau, un système sensible à la concentration, non pas en glucose circulant, mais en glucose périphérique. Des données récentes, obtenues par RMN (résonance magnétique nucléaire) sur le cerveau du rat en hypoxie, permettent effectivement d'étayer cette hypothèse. Ce résultat est très intéressant, car les variations de la glycémie agissent non seulement sur les mécanismes d'asservissement de la réponse hormonale, mais aussi sur les mécanismes de perception. On retrouve donc ici la double fonction (métabolique et sensorielle) du glucose cérébral. Il existe déjà, à mon avis, des travaux pouvant éclaircir les relations qui existent entre les variations de glycémie, enregistrées au début de l'exercice physique, et les nombreux phénomènes comportementaux observés.

Ceux d'entre vous qui suivent le cursus « médecine du sport » ont peut-être fait attention, il y a une dizaine d'années, au travail intéressant du chercheur polonais Koslowski. Celui-ci avait fait l'hypothèse que c'était peut-être le glucose central, et non le glucose périphérique, qui réglait de nombreux paramètres. Il a fait courir, sur tapis roulant, des chiens perfusés au glucose au niveau de la carotide, afin que la glycémie périphérique reste stable, et au niveau du cerveau.

Ce système a augmenté de façon considérable le temps d'endurance des chiens et a diminué la réponse des catécholamines périphériques. Ce qui veut dire qu'une des composantes de la fatigue résultant d'un exercice physique prolongé se situe au niveau cérébral, et non pas à la périphérie, et que les boucles de régulation hormonale se situent sans doute à ce même niveau.

Le système nerveux central semble donc être le chef d'orchestre des régulations hormonales.

L'exercice très prolongé

Lors de l'exercice très prolongé, on observe une concentration en hormones stéroïdiennes (figures 2a, 2b, 2c et 2d). Avec Pierre Pesquiès, alors directeur du laboratoire de physiologie hormonale du

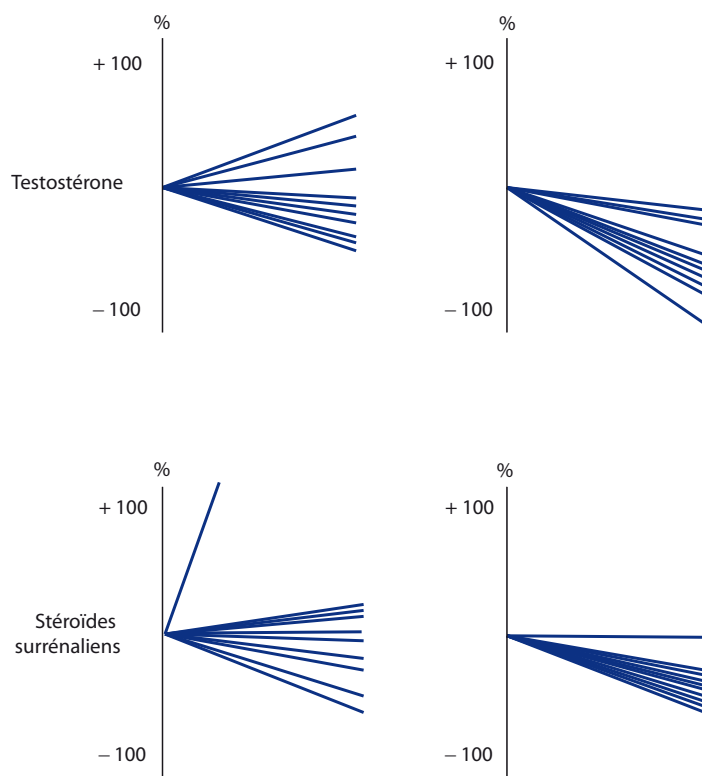


Figure 2a – Variations relatives individuelles (dix sujets) des concentrations plasmatiques de testostérone et de stéroïdes surrénaliens chez l'homme, entre le départ et l'arrivée d'une course de 100 km.

CERMA, nous avons fait courir un rat pendant sept heures sur un tapis roulant. Nous avons observé, au bout de trois heures, un effondrement de la concentration en testostérone plasmatique et une baisse de la concentration en insuline. Cet état hormonal correspond à un état catabolique maximal. Ce que l'on relève chez le rat a été observé chez l'homme à l'issue d'une course de cent kilomètres ou d'un marathon.

Cette baisse des stéroïdes s'observe également sous l'effet d'un entraînement prolongé. Ainsi, lorsque l'on compare la concentration en testostérone circulante chez des sujets qui courent plus de soixante kilomètres par semaine et d'autres non entraînés, on s'aperçoit qu'elle est significativement plus basse chez ceux qui s'entraînent.

On observe chez la femme sportive un aplatissement des pics hormonaux, qui aboutit à un raccourcissement de la phase lutéinique (le cycle menstruel se divise en deux périodes : la phase folliculaire, suivie de la phase lutéinique). Autrement dit, l'effort physique induit aussi chez la femme une perturbation hormonale, dont l'origine est probablement une inhibition centrale de la sécrétion des stéroïdes. Il est important de souligner que tout ce système est sous l'influence de phénomènes psychologiques (le stress, l'anxiété, etc.) ou de phénomènes endocriniens (les **endorphines**, la **noradrénaline**, la **dopamine** et la **sérotonine**).

Prenons des exemples connus :

- chez des femmes soumises à un stress psychologique, apparaît brutalement un certain nombre de perturbations du cycle menstruel ;
- on observe des aménorrhées post-émotionnelles ou résultant d'anorexies mentales (ce dernier exemple est limite car, au phénomène psychologique de l'anorexie mentale, s'ajoute un phénomène métabolique important, qui est la diminution des réserves énergétiques) ;

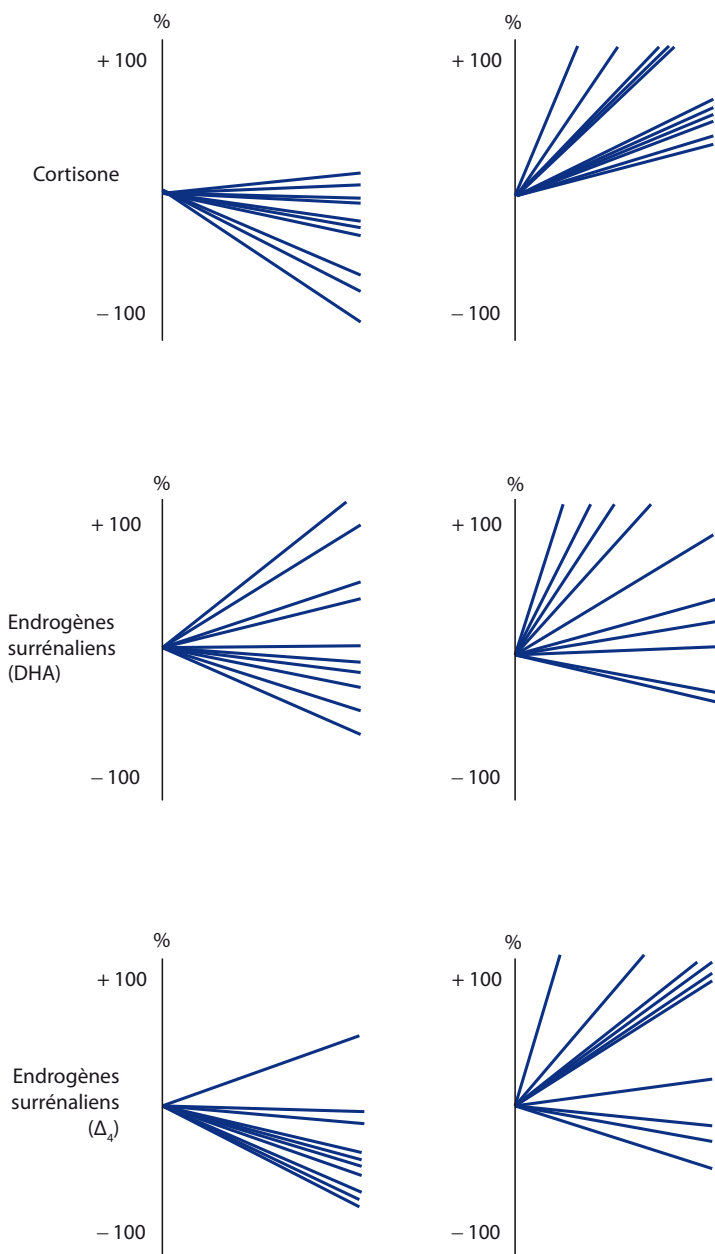


Figure 2b – Variations relatives individuelles (dix sujets) des concentrations plasmatiques de cortisone et des androgènes surrénaliens chez l'homme, entre le départ et l'arrivée d'un raid commando.

- on constate enfin des aménorrhées chez des sportives soumises à une double contrainte : métabolique, par augmentation permanente de la dépense énergétique, et psychologique, par le stress lié à l'entraînement et à la compétition.

Il existe aussi chez l'homme des syndromes d'hypotestostéronémie : un accident, une opération chirurgicale (double polarité psychologique et traumatique) ou une situation de conflit provoquent en effet une baisse de la concentration en testostérone, surtout chez les sujets qui s'adaptent le moins à ces situations.

La baisse des stéroïdes après des exercices physiques très prolongés résulte donc de composantes à la fois psychologiques et métaboliques. Les premiers agents qui permettent d'expliquer cette action sont les endorphines. De nombreux travaux, notamment ceux réalisés par Collu et Ducharme chez le rat, ont montré que, dès qu'il y a un stress métabolique et psychologique, il y a augmentation des endorphines. Si on bloque cette augmentation, on ramène les stéroïdes périphériques à un taux normal. Ainsi :

- lorsqu'on provoque chez l'animal un premier stress à composante uniquement psychologique (on l'enferme dans une boîte et on l'empêche de bouger), on enregistre une baisse de la concentration en hormone lutéinisante (LH) et en testostérone ;
- un deuxième stress à composante uniquement métabolique (on le met en atmosphère froide) provoque la baisse de la concentration en testostérone ;
- un troisième stress à composante psychologique (douleur) et métabolique (on le met au froid et on lui pince la queue) entraîne aussi la baisse de la concentration en testostérone.

Tous ces stress ont un point commun : l'élévation de la concentration en endorphines. Si, chez ces animaux, on injecte un sérum anti-endorphines, on bloque la baisse de LH et de testostérone. Il y a donc une forte probabilité que cette boucle de régulation soit sous contrôle des endorphines, qui jouent alors le rôle de médiateurs entre la périphérie et le système nerveux central lors de l'exercice physique prolongé. D'autres médiateurs, comme les catécholamines cérébrales, la dopamine, la sérotonine, sont susceptibles de moduler la réponse des hormones hypothalamo-hypophysaires.

Nous nous garderons pourtant de dire qu'un facteur unique (les endorphines) contrôle la réponse hormonale, d'autant plus que cette baisse de la concentration en testostérone plasmatique est aussi observée lors d'un exercice physique long et inhabituel, ou encore lors d'un entraînement intense dans un sport de longue durée (type course à pied) ou de courte durée (type haltérophilie). La question qui se pose alors est de savoir si cette baisse est un marqueur de l'entraînement ou si elle est la cause de la fatigue ressentie à l'entraînement.

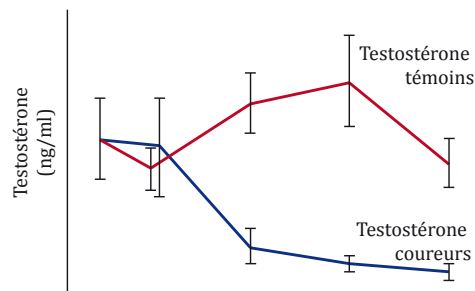


Figure 2c – Évolution des taux plasmatiques de testostérone chez des rats, lors d'une course de sept heures sur tapis roulant.

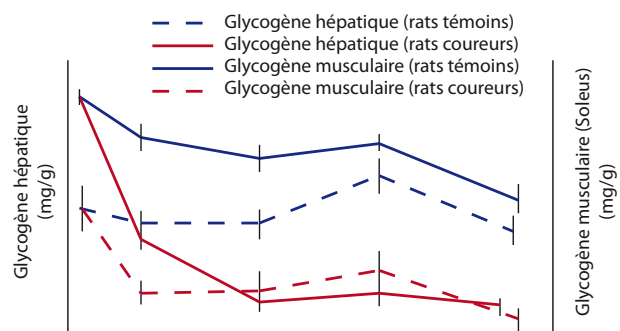


Figure 2d – Évolution des concentrations tissulaires de glycogène hépatique et musculaire chez des rats, lors d'une course de sept heures sur tapis roulant.

Une des expériences réalisées dans le but de répondre à cette question utilise la déhydrotestostérone comme substituant de la testostérone. Pierre Pesquiès a eu l'idée suivante : pour savoir s'il existe un lien entre la baisse de la concentration en testostérone et la fatigue, il suffit de restituer le statut androgénique normal chez le coureur après l'effort et de « voir ce qui se passe ». Le fait de compléter des sujets en déhydrotestostérone modifie la perception de la pénibilité de l'effort et ce résultat est assez net. En revanche, pour l'aspect moteur, à savoir l'augmentation de performance, il ne se produit rien. Les travaux réalisés sur des rats complétés en testostérone donnent les mêmes résultats : action sur le métabolisme, mais pas sur la performance.

Que penser, à l'heure actuelle, de la baisse en testostérone ? Pour l'exercice physique unique, il y a peu de conséquences sur la capacité de travail mécanique, mais un effet psychologique certain. Pour l'exercice physique répétitif, il existe probablement un effet sur la resynthèse du glycogène après l'exercice. L'administration à haute dose de testostérone entraîne un effet glycosynthétique qui est vraisemblablement potentialisé dans la phase de récupération. Finalement, on explique expérimentalement ce que l'on observe en pratique, à savoir que les gens qui se « dopent » à la testostérone sur de longues périodes sont probablement capables de supporter de plus grosses charges de travail, car la récupération est plus courte. On est donc obligé d'admettre, sans pour autant l'expliquer, qu'un des effets de l'ingestion de testostérone est l'accélération de la phase de resynthèse post-exercice du glycogène. Et c'est sans doute cette raison qui a soutenu le succès de ce type de dopage. Toutefois, ne faut-il pas mieux respecter une réponse normale des hormones, avec une phase hypercatabolique post-exercice qui potentialiserait des effets à long terme et amènerait des adaptations métaboliques favorables à la performance ?

LE RÔLE DE L'ENTRAÎNEMENT DANS LES RÉGULATIONS HORMONALES

Le résultat de l'entraînement se traduit par l'amélioration des capacités de réponse d'un organisme : amélioration à la fois des capacités qui dépendent de la structure – comme, par exemple, la surface des cellules musculaires – et des capacités métaboliques – comme l'activité des voies métaboliques. À chaque séance d'entraînement, la cellule musculaire est soumise à de multiples contraintes, qui provoquent des perturbations internes importantes et, à terme, un état qualifié de catabolique. Ce dernier aura pour conséquence des modifications de la structure du muscle ou de la machinerie contractile. Vous savez bien que, selon le type d'entraînement, on peut obtenir :

- une augmentation de la surface de ce muscle, une augmentation de ses protéines contractiles, des modifications d'un statut de fibre de type rapide vers le type lent lors d'un entraînement en endurance ou, à l'inverse, une augmentation des protéines contractiles de type rapide lorsqu'il y a un entraînement en vitesse plus qu'en force ;
- une augmentation de certaines enzymes (des enzymes aérobies) et des mitochondries par l'entraînement d'endurance.

On a donc affaire à un système extrêmement plastique, dont la particularité est de s'adapter très largement aux exercices d'entraînement réalisés. On comprend dès lors combien le choix de ces exercices, leur enchaînement, leur sommation, leur répétitivité, leur volume, etc., jouent un rôle important dans la performance d'un athlète. Or, pour aboutir à un état d'adaptation supérieur, pour remodeler un muscle, il faut détruire les protéines existantes (contractiles et enzymatiques) afin de les remplacer par des nouvelles.

La succession des entraînements aboutit à une augmentation de la performance, qui n'est ni linéaire, ni continue, mais de type cyclique et au sein de laquelle, à une augmentation, succède une stagnation, et ainsi de suite. Si on analysait plus finement ce qui se passe entre l'entraînement et la récupération, on pourrait aboutir à un modèle plus fin : une séance d'entraînement est un état catabolique, suivi d'une phase anabolique, la récupération.

Prenons l'exemple du modèle de l'atrophie musculaire par immobilisation, sur lequel nous travaillons actuellement. Afin de comprendre ce qui se passe dans l'espace, et pour étudier l'effet de l'hypokinésie sur le muscle, on suspend un rat par la queue pendant trois semaines. Les muscles du membre postérieur fondent alors considérablement. Un réentraînement normal permet de revenir à l'état musculaire initial, tandis qu'un réentraînement intensif augmente la destruction. Si après trois ou quatre semaines on étudie à nouveau le muscle, on remarque de nouvelles protéines contractiles apportant une plasticité musculaire beaucoup plus importante qu'auparavant. Si on effectue un entraînement par électrostimulation (entraînement intensif) suivi d'un entraînement normal, on constate une augmentation des protéines contractiles rapides supérieure à celle qui se produit chez un rat normal soumis au même protocole.

Ce résultat indique donc que, pour obtenir une prédominance de protéines contractiles rapides dans un muscle, il faut mettre le sujet au repos, le réentraîner de façon intensive pour accentuer la destruction des cellules musculaires, puis le réentraîner à nouveau normalement. Nous en arrivons là à des états d'adaptations plus élevés parce que nous avons des phases cataboliques plus importantes. L'entraînement réalise un cycle qui associe les actions suivantes : détruire, renouveler, détruire, renouveler... Ceci est valable pour le muscle, mais on sait maintenant que c'est aussi valable pour l'os. En effet, l'activité mécanique stimule les ostéoblastes, qui accélèrent alors la destruction et le remplacement du tissu osseux en place.

Revenons au problème du respect de la phase catabolique-anabolique de l'entraînement. Si vous apportez à l'organisme des hormones anabolisantes qui bloquent ces phases d'alternance de destruction-réparation grâce aux effets d'accélération de la resynthèse, vous obtiendrez, à court terme, des effets néfastes. Pour potentialiser les modifications induites par les entraînements, il faut donc respecter, dans l'entraînement, les phases de catabolisme pour provoquer un état d'adaptation plus élevé. C'est une hypothèse, certes, mais je pense que c'est le but de l'entraînement.

RÔLE DES RÉGULATIONS HORMONALES DANS LE SURENTRAÎNEMENT

Quand on fait la synthèse de la littérature sur ce sujet, un critère certain du surentraînement apparaît, je veux parler du critère « clinique ». Un athlète surentraîné déclare au médecin que, bien qu'il s'entraîne ou qu'il augmente son entraînement, ses performances se dégradent : c'est le premier signe de surentraînement. Le deuxième critère est qu'il est fatigué. Puis il présente, à des degrés divers, des signes d'insomnie (c'est un signe certain de surentraînement), des signes de dépression et, de temps en temps, une modification du comportement alimentaire.

Dans l'étude que nous venons de faire sur le triathlon, nous avons essayé de préadapter à l'altitude cinq sujets qui devaient participer au **triathlon d'Embrun**. Ils ont effectué, trois fois par semaine et à 4 000 mètres (en caisson d'altitude), des séances à 75 % de $VO_2\text{max}$ et une séance d'entraînement fractionné, pour étudier les processus d'adaptation. Au bout de trois semaines, les athlètes étaient très en forme et, comme les athlètes longs sont des gens qui sont un peu masochistes, ils ont enchaîné avec un stage à Cap Estérel, où ils ont doublé la quantité de travail. Anne-Marie Rouchon, athlète et psychologue qui se trouvait parmi eux, leur a fait passer un questionnaire que l'on a validé. Il comportait des questions sur l'humeur, le sommeil, l'appétit, mais aussi sur la sensation de fatigue. Le résultat qui se dégage en premier est l'augmentation de l'anxiété. On note aussi que plus les sujets sont fatigués plus le sommeil est long à venir : les conséquences psychologiques sont donc importantes. D'autres perturbations, d'ordre biologique et endocrinien (baisse de la concentration en testostérone et raccourcissement de la phase lutéinique), ont également été mises en évidence.

Mais ces paramètres ne se modifient pas tous en même temps et il serait intéressant d'établir le lien entre les réponses métaboliques ou endocriniennes et le comportement de l'athlète.

Finalement, si on schématise un peu, le surentraînement impose à la périphérie une contrainte métabolique qui agit sur le système nerveux central et entraîne à terme des modifications comportementales. Comment cela peut-il se passer ? Il y a un ou plusieurs neuromédiateurs centraux qui vont influencer l'humeur, le sommeil, la prise alimentaire et un certain nombre d'autres paramètres. Immédiatement, les spécialistes de neurochimie ont incriminé la sérotonine cérébrale, dont le mécanisme est assez bien connu. Avec Francis Chaouloff, nous avons fait courir des rats sur tapis roulant et nous avons regardé ce qui se passait au niveau de la production du précurseur de la sérotonine cérébrale, qui s'appelle le tryptophane. Nous avons observé qu'un rat qui court jusqu'à épuisement produit beaucoup de tryptophane et qu'il double le métabolisme de la sérotonine cérébrale ; et quand, au lieu de le faire courir une fois, on surentraîne ce rat pendant plusieurs semaines, la sérotonine cérébrale monte alors « au plafond ». Ainsi, en surentraînant un rat, on induit en effet le catabolisme protéique, donc une production accrue de tryptophane et, par conséquent, une production accrue de sérotonine cérébrale.

C'est une hypothèse qui, à l'heure actuelle, a énormément de succès. Les articles qui viennent de paraître sur le sujet éclipsent en effet le rôle des endorphines et des monoamines, au profit de la sérotonine. On revient alors à un schéma linéaire où il n'y a qu'un paramètre d'entrée, la sérotonine, et un paramètre de sortie, le comportement. Mais, selon moi, c'est une erreur de se concentrer uniquement sur l'hypothèse de l'existence d'un seul paramètre d'entrée et d'un seul paramètre de sortie. Il y a, effectivement, une montée de sérotonine lors du surentraînement, mais il y a aussi des modifications au niveau de la concentration en catécholamines cérébrales et au niveau de la disponibilité périphérique en choline (précurseur de l'acétylcholine cérébrale).

Ainsi, on peut raisonnablement supposer qu'il existe une relation entre le syndrome de surentraînement et la variation de la concentration de certaines enzymes.

En conclusion, l'étude du surentraînement est une situation typique des interrelations entre le métabolisme et le système nerveux central. Si l'aspect comportemental de la fatigue est bien défini, il reste à démontrer par quelle voie les modifications du système nerveux central peuvent diminuer la performance mécanique du muscle.

Je vous remercie de votre patiente attention.

QUESTIONS-RÉPONSES

Didier SEYFRIED (Laboratoire de physiologie de l'INSEP) : Existe-t-il des marqueurs du surentraînement ? Peut-on utiliser les fonctions cortico-surréaliennes et testiculaires comme marqueurs d'un état de fatigue ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Cette hypothèse a été étudiée par Thierry Busso. C'est lui qui, avec Jean-René Lacour, a été le plus loin sur ce sujet, en essayant de modéliser mathématiquement la performance et la quantité d'entraînement. Peut-on utiliser l'index testostérone-cortisol pour cibler l'entraînement ? Répéter un dosage testostérone-cortisol tous les quinze jours permet-il d'être en avance sur la période de surentraînement ? Je pense que non, car il n'y a pas de relation, à mon avis, entre la quantité de travail, le surentraînement et les résultats de ce dosage. C'est-à-dire que si vous entraînez un grand nombre de sujets, la concentration en testostérone va diminuer chez tous, mais quelques-uns d'entre eux seulement seront surentraînés (environ trois sujets sur dix). Vous restez alors toujours dans des marges de sécurité en réduisant l'entraînement chaque fois que vous verrez se modifier les paramètres métaboliques que vous aurez choisis.

Il faut admettre que, dans des phases d'entraînement importantes, on obtient des modifications métaboliques « importantes » ! On l'a vu chez les haltérophiles de l'expérimentation de Komi où, dans tous les cas, on observe une baisse de la concentration en testostérone et une augmentation des performances, et cela veut simplement dire que lorsque la testostérone baisse, le sujet s'entraîne plus que d'habitude. En pratique, si on répète les dosages à longueur d'année, cela n'a pas d'intérêt, parce qu'on va simplement vérifier le fait que les gens s'entraînent.

Éric JOUSSELLIN (Département médical de l'INSEP) : Les entraîneurs et les athlètes demandent régulièrement aux médecins s'il existe de tels marqueurs ou indicateurs. Je peux vous livrer une statistique simple. Plus de 15 % des consultations spontanées des sportifs de l'INSEP au département médical débute par : « Je suis fatigué... », avec exactement ce que vous avez décrit dans votre exposé. Je suis donc tout à fait d'accord avec vous sur le fait que les seuls signes actuels que l'on ait du surentraînement sont les troubles du sommeil, les troubles de l'appétit et, chez les filles, les troubles gynécologiques.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Effectivement, des troubles gynécologiques majeurs avec l'aspect aménorrhée et une douleur pelvienne.

Éric JOUSSELLIN : Que pensez-vous du marqueur biologique relativement simple à prélever au niveau du catabolisme musculaire qu'est la créatine-phosphokinase ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Cet indice est le plus mauvais pour apprécier les flux protéiques. La concentration en créatine-phosphokinase (CPK) monte en effet parce qu'on s'entraîne, et non pas parce qu'on est fatigué, comme la testostérone. Quand son taux augmente, cela veut dire qu'une cellule musculaire s'est contractée, qu'il y a eu des modifications de membrane et que l'enzyme intramusculaire est passé dans la circulation. Ce n'est surtout pas un paramètre de protéolyse. Il suffit de courir en descente pour avoir une augmentation importante de la concentration en CPK, sans pour autant modifier les flux de synthèse et de dégradation.

Didier SEYFRIED : Que pensez-vous alors d'un autre marqueur comme la LDH (lactico-déshydrogénase) ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : À mon avis, la LDH ne constitue pas davantage un bon marqueur du surentraînement.

Éric JOUSSELLIN : En ce qui concerne le bilan biologique sanguin classique, existe-t-il un marqueur particulier ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Prenons l'exemple du fer. Il y a un certain nombre d'années, on disait que le surentraînement était dû à l'anémie du sportif et qu'il était très simple d'y remédier en le complétant avec du fer. Il y a eu de nombreuses études, notamment celle de Celsing, qui consistaient à entraîner des

athlètes sur tapis roulant et à les saigner un peu tous les jours pour les rendre anémiques. Il n'y a eu aucun effet sur la performance. C'est-à-dire que l'on peut « se balader » avec une hémoglobine à douze grammes et avoir un VO_2max conservé. Dans le dernier numéro de *Sport Médecine*, nous pouvons d'ailleurs lire un récapitulatif de toutes les expérimentations de ce genre faites dans le monde soit par transfusion, soit par apport de fer, soit par apport de vitamines. Sur vingt expérimentations, trois seulement montrent que l'on augmente la performance en ramenant le statut du fer. À mon avis, cela se passe de commentaires. Donc, on s'entrave, on modifie la concentration en fer, mais cela ne veut pas dire que l'on est fatigué ni que la performance sera modifiée, ni que l'on s'est entraîné.

Éric JOUSSELLIN : Chez un coureur à pied que l'on connaît bien, on peut voir apparaître une baisse légère de sa vitesse. Le bilan biologique standard fait apparaître un léger déficit en fer à ce moment-là. On sait parfaitement qu'en diminuant la quantité et la qualité de l'entraînement, et avec une alimentation appropriée, comprenant aux trois quarts un apport de fer exogène, tout rentre dans l'ordre. C'est un des signes, sur le plan biologique, auquel on accorde une importance, en dehors de tous les problèmes.

Merry SAINT-GÉNIÈS (Fédération française de gymnastique) : Nous sommes dans un sport où nos entraînements s'étalent sur trois à quatre heures, avec des exercices de sept secondes à une minute et demie. Qui plus est, nous sommes dans un sport où l'âge d'entraînement est prépubertaire. Par rapport aux éléments que vous nous avez donnés, nous sommes donc toujours à la recherche d'indicateurs nous permettant de savoir si nous sommes dans le vrai, et cela s'adresse à des enfants. Alors, devons-nous en rester à ce que vous nous avez exposé ou bien d'autres paramètres sont-ils en jeu ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Je crois que le problème de la gymnastique est justement le retard de puberté et de croissance, avec lequel vous devez composer. Il ne faut pas se leurrer : pour que la performance soit bonne, les gymnastes doivent avoir une composition corporelle prépubère, le moins d'accumulation de graisse corporelle possible, une élasticité ligamentaire importante et un rapport poids/puissance favorable. Les études qui viennent d'être publiées montrent qu'à l'arrêt de l'entraînement, les gymnastes rejoignent les courbes de croissance staturales des sujets contrôles en trois ou quatre ans.

Donc, n'ayez pas mauvaise conscience, si vous les retardez jusqu'à seize ans, vous ne les retarderez pas pour la vie et, apparemment, une régulation centrale fait qu'elles retrouvent à peu près la composition et la taille des sujets normaux.

En revanche, ce qui est plus inquiétant, c'est que vous leur gardez un statut osseux de densité osseuse prépubère, avec des contraintes mécaniques élevées. Or, on sait que la densité osseuse des femmes s'accroît brutalement à la puberté. Et la question que je me pose alors c'est de savoir si, en gardant des gymnastes prépubères jusqu'à seize ans, on n'augmente pas la pathologie des insertions et celle du poignet. C'est une question que je poserais volontiers au docteur Jussellin.

Éric JOUSSELLIN : Cela était effectivement le cas il y a quelques années mais, aujourd'hui, les observations que l'on a pu faire aux entraîneurs ont permis de changer la façon dont les gymnastes s'entraînent. Néanmoins, il est vrai qu'il existe encore des pathologies d'insertion liées à l'amplitude de l'entraînement.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Le contenu minéral osseux me paraît être un paramètre important chez les gymnastes. Il y aurait une étude épidémiologique à faire pour savoir s'il existe une relation entre le contenu minéral osseux de ces jeunes filles et les pathologies du poignet.

Merry SAINT-GÉNIÈS : Le problème de l'apport alimentaire est important en gymnastique. Nous sommes dans une société qui est très ouverte sur le plan des possibilités d'alimentation et nous imposons des règles hygiéniques aux athlètes pour qu'elles puissent être élégantes et performantes. Donner des suppléments en sels minéraux et en vitamines pour préparer la séance d'entraînement, finir par une période de récupération sont-ils des procédés à envisager sur des jeunes ou devons-nous en rester à une

méthode beaucoup plus traditionnelle et empirique, où l'on voit apparaître, notamment chez l'enfant de seize ans, des problèmes de surentraînement ou de démotivation conduisant à des pathologies ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : En réalité, l'apport en vitamines et en sels minéraux que reçoit un athlète est directement proportionnel à la quantité de calories qu'il ingère. La conséquence est que si vous réduisez la ration calorique pour maintenir un poids corporel idéal, vous réduisez automatiquement l'apport en sels minéraux et en vitamines. Sachant cela, avez-vous intérêt à imposer un régime hypocalorique pour maintenir la composition en graisse ?

Quel est le rapport entre les vitamines et la performance ? Là, c'est extrêmement clair : on n'a jamais vu des vitamines augmenter la performance. Les récents travaux sur la vitamine E montrent par contre, lors d'un travail musculaire intense, qu'il y a production de radicaux libres chez des rats carencés en vitamine E et aggravation des lésions musculaires. On entrevoit donc une perspective d'avenir : prévenir les lésions musculaires grâce au rôle antioxydant de la vitamine E.

Quant aux sels minéraux, dans le cas de la gymnastique féminine, la question ne se pose pas pour l'apport de calcium. Ce qui est à craindre, c'est que ces enfants aient un contenu minéral osseux total à vingt-cinq ans qui soit inférieur à celui de personnes n'ayant pas fait de gymnastique. Il faut donc procéder à une enquête alimentaire chez les gymnastes et ceux qui absorbent moins de huit cents milligrammes de calcium par jour devront augmenter, par précaution, leur consommation d'au moins un gramme.

Mais, avant d'envisager des suppléments en sels minéraux et en vitamines, appliquez les grandes règles nutritionnelles. Ainsi, il est important d'apporter à un sportif au minimum 50 % de la ration alimentaire sous forme d'hydrates de carbone. L'horaire des prises alimentaires doit dépendre des séances d'entraînement et la récupération, tout comme le niveau d'hydratation, doivent être suffisants. Quand on arrive à respecter ces règles, on enregistre déjà un progrès sans avoir besoin de compléments vitaminiques ou minéraux.

Patrick RIFFAUT (Conseiller technique régional d'athlétisme) : Après vous avoir entendu sur le dosage de la créatine-phosphokinase et du fer, je vous pose la question suivante : que faut-il penser de la théorie affirmant que la concentration en CPK augmente parallèlement à celle de l'urée ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Il faut faire attention à ce qu'on appelle les associations temporelles, qui consistent à établir un lien de cause à effet entre plusieurs paramètres qui semblent évoluer en même temps. Ainsi l'ammoniaque dans le sang monte en même temps que le lactate. Y a-t-il un lien entre le lactate et l'ammoniaque ? Là, vous nous parlez de la CPK et de l'urée. L'urée va monter dans le sang pour deux raisons : un phénomène de déshydratation (le sujet se surentraîne) ou une séance d'entraînement anormale (son hématoците augmente).

Premier point : si vous n'avez pas le dosage hématoците permettant d'avoir l'hydratation, vous pouvez avoir une augmentation de l'urée et de la concentration en CPK parce que le sujet s'est entraîné.

Deuxième point : revenons sur les problèmes du métabolisme de l'azote et de l'alanine. Toute séance d'entraînement produit de l'azote, donc augmente le travail rénal post-entraînement. Or, si ce surcroît de travail se fait avec un sujet qui s'hydrate peu ou dans un climat chaud, vous risquez d'avoir une légère augmentation de l'urée et de la créatine (donc de la concentration en CPK). Mais tout ceci ne veut pas dire qu'il y a forcément un lien de cause à effet. L'augmentation de la concentration en CPK s'explique en effet par le désordre de la fonction musculaire, celle de l'urée par l'augmentation de l'azote et la diminution de la fonction rénale.

Jacques PERSONNE (Professeur d'EPS retraité) : À partir d'une notion que vous avez abordée très brièvement dans votre conférence, à savoir les aspects bénéfiques, pour le système osseux, de la pratique des activités physiques, je voudrais faire allusion à un article paru dans la revue de course à pied *Spiridon*. Cette étude souligne, en ce qui concerne les athlètes féminines, deux aspects contradictoires. D'une part,

l'activité physique accroît effectivement la production de tissu osseux par les cellules ad hoc, ce qui est très bon pour les os ; d'autre part, l'entraînement peut déclencher des modifications hormonales telles qu'une diminution de la production d'œstrogènes chez les femmes, entraînant des phénomènes d'aménorrhées. Mais alors, si on sait que l'activité des cellules osseuses est stimulée par les œstrogènes, la baisse du taux de ces hormones peut aisément se traduire par une perte de substance osseuse. On a constaté, chez ces athlètes, que la masse osseuse spinale avait en effet diminué de 20 à 30 % et que la fréquence des fractures dites « de fatigue » était multipliée par quatre. Puis-je vous demander votre avis sur cet article ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Lorsque l'on fait du sport jusqu'à soixante kilomètres par semaine, le contenu minéral osseux augmente, mais si on exagère, le contenu minéral de certains axes osseux, celui des vertèbres en premier, diminue. Ce phénomène est probablement lié à un problème de composition corporelle, qui fait qu'au-delà de soixante kilomètres par semaine, on voit apparaître une diminution de la masse grasse. On sait que la femme ménopausée devient ostéoporotique : et la ménopause induite par l'entraînement a les mêmes effets que la ménopause physiologique. On observe le même phénomène chez les militaires : ils se déminéralisent à partir d'une certaine quantité de travail. Ce qui est curieux, c'est que ce sont les vertèbres qui se déminéralisent, mais que les fractures de fatigue touchent surtout l'extrémité des os longs.

Il faut donc rester prudent : la relation entre fracture de fatigue et contenu minéral osseux existe, mais elle n'est peut-être pas aussi étroite que nous le pensons. Il reste malgré tout un mystère : la fracture de fatigue ne survient pas forcément sur un os déminéralisé. En pratique, cela veut dire qu'avec un squelette bien minéralisé, on peut quand même se faire une fracture de fatigue. On peut aussi avoir des sujets qui présentent une diminution de densité osseuse sans fracture de fatigue.

DÉBAT

Agnès MOURIER

En thèse de doctorat au département de physiologie systémique IMASSA-CERMA (Brétigny-sur-Orge)

Docteur Charles-Yannick GUEZENNEC

Directeur du département de physiologie systémique IMASSA-CERMA (Brétigny-sur-Orge)

Docteur Éric JOUSSELLIN

Médecin-chef du département médical de l'INSEP

Eberhart MUND

Directeur de l'équipe de France d'aviron

Docteur Pierre PESQUIÈS

Ancien directeur de la division de physiologie métabolique et hormonale du CERMA (Brétigny-sur-Orge)

Conseiller scientifique Sandoz-France

Rédacteur en chef de la revue Science et Sport

Merry SAINT-GÉNIÈS

Directeur de l'équipe de France féminine de gymnastique

Docteur Hubert TISAL

Département médical de l'INSEP, médecin de la Fédération française de karaté

Ce débat a été préparé et animé par Didier Seyfreid, du laboratoire de physiologie et biomécanique de l'INSEP.

Didier SEYFRIED : Notre débat portera essentiellement sur deux types de problèmes en liaison avec le métabolisme hormonal : la nutrition et la gestion du stress. Abordons donc, pour commencer, les problèmes de nutrition évoqués par Merry Saint-Géniès, et plus particulièrement les contraintes externes liées à la gestion pondérale.

Quelle que soit sa discipline, le sportif a toujours en charge la gestion de son poids de corps. Elle est relativement simple quand il ne s'agit que de maintenir, à deux ou trois kilos près, son « poids de forme », c'est-à-dire le poids qu'il atteint au moment où il réalise ses meilleures performances. Elle est beaucoup plus complexe quand le poids du corps est un facteur de performance déterminant, voire décisif. Ne pas « faire le poids » en boxe, en judo, en karaté, et maintenant en aviron, vous élimine de la compétition ; afficher une surcharge pondérale de trois ou quatre kilos en natation, en gymnastique sportive ou en GRS, chez les filles, complique singulièrement l'accession à la performance. Avoir un excédent de poids en ski de fond ou en vélo est un facteur limitant certain, surtout quand « le terrain est vallonné ». Bref, sachant qu'il s'agit, dans tous les cas de figures, de facteurs incontournables, la question est de savoir si l'on peut identifier, sur le plan endocrinien, les contraintes supplémentaires imposées par certains régimes et, si oui, quelles recommandations pratiques pouvons-nous faire aux athlètes ?

Agnès MOURIER : On est maintenant certain que, dans les sports à catégorie de poids, toute perte pondérale supérieure à 5 % diminue la performance enregistrée la veille, voire deux ou trois jours avant. On constate surtout une diminution des performances anaérobies. Un athlète qui s'entraîne quatre heures par jour a besoin au minimum d'un apport glucidique équivalant à 55 % de sa ration alimentaire.

Actuellement, nous menons, avec le CERMA et la Fédération française de lutte, un travail sur un groupe de lutteurs de haut niveau auxquels nous apportons une complémentation en protéines et en acides aminés branchés. Ils sont bien entendu astreints à un régime alimentaire comportant 55 à 60 % de glucides. Classiquement, dès que l'on parle de protéine exogène, on pense qu'il y aura des problèmes

d'urée. Mais si l'athlète boit trois à quatre litres par jour, comme doit le faire un athlète de haut niveau qui s'entraîne plusieurs heures, il n'y aura aucun problème, ni au niveau de la production d'urée, ni au niveau de son élimination.

Didier SEYFRIED : Quelles peuvent être les conséquences psychophysiologiques de la prise ou de la perte de poids sur la performance ?

Agnès MOURIER : En ce qui concerne la perte de poids, on s'est beaucoup intéressé à la quantifier et à déterminer ses limites. Au sujet des études hormonales et à la lecture de la bibliographie de ces dix dernières années, les travaux ont été axés essentiellement sur les facteurs physiques.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Il n'y a pas de données sur les effets hormonaux des régimes. Les études menées sur des sports à catégorie de poids ne sont pas nombreuses. La performance a été bien étudiée et l'effet endocrinien des « weight cycling » de ces régimes fait l'objet de notre étude actuellement.

Didier SEYFRIED : Que faut-il penser de cette technique encore largement utilisée qui consiste à ne plus s'alimenter deux à trois jours avant une compétition pour perdre les quelques derniers kilos ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Quand un organisme est à jeun, il est en fait dans le même état que s'il avait subi un exercice physique prolongé.

Agnès MOURIER : Ce qu'il faut déjà dire à ceux qui utilisent cette technique, c'est qu'ils ne disposeront pas de la totalité de leur capacité. Je connais des lutteurs qui perdent jusqu'à 10 % de leur poids de corps en une semaine. C'est énorme et catastrophique, car cette perte excessive de poids se traduit par une baisse de la performance qui peut atteindre 30 à 40 %. En réalité, il faudrait leur faire admettre que perdre environ un kilo par semaine est déjà un « bon programme » et qu'ils doivent prendre leur temps pour « faire le poids ». Cela signifie aussi qu'ils doivent se fixer des objectifs bien précis, suffisamment espacés dans le temps pour leur permettre de faire deux périodes de six semaines de régime, avec perte d'un kilo par semaine, périodes entre lesquelles ils pourront s'entraîner et reprendre leurs kilos. Ils seront ainsi dans de bonnes conditions pour aborder et « terminer » chaque combat et chaque compétition.

Éric JOUSSELLIN : Dans les sports à catégorie de poids, le meilleur moyen pour ne pas faire de régime est de rester toute l'année dans les limites de poids de la catégorie à laquelle on appartient. Pour des problèmes d'entraînement, de disponibilité, de rapport poids/puissance, les athlètes resteront proches de la limite supérieure de la catégorie et n'auront que peu de poids à perdre. Ceux qui pensent, et ils sont nombreux, qu'ils seront meilleurs dans la catégorie inférieure à la leur auront du mal à gérer correctement cette perte de poids, car elle sera de toute façon excessive.

Didier SEYFRIED : Des baisses de performance se traduisent-elles avec la même acuité dans une discipline cyclique et aérobie comme l'aviron ? Observe-t-on des baisses de performance de même nature ? Si oui, comment réglez-vous le problème ?

Éric JOUSSELLIN : Avant de laisser la parole à Eberhart Mund, je dirai un mot sur la baisse de la performance en aviron. J'ai pu observer, aux championnats du monde, des pertes de poids de sept à huit kilos en moins de huit jours. Dans les équipes nationales, on voyait du coup diminuer, lors des stages, la performance à l'ergomètre, au fur et à mesure de l'amaigrissement. La règle des poids légers en aviron veut que la moyenne de poids des équipiers d'un bateau soit de 70 kg pour les hommes, avec un maximum de 72,5 kg, et de 57,5 kg pour les femmes, avec un maximum de 59 kg. La seule mesure que nous pouvions adopter était de ne sélectionner que les « poids légers naturels », c'est-à-dire éliminer ceux qui ne se maintenaient pas dans les limites d'une surcharge pondérale de trois à quatre kilos par rapport au poids réglementaire (73-74 kg pour les hommes, 59-60 kg pour les femmes).

Eberhart MUND : En aviron, il y a trois nouvelles disciplines olympiques dans la catégorie « poids léger » et le problème de la gestion du poids se pose bien évidemment. Il est clair qu'un sportif qui perd beaucoup de kilos en une semaine n'est pas performant. Il est clair également qu'il existe deux sortes de « poids léger » : le vrai « poids léger » et le faux « poids léger », qui correspond aux rameurs de poids intermédiaire ayant l'obligation de perdre plusieurs kilos. Jusqu'à présent, les rameurs qui obtiennent les meilleurs résultats en « poids léger » sont ceux qui font partie de cette deuxième catégorie. Perdre du poids par des entraînements de musculation intenses ou encore par la pratique d'autres sports tout en suivant un régime durant toute l'année s'avère peu efficace.

Didier SEYFRIED : Abordons, à présent, le second volet de notre discussion. Les compétitions de haut niveau peuvent engendrer, en plus des problèmes métaboliques, des stress émotionnels se traduisant sur le plan endocrinien, par des ajustements susceptibles d'influencer la performance. Pouvons-nous discuter des faits rencontrés en compétition dans les différentes disciplines sportives et envisager des recommandations pratiques aux entraîneurs et aux athlètes ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Oui, il existe des sports où la dépense énergétique est minime et où la contrainte psychologique est majeure. Dans ces sports, le stress a d'abord une composante « anxiété ». Le tir en est un bon exemple car, les jours de stress, on observe une désorganisation de la motricité fine des extrémités, qui se traduit par des tremblements périphériques. Le sujet qui oscille faiblement en conditions normales se met à osciller fortement sous l'effet du stress. De plus, en temps normal, le tireur met seulement en jeu, dans le geste du « lever du bras », les unités motrices « spécifiques ». Cela se traduit par une activité électromyographique faible. Sous l'effet du stress, celle-ci devient majeure, c'est-à-dire que, pour lever le bras, il fait intervenir le deltoïde et tous les dorsaux. Pour appuyer sur la détente avec son doigt, au lieu de mettre en jeu uniquement les fléchisseurs de l'index, il met en jeu les muscles de l'avant-bras. Dans quelle mesure les régulations endocriniennes ou métaboliques peuvent combattre ce stress ?

Les premières études ont montré que, lorsqu'on donne des bêtabloquants et que l'on bloque les catécholamines, on limite les effets du stress. Alors quelle relation y a-t-il entre la régulation motrice et la sécrétion des catécholamines ? On sait au départ que les catécholamines à haute dose modifient l'état de stress. Le blocage est-il central ou périphérique ? Pour les catécholamines, le blocage n'est probablement pas périphérique, parce que la plaque motrice est cholinergique et non catécholaminergique. Le blocage est donc central et tout facteur qui modifie le système nerveux central risque de modifier la composante du stress et la composante motrice.

Didier SEYFRIED : Cela va dans le sens de certaines préparations mentales, qui font correspondre une commande centrale avec la régulation du stress. Pierre Pesquiès, on imagine les charges mentales et le stress de vos pilotes en préparation de combat, à qui l'on confie des engins hypersophistiqués, sachant de plus qu'il faut les économiser tous les deux (l'homme et l'avion). La gestion de telles charges mentales s'envisage-t-elle de la même façon que pour des situations sportives à hautes contraintes émotionnelles ?

Pierre PESQUIÉS : Je précise que, dans le domaine de l'aéronautique, on ne fait pas que s'entraîner, on sélectionne. Essayer de limiter le stress est extrêmement délicat et Charles-Yannick Guezennec a suffisamment insisté là-dessus. L'hormone est un message. Vouloir modifier les messages « simplement », sans agir sur les efférences, est un non-sens ; c'est comme si on cassait le thermomètre parce qu'on a de la température. Autrement dit, régler le stress en agissant sur ce que l'on voit ne changera rien. Au contraire, vous allez vous priver d'un certain nombre d'informations et vous aurez des effets pervers sur les autres efférences, qui risqueront d'être plus préjudiciables à la performance que l'élément principal. Alors, c'est vrai que lorsque vous parlez de préparation mentale, le concept peut apparaître comme séduisant, mais

quels en sont les mécanismes ? Il est certain que la gestion comportementale de l'individu est peut-être l'approche qui me paraît la moins pernicieuse, dans le cas présent, en dehors d'une sélection rigoureuse.

Didier SEYFRIED : Nous savons que, dans des sports à hautes contraintes émotionnelles, comme le tir au pistolet ou à l'arc, les entraîneurs et les sportifs cherchent à développer la capacité à mettre la dernière flèche ou la dernière balle en plein dans le mille, lorsque tout le poids de la compétition repose sur la réussite ou l'échec de cette dernière situation. Ces sportifs d'élite, qui présentent un palmarès parfois exceptionnel et dont on dit qu'ils sont des « murs », craquent en effet parfois au point de faire, dans des disciplines à motricité fine, des fautes dignes de débutants à l'entraînement. Ne peut-on pas dire que, pour gérer les contraintes émotionnelles, il faut sélectionner les sportifs et les entraîner à surmonter des situations stressantes ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Il y a une situation en aéronautique qui est identique au tir au pistolet mais, dans ce cas, on n'assiste pas le sujet, on l'élimine. J'ai eu la chance de me retrouver dans une mission en biplace, donc derrière, dans un Jaguar, pour un vol de qualification. Trois élèves pilotes devaient passer leur qualification ravitaillement en vol pour rester « escadre de chasse ». Pour réussir, ils doivent se positionner sous le Boeing ravitailleur et mettre le nez de leur avion dans la perche, ce qui n'est déjà pas simple, puis, au fur et à mesure que l'avion prend du poids, ils doivent maintenir cette position avec trente centimètres de débattement, le tout à 1 000 km/h. La main droite posée sur la manette des gaz et la gauche sur le manche à balai, ils procèdent par petits ajustements successifs avec, vous l'imaginez, un niveau de stress et de charge mentale impressionnant. Ils avaient tous les trois parfaitement réussi l'épreuve avec le simulateur sur lequel ils s'étaient entraînés, mais où ils n'étaient pas notés. En vol, deux se sont parfaitement comportés mais le troisième, plus émotif, n'a jamais pu maintenir le nez de son appareil dans la perche du Boeing : au fur et à mesure que celui-ci se déchargeait, ce pilote se désorganisait au niveau de ses extrémités. Il a été éliminé et, pourtant, c'était celui qui avait le mieux réussi à l'entraînement sur simulateur. En situation de stress, il s'était désorganisé.

De la même façon, on sait parfaitement que certains sportifs « pètent les plombs » en compétition. Or, en aéronautique, ils sont éliminés, alors qu'en sport, on les garde, parce qu'on pense toujours trouver le petit truc qui leur permettra de sauver la dernière balle ou la dernière série. On emploie volontairement le mot « pression » pour marquer le poids que joue la charge émotionnelle dans la perturbation des circuits moteurs sous-jacents et elle existe dans tous les sports. Ainsi, en escrime, un sujet peut tout réussir à la leçon et, le jour de la compétition, quand il monte sur la piste et se branche, perdre une partie de sa régulation fine. On dira alors de l'escrimeur qu'il « tourne large », parce que le contrôle cortical l'a emporté sur le contrôle sous-cortical. En fait, ce phénomène dépend de la personnalité de chaque sujet. Première attitude : on constate et on essaie d'y remédier, autrement dit : « Comment déconnecter le haut du bas ? ». On est encore loin de savoir le faire. Deuxième attitude : on en fait une donnée de sélection, c'est plus simple et plus rassurant.

Merry SAINT-GÉNIÈS : Je ferai juste une remarque sur les sports à risques en me référant à la gymnastique. On a comparé les sports dits « acrobatiques » aux pratiques aéronautiques. Il est vrai que la concentration doit être travaillée en vue de la compétition. Mais les difficultés rencontrées par certains athlètes ou pilotes sont liées aussi à l'apprentissage du mode de concentration. La question qui se pose pour nous et qui se rapporte à la biologie et aux apports nutritionnels est donc celle des acquis moteurs. Avec des gymnastes de talent (compétitifs ou débutants), aptes à avoir une pratique gymnique de haut niveau, compte tenu de leur valeur physique et morale, se pose le problème des entraînements au quotidien. Tous les jours, nous prenons des risques en gymnastique, à chaque instant le sportif peut mal tomber et devenir paraplégique. Il faut donc se dépasser en permanence et, par conséquent, s'épuiser physiquement et psychologiquement. Charles-Yannick Guezennec montrait tout à l'heure dans son exposé que les facteurs physiques et psychologiques étaient liés. Quelles sont les approches que vous pouvez nous proposer sur

le plan des équilibres, tant nutritionnels que minéraux ? Est-ce que l'on peut réfléchir à ces problèmes et fixer des limites au départ qui permettront à l'athlète de mieux s'exprimer à l'entraînement pour acquérir un certain niveau ? Quelle aide pratique peut nous apporter le médecin dans la conduite quotidienne de l'entraînement ? Faut-il donner des sels minéraux, de la vitamine C ou des vitamines E ou B et, si oui, à quels moments du programme d'entraînement, comment et à quelle fréquence ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Le problème des acquis moteurs m'intéresse depuis de nombreuses années. Les ethnologues comme Konrad Lorenz ont observé l'apparition rapide d'une empreinte motrice dans un comportement acquis (motricité), aboutissant presque à une topographie neuronale. Le problème est pédagogique : lorsqu'on apprend un geste sportif, on crée très rapidement un réseau neuronal, une empreinte motrice. L'exemple de l'escrime et celui de la gymnastique sont concrets : lors de l'apprentissage d'un élément de base ou d'une parade de sixte, on crée une empreinte motrice. Dès l'origine, la qualité de celle-ci sera déterminante et je fais l'hypothèse que plus cette empreinte motrice sera économe, réductrice sur le plan des voies neuronales et musculaires mises en jeu, plus on aura un geste simple au départ. Pour arriver à produire le geste, on mettra en jeu le plus petit nombre possible de connexions neuronales et d'unités motrices. Le geste pourra être réglé simplement et sa répétition ultérieure sera simple. Mais alors, que se passe-t-il en cas d'organisation complexe ? Au début, on donnera des éléments unitaires d'activité motrice puis, après, dans une situation complexe, on va lui demander de les enchaîner les unes derrière les autres. Chaque unité sera simple sur le plan de sa connexion et de sa mise en jeu et, *a priori*, la réalisation du geste sera peu perturbée par les associations centrales (je rappelle que ce sont seulement des hypothèses personnelles). Mais cela équivaut à dire que plus l'apprentissage initial d'un geste moteur complexe est fait de gestes simples facilement perçus par le sujet, plus il aura de chances de se répéter de manière automatique. Viennent ensuite des problèmes du genre :

- est-ce que la charge émotive des premières séances a joué un rôle ?
- est-ce que le fait d'avoir, par exemple en escrime, un environnement sensoriel externe différent de celui de la leçon est important ?
- quel rôle joue la relation éducateur-éduqué ?

Bref, il existe une grande quantité de facteurs agissant sur la boucle motrice et on crée donc une empreinte. Quelle preuve en a-t-on ? Un athlète qui présente un défaut technique au début de sa carrière le conservera tout le temps. Quand un nageur a un défaut au niveau du bras, au bout de six mois, de vingt ans de natation, il présentera toujours le même défaut. Il pourra le corriger momentanément, sans doute à force de travail, mais il aura du mal à l'éliminer. Quand un escrimeur prend un défaut dans les six premiers mois de sa pratique, c'est « foutu » car, « quand il aura les plombs qui sautent », il retrouvera le même comportement. Je reconnais que nous sommes loin de l'endocrinologie, mais c'est quelque chose qui me passionne : dans l'apprentissage du geste sportif, comme chez l'enfant au début de la carrière sportive, on crée très précocement une empreinte motrice qui perdurera toute la vie de l'athlète.

Didier SEYFRIED : Je souhaiterais maintenant que l'on revienne aux contraintes spécifiques engendrées par le sport de haut niveau, que ce soit à l'entraînement, avant, ou pendant une compétition. Dans son exposé, Charles-Yannick Guezennec nous a montré des cinétiques d'hormones témoins d'un certain désordre lors de l'activité et de la récupération. Comment l'entraîneur doit-il régler cette récupération, à quel moment doit-il reprendre l'entraînement et quels sont les moyens dont il dispose ? Eberhart Mund, comment optimiser les processus de récupération ?

Eberhart MUND : Le problème de la récupération est un problème très complexe, car il n'y a pas d'entraînement sans récupération et il existe plusieurs types de récupération. En aviron, sport cyclique, par exemple, on récupère entre deux coups d'aviron, pendant la phase de glisse, et pendant l'entraînement,

entre les séquences de travail. Une autre séquence de récupération très importante est celle que nous faisons après chaque course : deux à trois kilomètres à très basse cadence et à très faible intensité. Et puis il existe la récupération passive : le sommeil, l'hygiène de vie quotidienne, les massages et l'alimentation. Il faut donc optimiser tous les facteurs d'un bon entraînement, et particulièrement toutes les possibilités offertes par l'alimentation et la récupération. L'objectif n'est pas seulement d'être performant, mais surtout de réaliser sa meilleure performance le jour de la compétition ultime. La phase d'entraînement terminale est toujours très fatigante et c'est la raison pour laquelle il faut en effet ménager une phase de récupération avant la compétition, afin que l'athlète s'y présente sans fatigue.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Une série de travaux a été publiée l'an dernier dans *Medicine Science of Sport* à propos des effets du désentraînement des sportifs sur la performance (repos pendant trois jours, une semaine et même dix jours). La conclusion de ces travaux est qu'un athlète supporte très bien le désentraînement et que le problème est beaucoup plus un problème d'anxiété que de performance. Ainsi, on ne constate pas de changement des valeurs du VO_2max chez des sujets ayant arrêté de s'entraîner pendant une certaine période.

Didier SEYFRIED : Peut-on avoir une idée qualitative de la périodicité travail-récupération utilisée dans les sports cycliques ? Comment envisagez-vous le modèle charge-décharge et comment le mettre en pratique ?

Eberhart MUND : Il n'est véritablement possible de gérer efficacement la charge de l'entraînement que lors des stages de préparation, car c'est seulement dans ces moments-là que l'athlète est disponible. Mais plus généralement, on a deux jours de charges très intenses, avec un troisième jour « plus calme » et une demi-journée de repos par semaine. Toute l'année, nous adoptons un rythme de deux à trois semaines de ce régime, suivies d'une semaine de repos.

Didier SEYFRIED : Je crois que l'on envisage le même modèle pour la plupart des sports cycliques, dans lesquels la part du métabolisme aérobie est importante. Que peut-on dire des activités plus complexes, comme la gymnastique, pour laquelle on dit qu'après deux jours d'inactivité sur un agrès, « tout est à recommencer » ?

Merry SAINT-GÉNIÈS : L'idée qui reste toujours présente chez l'entraîneur est, qu'après un arrêt, il faut reprendre l'entraînement au niveau acquis. Il est vrai aussi que l'on a constaté que des phases d'arrêt plus ou moins longues sont bénéfiques au niveau des schémas moteurs. Même au bout de trois semaines d'arrêt, une gymnaste qui remonte sur l'agrès fait quelque chose d'excellent, mais temporairement, parce que la qualité motrice a régressé. C'est la raison pour laquelle, sur la base de mon expérience pratique, l'entraînement doit être continu dans des sports comme la gymnastique, continu mais pas linéaire. Il existe, comme dans l'aviron, des cycles de préparation au cours desquels nous alternons la préparation physique avec des préparations psychologiques. Un long arrêt ne détruit pas la connaissance, mais l'aptitude à la répéter. Et en gymnastique, quoi qu'on en dise, il faut répéter pour être performant. C'est peut-être là-dessus que nous disons qu'il y a tout à refaire, sur l'aptitude à répéter.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Je voudrais parler des travaux faits sur des sports moins complexes que la gymnastique, notamment la course. On s'est aperçu que, lorsqu'un sportif fait un travail de type « intervalle » et qu'il termine sur une fraction chronométrique donnée, il adopte spontanément la vitesse de course de la dernière séance. La dernière impression motrice reste alors comme une mémoire à court terme et on pense que c'est dû à des facilitations neuronales.

Jacques PERSONNE : Quelles sont les conséquences d'un entraînement intense sur le retard des règles chez les jeunes filles prépubères et sur la conservation du statut osseux quand on sait que, chez la femme, la densité osseuse s'accroît vers la puberté ?

Charles-Yannick GUEZENNEC : Si j'ai bien compris votre question, vous voudriez savoir si la pratique sportive va modifier la densité et le taux en sels minéraux de l'os. Il existe une méthode récente, l'absorption biphotonique, utilisée à Paris, qui commence à fournir des données sur les adultes jeunes qui font leur service militaire. Selon mon confrère Bernard, de Toulouse, on observe des différences de contenu minéral osseux entre dix-huit et vingt ans, qui trouvent leur origine plutôt dans la situation socioprofessionnelle que dans l'entraînement.

Pierre PESQUIÈS : La grande inquiétude concernant les séjours dans l'espace était le risque de déminéralisation et on pensait qu'il existait une date fatidique à partir de laquelle la déminéralisation était irrémédiable, ce qui semblait condamner d'emblée les séjours de longue durée. Or, les informations accumulées par les Soviétiques incitent à penser qu'il faut nuancer et qu'il existe quand même des possibilités importantes d'adaptation et de récupération chez l'homme. Vous avez aussi abordé tout à l'heure le problème du statut osseux et des hormones. Or, on sait maintenant qu'il est possible de limiter la déperdition calcique par des apports pharmacologiques ou diététiques. Par conséquent, il semble que tout ne serait pas un problème d'hormones.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Lorsqu'on met un organisme au repos (cf. l'expérimentation sur le « rat suspendu »), il s'atrophie au niveau musculaire, osseux et tendineux. Il faut alors lui donner du temps pour récupérer. Ce qui est intéressant, c'est que l'on pensait jusqu'à présent que seul le muscle s'atrophiait. En réalité, tout s'atrophie de la même manière. Le collagène devient moins élastique, il se déshydrate et, au bout du compte, le muscle va probablement récupérer plus vite que les structures osseuse et tendineuse.

Éric JOUSSELLIN : Quand il y a une pathologie infectieuse ou traumatique, il faut une période de récupération. Or le sportif, à partir du moment où il se sent bien, est persuadé qu'il peut recommencer et ne respecte pas, lors de l'entraînement, la montée en charge progressive étalée sur quelques jours, voire sur quelques semaines (cela dépend évidemment du temps d'arrêt et du type d'entraînement). S'il reprend au niveau où il en était resté avant sa blessure ou sa maladie, il va aggraver le problème. Vous observez tous, en tant qu'entraîneurs, ces fameuses périodes de récupération, compensation, surcompensation et ainsi de suite. C'est une observation, au départ, totalement empirique de l'entraîneur. Pourquoi ? Parce que vous vous apercevez qu'il est impossible pour un athlète d'être performant tous les jours, pendant toute la semaine, pendant toute l'année.

Finalement, on a abouti à ces fameux cycles d'entraînement, qui peuvent être des micro- ou macrocycles sur quelques jours, sur quelques semaines, sur quelques années, pendant lesquels il y a des périodes effectivement de montée en charge de la puissance et des périodes de récupération obligatoire. La réponse de l'entraîneur à une baisse de performance est très souvent : « Va voir le médecin, il va te dire ce qui ne va pas ! ». Mais, la plupart du temps, nous n'avons pas la réponse parce qu'il n'y a rien de médical et que c'est seulement un problème d'adaptation au programme de l'entraînement. Il faut alors adapter l'entraînement à chaque individu : diminuer la charge ou augmenter la récupération. Vous ne pouvez pas, du jour au lendemain, prendre en charge un individu que vous n'avez jamais vu et que vous ne connaissez pas.

C'est un des problèmes que rencontrent les entraîneurs nationaux, lesquels doivent adapter progressivement l'entraînement collectif et individuel à une charge d'entraînement qui soit compatible pour tout le monde.

Didier SEYFRIED : Je voudrais revenir sur le problème du stress mental et savoir si, sur le plan scientifique, on peut prévoir par des profils de neurotransmetteurs (marqueurs) que tel athlète tend à être perturbé à l'approche de la compétition. Faire un dosage sérotonine, dopamine et noradrénaline peut-il alors être utile ?

Pierre PESQUIÈS : Je dois avoir maintenant près de vingt-cinq ans de carrière de chercheur derrière moi et la question posée aujourd'hui ressemble point par point à celle que l'on me posait déjà quand j'étais un jeune assistant et à laquelle je prétendais répondre. Je crois que, pour l'instant, c'est plutôt l'approche comportementale qui devrait essentiellement nous guider : l'œil de l'entraîneur est beaucoup plus discriminant, aujourd'hui, que nos moyens de recherche.

Didier SEYFRIED : Nous avons fait des études avec Charles-Yannick Guezennec sur le tir au pistolet, pour lequel les sportifs avaient des taux de glycémie de dix millimoles avant une compétition. On a fait des essais d'utilisation de sucres pour rétro-réguler l'hormone hyperglycémiante et il semblerait que cela marche parfois. N'y aurait-il pas d'autres recherches à mener dans ce sens ?

Éric JOUSSELLIN : Pierre Pesquiès a dit tout à l'heure que le jeune médecin est persuadé, le jour où il s'installe dans son laboratoire, qu'il va trouver la solution à tous les maux des sportifs. Certains médecins affirment « avoir trouvé » la molécule, le marqueur biologique, qui va leur permettre de dire : « Il y a ceci ou cela ». Rappelez-vous, il y a environ une dizaine d'années, à partir de quoi les effets du surentraînement étaient-ils mesurés en France ? À partir du tracé électrocardiographique, c'est-à-dire l'aspect électrique de votre cœur. On s'est aperçu par la suite, avec l'apparition de l'échocardiographie, que ces affirmations étaient assez éloignées de la vérité. Il faut donc savoir faire le tri et nuancer ce que vous avez observé au niveau de la glycémie.

Charles-Yannick GUEZENNEC : Il y a un proverbe, vieux comme le monde, qui dit : « Qui dort dîne ». Vous savez que les gens, après un bon repas, vont parfois faire un petit somme. Cela n'a surpris personne pendant des millénaires jusqu'à ce que des gens s'y intéressent, et notamment l'équipe de Nicolas Idis, qui a montré que, chez le rat, on pouvait parfaitement induire le sommeil par une alimentation hyperglucidique. Et Gabert a révélé que c'était l'insuline qui était hypnogène, bien que ne passant pas la barrière céphalique. Maintenant, on sait que le fait d'augmenter le taux d'insuline à la périphérie fait monter l'insuline cérébrale et que le rat va avoir sommeil. Première donnée d'observation : l'organisme est bien fait ! Le rat vient de manger, il a été obligé de faire des réserves. Il se met donc en repos moteur et fait une glycogénèse.

Sur le plan comportemental, on sait aussi qu'il existe une relation entre l'anxiété et l'appétit. Ainsi, lorsqu'un organisme est dans une situation anxiogène, il développe un appétit spécifique pour les glucides. Ce phénomène a été vérifié lors de l'Admiral Cups : quand les marins avaient eu un quart difficile, qu'ils avaient eu froid, qu'ils étaient stressés ou qu'ils avaient à faire un choix de navigation important, ils se précipitaient, au changement d'équipe, sur des aliments glucidiques, puis faisaient un petit somme. Ceci a été constaté dans d'autres circonstances, notamment dans le cas de l'obésité. Dans le comportement de l'obèse, il y a une composante psychologique : ce sont des gens anxieux, qui ont des problèmes relationnels et qui sont plus sensibles au stress. Ils vont se faire un petit plaisir en mangeant un petit truc sucré, ils vont stocker les surplus et ainsi de suite.

Donc, on peut supposer qu'il existe chez l'athlète une relation entre la recherche d'aliments glucidiques, l'effet déstressant immédiat, la mise en réserve et la vigilance, relation qui pourrait éventuellement être utilisée dans la gestion des contraintes psychologiques de l'athlète.

Mais ce sont des hypothèses qu'il est difficile de vérifier, car il n'existe aucun moyen de mesurer le stress. La plus fine mesure, à l'heure actuelle, est l'imagerie au niveau du cerveau qui permet de mettre en évidence les zones activées lors d'une activité motrice ou cognitive globale. Mais on ne sait pas faire de mesure fine. Donc, prudence ! Didier Seyfried a raison : la relation entre l'apport nutritionnel, l'appétit spécifique et les comportements à court terme qui en découlent est à étudier.

Hubert TISAL : Didier, tu mets le doigt sur le problème concernant l'application sur le terrain des données obtenues en laboratoire. Le médecin chargé de travailler avec les entraîneurs voudrait pouvoir

appliquer ces données, mais il existe tellement de différences entre les sports que cela est impossible à réaliser. Cependant, de grandes règles se mettent peu à peu en place à partir de ces informations. Malheureusement, sur le terrain, il y a un écart énorme entre l'application de ces théories et la gestion de la préparation d'un athlète. Je voudrais prendre un exemple simple : un athlète de sport de combat devant se préparer pour une compétition doit gérer le problème de son poids, et éviter le surmenage et le stress du combat. Je sais que certains préfèrent être dans une ambiance avec beaucoup de bruit et s'entraîner jusqu'au dernier moment. Pour d'autres, il leur faut s'isoler et se concentrer dans les derniers jours. Que faire ? Je ne sais pas.

Éric JOUSSELLIN : Les médias français mettent en avant le fait que le sportif français rencontre souvent l'échec au moment des grandes échéances. Moi, j'ai eu l'impression, en encadrant des équipes, que ce n'était vrai que chez certains individus. Je ne me suis jamais permis de généraliser ceci à l'ensemble des sportifs français. Je voudrais savoir si, en tant qu'observateur extérieur, Eberhart Mund a remarqué le même problème.

Eberhart MUND : La presse et les médias sont toujours sévères avec un sportif en situation d'échec. Le problème, en France, est que nous avons affaire à des athlètes de haut niveau, que je qualifierais d'un peu trop « sages », car nous avons peu de problèmes de comportement et de discipline. En Allemagne, j'avais des problèmes de discipline, mais en compétition, les athlètes avaient un comportement adapté à la haute compétition : ils étaient combattifs. La performance en compétition est du ressort du sportif. Plus que les échecs systématiques que vous avez évoqués, c'est le mental qui me paraît faire défaut aux sportifs français.

Didier SEYFRIED : Le temps qui était imparti à ce débat est désormais épuisé. Eberhart Mund, puisque vous avez la parole, puis-je vous demander de conclure ?

Eberhart MUND : Vous comprendrez que je m'abstienne de m'aventurer dans la synthèse de tout ce que nous venons de débattre depuis plus d'une heure. La conférence de Charles-Yannick Guezennec nous a montré combien il était primordial d'être attentif à la connaissance de tous ces phénomènes qui conditionnent l'entraînement à la compétition. Et, plus généralement, je dirai que l'accession au plus haut niveau de performance ne peut plus se faire sans l'apport de tous les éléments extérieurs qui viennent enrichir les potentiels de l'athlète et de l'entraîneur. Certes, il faut savoir utiliser toutes les ressources que les sciences, la technologie ou simplement la pratique mettent à notre disposition, mais il ne faut surtout pas oublier que la performance en compétition est du seul ressort du sportif. C'est lui qui est engagé dans l'action, et de la même manière que l'on admet qu'il y a des limites physiques, il y a des limites mentales. Celles-ci ne peuvent être dépassées, même avec l'aide d'un psychologue. Plus que les conduites d'échec systématiques qui ont été évoquées, ce sont ces potentiels psychologiques qui me paraissent prioritaires pour accéder au podium olympique, et ce sont ces mêmes potentiels qui font encore défaut aux rameurs français dont j'ai aujourd'hui la responsabilité.

LISTE DES INTERVENANTS

L'auteur :

Charles-Yannick GUEZENNEC est ancien chef du département de physiologie de l'Institut de médecine aéronotique. Il a également travaillé au Centre de recherche du service de santé des armées. Les thèmes de recherche poursuivis concernaient l'endocrinologie de la fatigue, la prévention de l'atrophie musculaire des vols spatiaux et la nutrition pour les activités physiques en milieu extrême.

Il est actuellement (2010) directeur du Pôle de médecine du sport de l'Essonne, au Centre national du rugby. Ce centre réalise les examens médicaux des athlètes de haut niveau et participe aux thèmes de recherche de la Fédération française de rugby.

Docteur Éric JOUSSELLIN

Médecin-chef du département médical de l'INSEP

Agnès MOURIER

En thèse de doctorat au département de physiologie systémique IMASSA-CERMA (Brétigny-sur-Orge)

Eberhart MUND

Directeur de l'équipe de France d'aviron

Jacques PERSONNE

Professeur d'EPS retraité

Docteur Pierre PESQUIÈS

Ancien directeur de la division de physiologie métabolique et hormonale du CERMA (Brétigny-sur-Orge)

Conseiller scientifique Sandoz-France

Rédacteur en chef de la revue Science et Sport

Patrick RIFFAUT

Conseiller technique régional athlétisme

Merry SAINT-GÉNIÈS

Directeur de l'équipe de France féminine de gymnastique

Didier SEYFRIED

Laboratoire de physiologie de l'INSEP

Docteur Hubert TISAL

Département médical de l'INSEP, médecin de la Fédération française de karaté