

EAU ET HYDRATATION

Le 27 janvier 1999

{ Denis RICHE in Guide nutritionnel des sports d'endurance }

INTRODUCTION.....	2
1. DESHYDRATATION ET PERFORMANCE.....	4
2. LA COMPENSATION HYDRIQUE.....	7
3. LA THERMOREGULATION ET LES PERTES HYDRIQUES.....	8
<u>3.1 L'eau favorise la construction cellulaire.....</u>	<u>10</u>
4. MODULATION DES PERTES SUDORALES.....	11
<u>4.1. Osmose et osmolarité.....</u>	<u>13</u>
5. MODALITES DE REHYDRATATION.....	14
<u>5.1. Stratégie d'hydratation.....</u>	<u>15</u>
6. DESHYDRATATION ET CALCULS RENAU.....	16
EN RESUME.....	17

INTRODUCTION

Avec la présentation de ce nutriment, nous abordons ceux qui, bien que ne délivrant aucune énergie, n'en revêtent pas moins un rôle crucial dans le fonctionnement de notre organisme. L'eau en constitue le composant le plus important sur le plan quantitatif : elle représente, chez un individu de corpulence moyenne, 70% du poids du corps. Bien évidemment, chez un sujet plus gras ce pourcentage chute un peu.

Dans le cas d'un athlète de 70 kg dont l'adiposité est inférieure à 15%, sa masse d'eau présente dans son corps est de $70 \times 70\% = 49$ kg.

Or, malgré cette prépondérance, notre corps tolère très mal une perte dépassant quelques pourcentage de ce précieux capital. La soif, mécanisme très finement régulé au repos, et la prise compensatoire de boissons, interviennent pour restaurer l'équilibre hydrique.

Au-delà de l'aspect quantitatif, il nous faut insister sur les multiples rôles plastiques (qualitatifs) joués par l'eau : elle intervient en effet dans la structure des tissus et permet la présence d'un environnement chimique optimal pour le déroulement de la plupart des processus physiologiques. Ainsi l'activité des enzymes ne peut s'exercer que dans des conditions particulières et précises de salinité, de température, d'acidité et surtout d'hydratation.

En cas de déficit en eau, les réactions s'effectuent moins bien et ceci explique, par exemple, que les crampes surviennent plus aisément en situation de déshydratation, en raison de la moindre efficacité des enzymes impliqués dans la contraction des fibres.

Par ailleurs, le sang comporte un compartiment liquide, le plasma, et si son volume chute l'ensemble des tissus en pâtit ; l'apport d'énergie aux cellules s'effectue moins bien, et pour un effort donné le cœur travaille davantage. De plus, le plasma effectue le drainage des déchets libérés par les tissus. Certains d'entre eux ne doivent pas s'accumuler en raison de leur relative toxicité pour les cellules. Peu solubles ils peuvent se déposer lorsqu'un déficit en eau existe. Ceci explique qu'on incrimine la déshydratation comme l'une des principales causes aux tendinites. La survenue de calculs rénaux constitue une autre complication de la déshydratation.

Un déficit en eau, qu'il soit chronique en raison d'une hydratation insuffisante, ou limité à l'exercice physique, favorise l'apparition de deux complications majeures : les tendinites et les calculs rénaux.

Chez les sportifs, l'eau joue un autre rôle crucial puisqu'elle sert de liquide de refroidissement. L'émission de sueur, nommée la sudation constituant l'un des moyens les plus efficaces dont notre organisme se trouve doté afin de lutter contre la chaleur. Pour cette raison, tout déficit hydrique peut perturber la thermorégulation, c'est-à-dire l'ensemble des processus permettant de minimiser l'élévation de la température corporelle.

L'eau figure en fait dans deux secteurs bien distincts de notre organisme :

- Dans les tissus : on parle à ce propos d'eau cellulaire. Elle correspond à peu près aux 3/4 de l'eau corporelle, ce qui représente environ la moitié du poids d'un homme. Elle y permet le bon déroulement des réactions chimiques, et régit les mouvements de minéraux et de l'ensemble des particules en solution (osmose et osmolarité). Elle préside également à la mise en réserve du glycogène. 2,7 g d'eau accompagnent chaque gramme de glucose stocké. Cette eau de réserve sera libérée au fur et à mesure en cours d'activité lorsque le glycogène sera dégradé.

□ Dans les liquides baignant les tissus : on parle alors d'eau extra-cellulaire. Il s'agit notamment du plasma sanguin, du liquide céphalo-rachidien (celui qui baigne le cerveau et la moelle épinière), des sécrétions glandulaires et digestives ou du liquide synovial, le lubrifiant de nos articulations. L'eau est le solvant où circulent de multiples substances, nommées les solutés, parmi lesquels se rangent les minéraux.

Leur répartition dans l'organisme se révèle très caractéristique. Ainsi dans le sang prédominent le chlore (Cl) et le sodium (Na), c'est-à-dire du chlorure de sodium, le sel de table. Dans les cellules par contre, on rencontre d'abord du potassium (K).

Exemple :

On va évaluer la quantité d'eau mise en réserve avec le glycogène chez un athlète de 70 kg et d'adiposité inférieure à 12%. D'après les estimations publiées, il disposerait de 16 kg de muscles au niveau des jambes. Or la saturation en glycogène correspond à une teneur de 40 g/kg, ce qui signifie que la quantité de glucides ainsi stockés atteint 16×40 soit 640 g.

Chaque gramme de glycogène est mis en réserve avec 2,7 g d'eau, ce qui représente un stock hydrique de $2,7 \times 640$ soit 1,72 l.

Une partie de l'eau corporelle est quotidiennement perdue. Les quantités disparues et l'importance respective des différentes voies d'élimination peuvent fortement varier selon les conditions et les individus. Interviennent ainsi pour en moduler l'ampleur :

- l'alimentation,
- la température ambiante et l'hygrométrie,
- la prise éventuelle de substances dotées d'une action diurétique (caféine, alcool),
- l'activité physique,
- le stress.

Les pertes s'effectuent par les urines, les selles, la respiration et la sudation, voie d'élimination présentant la plus grande variabilité. Cette dernière s'explique par l'intervention de la sudation dans les processus de thermorégulation (voir chapitre 3). On estime l'élimination urinaire à environ 1,5 l par jour.

Une hydratation insuffisante peut abaisser ce chiffre, et au contraire une ingestion d'eau exagérée ou la prise de diurétiques peuvent le multiplier de façon spectaculaire. On estime par exemple que les participants aux concours de buveurs de bière de Bavière urinent plus de 10 l par jour, sous l'effet conjugué de l'hyperhydratation et de l'action de l'éthanol.

Les autres voies d'élimination conduisent à une perte de :

- 100 ml environ par les selles (davantage si on ingère une alimentation riche en fibres, puisqu'elles augmentent l'hydratation des fèces).
- 500 ml par les poumons. Il s'agit d'une dissipation minimale sous forme de vapeur d'eau. On en néglige souvent l'importance, si ce n'est en altitude ou dans le froid où cette forme d'élimination devient alors visible. Lors d'un séjour en altitude (où l'air est plus sec) ou à l'occasion d'un effort physique, les pertes d'eau sous forme de vapeur peuvent dépasser ce chiffre moyen.

- 400 ml au minimum par la transpiration au repos. Cette valeur peut vous paraître exagérée, mais au repos l'eau perdue par la transpiration est vaporisée au fur et à mesure, elle ne ruisselle pas, et on n'a donc pas conscience de l'existence de ce processus.

Deux situations majorent fortement ces pertes. Il s'agit d'une part de l'activité physique, et d'autre part de l'exposition à la chaleur. Evidemment, l'accomplissement d'une activité musculaire dans un climat chaud expose à une élimination record. Une activité intense, chez un sujet bien entraîné, peut conduire à une sudation supérieure à 3 l/heure dans certaines conditions. Une étude a ainsi cité le cas du marathonien américain Alberto Salazar, qui lors d'entraînements préparatoires aux JO de Los Angeles, destinés à développer son adaptation à la chaleur, pouvait perdre jusqu'à 3,5 l par heure. Même à une température extérieure de 10 °C, le débit sudoral peut dépasser 1 l/heure, ce qui excède largement ce qu'on imagine perdre dans ces conditions. On chiffrera précisément ce débours en procédant à une pesée avant puis après la séance.

La différence correspondra aux pertes hydriques et indiquera quel volume minimal apporter en compensation. Le qualificatif minimal tient compte du fait que juste après l'effort une surhydratation temporaire peut contribuer à une meilleure récupération. Le formule suivante permet de déterminer cette quantité d'eau indispensable.

Poids avant (P1)

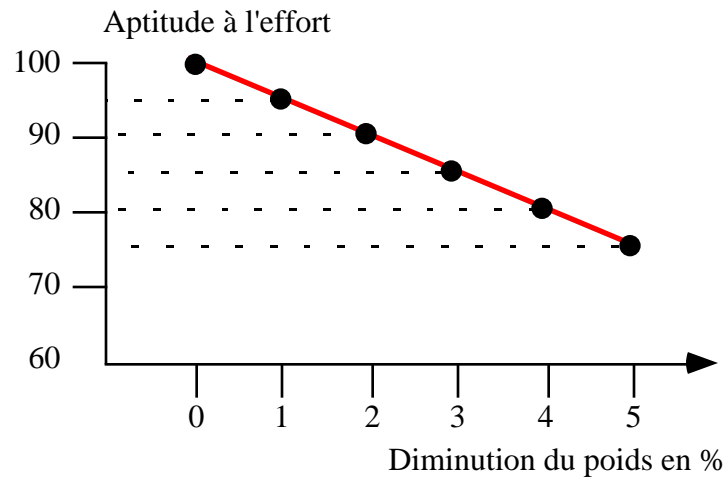
Poids après (P2)

$$\% \text{ de perte} = (P1 - P2) \times 100/P1$$

Au total chez un individu peu actif, les pertes hydriques journalières atteignent environ 2,5 l. Chez un sportif, elles peuvent doubler, voire tripler dans des situations exceptionnelles. L'écart de poids relevé entre le début et la fin de la séance renseigne précisément le sportif sur son déficit hydrique.

1. DESHYDRATATION ET PERFORMANCE

Tout déficit en eau, autrement dit toute déshydratation, peut influencer de façon négative le déroulement de processus physiologiques et plus particulièrement, en ce qui nous intéresse, peut abaisser les aptitudes physiques. On lit fréquemment qu'un déficit en eau correspondant de 2% du poids du corps réduit les aptitudes de 20%, et que la diminution représente 30% du potentiel lorsque la déshydratation correspond à une perte équivalente à 5% du poids corporel. Ces chiffres reposent sur des données relativement anciennes, ce qui n'empêche pas qu'on continue à s'y référer régulièrement.



Déshydratation à l'effort

En fait, les pertes hydriques de l'organisme se distribuent en proportions variables entre les liquides extra-cellulaires et l'eau tissulaire. L'impact de ce déficit sur nos aptitudes dépend de la prédominance de l'un ou l'autre des compartiments ; ainsi, la diminution du volume plasmatique qui accompagne la déshydratation peut fortement altérer les capacités physiques. Ceci s'explique par la nécessité de maintenir une irrigation suffisante au niveau des muscles ainsi qu'un apport sanguin correct au niveau cutané, où ce sang participe aux processus de refroidissement. Quand le volume plasmatique chute, ces impératifs ne se voient plus satisfaits. Par contre un déficit cellulaire modéré affecte moins les possibilités athlétiques. Les proportions respectives de l'eau tissulaire et de l'eau extra-cellulaire éliminées demeurent-elles toujours constantes, ou au contraire fluctuent-elles selon les conditions ? Pour le savoir, il convient de s'attarder sur l'origine de la sueur. Elle provient de glandes situées à la surface de la peau et qualifiées de sudoripares. Ces cellules captent l'eau éliminée directement dans le plasma.

Quand on sue, on élimine d'abord de l'eau plasmatique.

Si on émet d'abondantes quantités de sueur, on conçoit fort bien que le volume sanguin va diminuer, ce qui va affecter le bon déroulement des processus de refroidissement. A titre de compensation, une partie de l'eau tissulaire quitte les cellules. Ceci s'explique par la production de dérivés du métabolisme, dont le transfert vers le sang s'accompagne d'un mouvement d'eau simultané et de même sens, régenté par les lois de l'osmose (voir chapitre 4.1). Les pertes hydriques vont donc finalement porter sur les deux compartiments d'eau corporelle. Toutefois, à l'occasion d'efforts très soutenus ou accomplis en ambiance thermique défavorable, d'énormes volumes de sueur sont éliminés dans un délai très court, et ce mécanisme compensatoire tarde à se mettre en route, et dans ce cas l'eau est majoritairement fournie par le plasma. Les possibilités se trouvent alors davantage affectées, jusqu'à ce que l'athlète devienne "adapté" à la chaleur, situation particulière au cours de laquelle la tolérance à celle-ci se révèle meilleure. Autre situation aboutissant à la prédominance de l'origine sanguine : les efforts en anaérobie.

Lorsque l'acide lactique s'accumule dans les tissus ils l'expulsent moins bien, et en raison des mêmes processus d'osmose que précédemment, il y séquestre une plus grande quantité d'eau. Il s'agit d'une des explications en cause dans le phénomène des cuisses lourdes, ressenties quand on démarre trop fort un exercice.

Dans la plupart des situations, la disponibilité en eau constitue le facteur limitant à l'effort, et en l'absence d'hydratation en cours d'activité la déshydratation va survenir.

Boire en cours d'effort réduit le risque de déshydratation.

Cela ne suffit pas forcément : lorsque la température atteint un stade avancé, il se produit une réduction du volume sanguin, qui provoque une baisse de l'irrigation digestive.

L'assimilation des fluides va alors se réduire, ce qui aggrave le déficit et il va s'instaurer une sorte de cercle vicieux accompagné de troubles gastro-intestinaux consécutifs à la mauvaise assimilation des boissons.

Un autre problème s'ajoute aux précédents : en cours d'effort, le sportif se montre incapable de correctement ajuster sa prise de boisson. La soif ne constitue plus, dans ce contexte, un indicateur fiable des besoins en eau de notre organisme. Cette perte de fiabilité résulte de mécanismes pour l'essentiel encore méconnus. De plus, d'autres facteurs (délai d'assimilation, nature du produit ingéré), accroissent encore la latence entre la perte d'eau et la réponse correctrice apportée. Une relative déshydratation existe toujours à l'effort, mais il convient de s'astreindre à un régime d'hydratation approprié pour limiter l'ampleur de ce déficit. Lors d'efforts accomplis plusieurs jours consécutifs dans la chaleur, on constate que le volume de boisson ingérée à l'effort augmente progressivement. Un travail mené sur 5 jours consécutifs a ainsi révélé que de 400 ml/heure lors de la première session, il passait à plus d'un litre le dernier jour, ce qui a permis de limiter l'ampleur de la déshydratation. Les ingestions débutaient en outre plus précocement en cours d'activité. Ingérer de tels volumes dans le cadre d'efforts soutenus apparaît cependant délicat, de sorte que l'instauration d'un déficit hydrique à l'effort semble souvent inévitable.

A l'effort, la soif survient toujours trop tard. Il faut se forcer absolument à boire avant les premiers signes de soif.

On a vu que la dégradation du glycogène et, à un moindre degré celle des lipides, pouvaient progressivement libérer de l'eau lors de l'activité. Peut-elle partiellement suppléer à la déshydratation ? Le calcul qui suit montre qu'il s'agit seulement d'un processus d'appoint, qui n'exempte absolument pas de boire en cours d'activité.

Exemple :

Un exercice à allure soutenu et de plus d'une heure épuise à environ 80% les réserves de glycogène. Dans le cas d'un athlète de 70 kg, la quantité initialement disponible est de 640 g. La quantité dégradée se chiffre donc à : $0,80 \times 640 = 512$ g. L'eau qui était stockée simultanément correspondait à $2,7 \times 512 = 1382$ ml d'eau. Une partie de cette eau reste dans les muscles, compte tenu de l'effet osmotique créé par les déchets formés. On peut estimer qu'environ 50% de l'eau métabolique demeure disponible pour le plasma sanguin et les glandes sudoripares, ce qui correspond à $1382 : 2 = 691$ ml.

Chez un sportif courant 90 minutes et perdant 1 litre de sueur par heure, cette production ne compense pas la déperdition hydrique.

2. LA COMPENSATION HYDRIQUE

Compte tenu de l'importance de l'eau et des répercussions de son déficit, il est indispensable de compenser le plus vite possible et le plus complètement possible les pertes occasionnées par les diverses activités de la journée. Ce sont les boissons et les aliments ingérés tout au long des 24 heures qui le permettent. Du fait que les sportifs évaluent souvent de manière imprécise leur déficit en eau, le report précis des ingestats de la journée permettra une mesure fiable de la quantité d'eau effectivement ingérée. Une bonne estimation sera fournie par la prise en compte des boissons, évidemment, ainsi que des aliments dont la teneur en eau est élevée. Ils figurent dans le tableau ci-dessous. Il s'agit essentiellement de végétaux et de laitages.

Aliment	Eau
Légumes	90%
Jus de fruit	90%
Lait	85 à 90% (selon le % de MG)
Fruits	85%
Yaourt, fromage blanc	80 à 90 % (selon le % de MG)

Exemple :

Voici ce que donne ce type d'enregistrement chez un athlète masculin de 60 kg, un jour d'entraînement :

Aliment	Eau
Légumes	1 500 ml
Fruits et légumes 500 g	460 ml
Café	300 ml
Jus de fruit	200 ml
Yaourt : 1	120 ml
Lait : 1/8	100 ml
TOTAL	2 680 ml

3. LA THERMOREGULATION ET LES PERTES HYDRIQUES

Lors d'un exercice musculaire, l'organisme produit une plus grande quantité d'énergie dont 75 à 80% sert à fournir de la chaleur. Or, notre organisme ne fonctionne de façon optimale que dans une étroite marge de températures, la vie ne se révélant possible que si la température du noyau central (les parties profondes de l'organisme), reste entre 35 et 42 °C. Il s'agit d'une des caractéristiques de notre statut d'homéotherme. Au-delà de 39,5 °C, l'installation de la fatigue centrale limite la poursuite de toute activité alors qu'au-dessus de 42 °C la mort par hyperthermie menace. Toute augmentation de la température cérébrale est perçue par des groupes de cellules qui détectent les variations et constituent des sortes de capteurs. L'information réceptionnée gagne un centre particulier du cerveau, et celui-ci va alors mettre en œuvre une série de réponses destinées à préserver la température corporelle. On en observe principalement deux :

- un déclenchement de la sudation,
- un accroissement du débit sanguin cutané qui permet de dissiper la chaleur du corps vers le milieu environnant.

On sait que tout effort soutenu s'accompagne d'une abondante libération d'adrénaline. Or cette hormone, parmi ses multiples actions, stimule la sudation.

C'est en fait la vaporisation de la sueur qui fait éliminer de la chaleur. L'eau qui ruisselle sur la peau ne refroidit pas l'organisme.

Ce processus joue un rôle protecteur essentiel. Retenez qu'il faut 0,83 kcal pour élever de 1 °C la température d'un kg de notre corps. Pour un individu de 60 kg, cela correspond à près de 49 kcal.

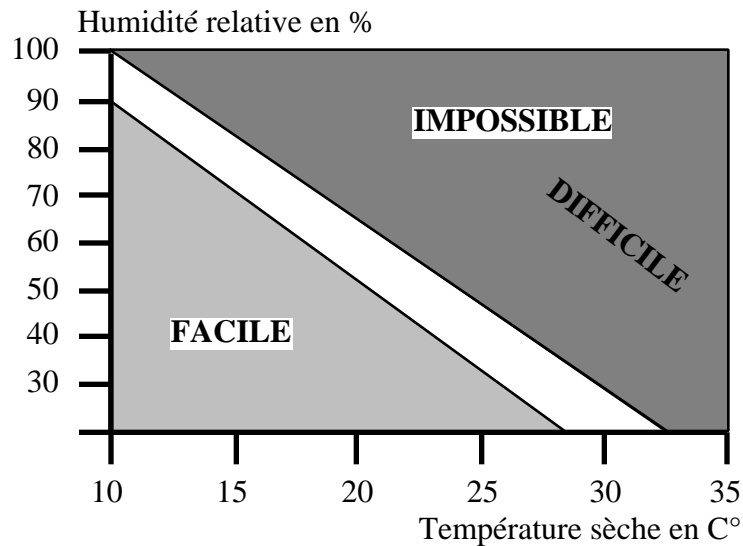
Supposons maintenant que nous ne disposions pas de système de refroidissement. Que se passerait-il au bout d'une heure d'effort en ambiance tempérée ?

Exemple :

Un coureur de 70 kg couvre 15 km, ce qui correspond à une dépense calorique de 1050 kcal. 80% de cette énergie est dissipée sous forme de chaleur. La quantité d'énergie ainsi dissipée se chiffre à $0,80 \times 1\ 050$ soit 840 kcal.

L'élévation de la température corporelle atteindrait alors $840 : 70 \times 0,83$ soit 14,4 °C. Il serait mort bien avant d'avoir achevé le parcours.

En cours d'effort, la sudation permet d'éliminer presque entièrement ce surcroît de chaleur, mais cette élimination se verra gênée par des températures extérieures très élevées, une humidité importante, ou un important rayonnement de chaleur par le sol. Ces trois éléments interviennent simultanément, de manière complexe, et ceci explique qu'aux Etats-Unis on ait élaboré des tables permettant de définir la facilité avec laquelle un individu pourra éliminer la chaleur produite



Déperdition de chaleur à l'effort (courbe de refroidissement de F. Peronnet)

Comment la vaporisation de la sueur contribue-t-elle au refroidissement ? Si nous comparons ce qui se passe dans notre organisme à ce qui se déroule dans le moteur d'un véhicule en mouvement ; la chaleur y est transportée de l'endroit où elle est produite (les pistons) jusqu'au radiateur qui la dissipe grâce au liquide de refroidissement. Un processus similaire se déroule dans notre corps. Les muscles produisent la chaleur, le sang la transporte vers la peau, d'où elle est transférée dans l'environnement. On a précisément chiffré la contribution de la sueur : à chaque litre évaporé, ce sont 580 calories qui échappent au stockage.

Voyons ce que cela signifie de manière concrète.

Exemple :

Un coureur de 70 kg couvre 15 km en aérobic strict en une heure. La dépense énergétique de cette séance se chiffre donc à $70 \times 15 = 1050$ kcal. 80% servent à produire de la chaleur soit $1050 \times 0,8 = 840$ kcal.

Si cette athlète perd un litre de sueur, évaporée au cours de la sortie, la quantité de chaleur stockée n'est plus que de $840 - 580 = 260$ kcal.

Or 0,83 kcal permettent d'élever la température d'un kilogramme du corps de 1 °C.

Ceci signifie que notre athlète verra le mercure s'élever de $260 : (70 \times 0,83)$ soit 4,5 °C.

Bien que nettement inférieure à la valeur théorique calculée précédemment (14,4 °C), il s'agit encore d'un phénomène dangereux. En réalité la température montera beaucoup moins, du fait que d'autres processus de dissipation de la chaleur interviennent également.

Lorsqu'on écrit que la vaporisation d'un litre de sueur permet d'éliminer 580 kcal, un doute peut s'emparer de l'esprit de certains. Une bonne suée fait-elle maigrir ? Il n'en est rien. La différence de poids relevée entre le début et la fin de la séance correspond principalement, comme on l'a vu plus haut, à de l'eau. Quant aux 580 kcal en question, elles signifient simplement qu'on évite la surchauffe de l'organisme, mais il ne s'agit pas d'un surcroît de calories qu'on dépenserait en plus de celles générées par l'activité physique. Dans l'exemple ci-

dessus, l'heure de course fait dépenser 1 050 kcal, et ce qu'on sue ou non. Ce qui change, c'est simplement la façon dont 80% de cette énergie produite va être dissipée.

Un athlète qui sue ne dépense pas plus d'énergie qu'un autre qui reste sec. Par contre, il dissipe de cette manière davantage de chaleur pour assurer son homéothermie.

Le phénomène de sudation ne peut pas se poursuivre indéfiniment. A mesure qu'on élimine de l'eau, et si on n'en apporte pas suffisamment en compensation, un déficit s'instaure. Le corps ne dispose plus d'assez d'eau pour maintenir un débit de sudation correct. Il se trouve alors face à un dilemme : faut-il aggraver la déshydratation pour préserver la température corporelle, ou doit-il accepter une relative surchauffe pour conserver un volume plasmatique minimal ? C'est la seconde solution qui s'impose, d'autant que le déficit en eau s'accompagne d'une augmentation de la teneur en solutés. Comme une soupe trop riche en vermicelles et manquant d'eau, le sang contient, dans ces conditions, une trop grande quantité de particules dissoutes. On dit alors qu'il se trouve en état d'hyperosmolarité (voir chapitre 4.1). Cette situation de raréfaction de l'eau bloque elle aussi le processus de sudation, pour préserver l'irrigation des tissus nobles.

Un individu déshydraté possède un sang trop concentré. Cette anomalie bloque la sudation. Sans apport d'eau, la surchauffe menace alors.

Notons enfin que dans ce contexte, en l'absence d'apport hydrique approprié, certaines hormones à action catabolique voient leur taux s'élever à l'effort, et cette élévation se poursuit plus longtemps en phase de récupération, ce qui contribue à épuiser l'organisme et à rendre plus délicat tout autre effort prévu dans un délai rapproché. La prise d'eau et de glucides en cours d'activité permet de réduire cette activité destructrice. Le maintien de l'hydratation cellulaire apparaît d'ailleurs de plus en plus, aux yeux des spécialistes, comme un élément capital de l'intégrité cellulaire (voir chapitre 3.1).

3.1 L'eau favorise la construction cellulaire

Plusieurs scientifiques ont suggéré que l'état d'hydratation de la cellule assurait le contrôle du renouvellement des protéines après l'effort. Plusieurs arguments viennent à l'appui de cette théorie : les synthèses se caractérisent par un état de gonflement des cellules, alors que le catabolisme survient sur des cellules dont le volume s'est réduit.

Le gonflement cellulaire agit comme un signal de déclenchement des processus anaboliques et l'inverse, à savoir le rôle prépondérant du rétrécissement cellulaire dans le catabolisme, semble aussi accepté. En fait, l'état d'hydratation cellulaire est principalement déterminé par la façon dont les échanges de minéraux, les entrées et les sorties de nutriments s'effectuent. Les hormones, les déchets formés à l'effort, le statut énergétique des tissus et les stress mécaniques peuvent évidemment perturber le bon agencement de ces processus et modifier l'orientation métabolique du tissu. On sait ainsi que la plupart des substances qui exercent une action anabolique favorisent l'entrée d'eau dans la cellule. On comprend l'extrême importance d'une hydratation correcte en cours d'activité et dans les heures qui y font suite.

4. MODULATION DES PERTES SUDORALES

Divers facteurs déterminent le volume de sueur libéré lors de la réalisation d'un effort donné :

- Les qualités athlétiques de l'athlète interviennent : lors d'efforts sous-maximaux, le débit (autrement dit les quantités émises par les glandes en un temps donné) est lié à VO_2 max, en d'autres termes au niveau athlétique ou à la cylindrée de l'athlète. Ceci signifie qu'un sujet qui dispose de possibilités athlétiques supérieures élimine une plus grande quantité de sueur, sans doute parce qu'il produit davantage de chaleur en un délai donné.
- L'ampleur des pertes sudorales dépend également de l'intensité relative de l'effort. Elles atteignent un niveau supérieur lorsqu'on effectue un effort à 80% du maximum comparativement à ce qu'on observe à seulement 70%. Pour des intensités encore plus élevées (85% et au-delà), contexte où la capacité de l'organisme à émettre de la sueur est sollicitée au maximum et va décider de son bon refroidissement, le moindre changement de condition climatique (hausse soudaine de température, passage orageux avec une hygrométrie qui grimpe) peut avoir des conséquences très néfastes : on peut soudainement se trouver en surchauffe et la température corporelle va grimper en dépit de pertes sudorales très élevées. Il s'agit d'une situation décrite dans le milieu du demi-fond, lors de meetings estivaux. Dans un tel cas, l'activité doit obligatoirement se ralentir.

La discipline pratiquée décide en partie de l'ampleur de la sudation : bien que prédominante dans de nombreuses situations, la vaporisation de la sueur ne constitue pas le seul processus dont dispose le corps humain pour dissiper la chaleur. On a vu qu'en fait, lorsqu'on entreprend une activité, 80% de l'énergie produite part sous forme de chaleur. La sudation permet d'en éliminer, en moyenne 35 à 40%. L'air expiré contribue à hauteur de 10% à ce processus dans des conditions normales. Restent deux autres phénomènes qui participent au complément. Il s'agit de la convection, qui correspond au refroidissement associé aux turbulences d'air provoquées par le corps en mouvement, et de la conduction, qui consiste en un échange de chaleur entre deux corps ou un corps et l'air, portés à des températures différentes. Son importance dépend à la fois de l'écart de température et du caractère conducteur ou isolant du milieu où se trouve le corps.

Ainsi, un nageur qui se déplace dans une eau à 22 °C perd 7 fois plus de chaleur que lorsqu'il se trouve dans un air à température comparable. Ceci tient à la nature beaucoup plus conductrice de l'élément aqueux. Ceci explique pourquoi un marathonien maigre a rapidement froid dans une eau à 20 °C, alors que dans un air à température comparable il ne risque jamais de grelotter lors de son entraînement.

- Autre particularité, celle du cyclisme : ses adeptes se déplacent à une vitesse nettement supérieure à celle des coureurs à pied. Il s'ensuit que la résistance à l'air s'accroît mais, par la même occasion, la convection se trouve elle aussi majorée. Une plus grande quantité de chaleur se trouve ainsi éliminée au contact de l'air chez les cyclistes. Ainsi, alors que courir un marathon par une température de 30 °C s'avère extrêmement difficile, les cyclistes confrontés à la même condition climatique évoluent quant à eux avec une relative aisance. Il s'ensuit que, à effort égal, les cyclistes suent moins que les athlètes (car ils évacuent plus de chaleur par

échange thermique avec l'air) et que les nageurs régulent également mieux leur température corporelle. Notons, cependant qu'ils se montrent sujets à une forte sudation au niveau du cuir chevelu, et qu'on a déjà décrit des cas de compétiteurs perdant plus de 700 ml d'eau en une séance. La compensation hydrique demeure donc une priorité quelle que soit la discipline.

- Le port d'équipements intervient : en hiver, le fondeur qui porte plusieurs épaisseurs de vêtements fait rapidement monter sa température corporelle et arrive à perdre beaucoup d'eau par la transpiration sans pour autant éviter la surchauffe puisque cette eau ne se vaporise pas beaucoup. Il s'y ajoute une importante perte hydrique par la ventilation (due à l'air froid et sec). Or il s'agit d'une discipline où la compensation hydrique s'effectue de moins en moins, surtout à haut niveau, et cette mauvaise habitude conduit indiscutablement à la multiplication de blessures et à une récupération plus difficile. Autre particularité : l'onction de crèmes solaires peut, en cas de chaleur estivale, amoindrir la sudation et ainsi favoriser le coup de chaleur. Pensez donc que, sauf exposition prolongée au soleil, on ne doit pas envisager de s'entraîner et de bronzer en même temps. De toute façon, courir ou pédaler torse nu favorise moins la déperdition calorique que si on revêt un maillot, tout simplement parce que la peau absorbe davantage de chaleur alors que les vêtements clairs et aérés aident à en éliminer le maximum.
- Enfin, l'habitude d'évoluer en ambiance chaude influe sur les mécanismes de refroidissement en jeu. Il s'agit de processus en partie héréditaires, mais également liés aux données géographiques. On peut contourner cette difficulté avec un programme d'adaptation à la chaleur. Cette aptitude se caractérise par une diminution de la température de la peau pour un effort donné, ce qui signifie que le muscle transfère mieux la chaleur produite vers la peau et que celle-ci la dissipe plus aisément. L'adaptation à la chaleur constitue donc, en termes de performance, un plus. Ceci mérite qu'on s'intéresse à la façon dont on s'adapte spécifiquement aux ambiances chaudes. Plusieurs possibilités existent. La première suggère de s'exposer à la chaleur quelques heures par jour, plusieurs jours par semaine, alors que d'autres recommandent d'effectuer de temps en temps une séance très intense dans une ambiance thermique neutre. Il s'est ainsi avéré que le travail en intervalle-training, qui stimule au maximum les processus de production d'énergie, participe à l'adaptation à la chaleur. On peut évidemment mixer les deux approches ou encore imaginer une exposition passive à la chaleur, par exemple de s'étendre sur une plage méditerranéenne en début de congés, ou encore l'entreprise régulière de séances de sauna. Il n'en résultera cependant pas tout à fait les mêmes phénomènes que dans le cas d'un effort effectué dans le chaud, l'exposition passive à la chaleur mobilisant davantage l'eau du plasma.

Combien de temps faut-il compter pour qu'un sportif soit adapté à la chaleur ? La localisation des derniers JO à Atlanta a suscité de nombreuses études sur cette question.

Il en ressort qu'il faut compter de 10 à 14 jours pour obtenir de bons résultats, mais que 80% des adaptations s'effectuent au bout de seulement 7 jours, ce qui signifie que sur de courts délais on peut déjà rencontrer des athlètes réagissant bien à la chaleur. Les caractères génétiques et les origines géographiques jouent certainement un grand rôle dans cette tolérance immédiate. On sait également que les effets de l'adaptation persistent pendant une durée variable après retour dans un climat tempéré, et qu'une réexposition ultérieure s'accompagnera d'une

adaptation bien plus rapide. Par contre, tout déficit hydrique avant l'effort annule totalement les effets de l'adaptation.

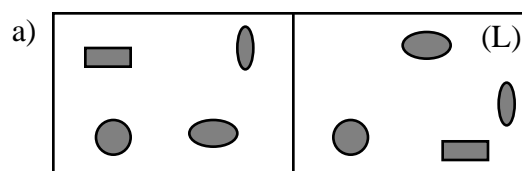
Précisément, comment se manifeste-t-elle ? Un sujet adapté émet une sueur plus diluée, et mobilise moins d'eau des tissus pour fabriquer celle-ci. En conséquence, le volume plasmatique est mieux préservé, et le travail cardiaque s'accroît moins. La température de la peau est également plus basse, ce qui traduit une dissipation plus facile de la chaleur stockée à ce niveau. Enfin, la sudation se déclenche à une température corporelle plus faible : le plan d'urgence est mis en œuvre plus tôt, avant que la situation ne soit trop grave sur le plan thermique.

4.1. Osmose et osmolarité

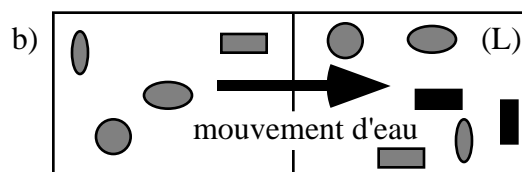
Le terme osmose désigne "le mouvement des molécules de solvants à travers une membrane vers une région où se trouve une concentration plus élevée d'un soluté (c'est-à-dire un composé en solution) à laquelle la membrane est imperméable".

On appelle osmolarité d'une solution la quantité de particules actives occasionnant un mouvement d'eau. Celle-ci migre du compartiment doté de la plus forte osmolarité vers celui où elle est la plus faible. Théoriquement, ce transfert durerait jusqu'à ce que les deux osmolarités s'égalisent. Celles-ci dépendent donc directement du nombre de molécules libres en solution. Par exemple, un polymère à dix molécules de glucose possède la même osmolarité qu'une molécule libre de glucose. Cette caractéristique rend avantageux l'emploi de polymères dans les boissons pour sportifs puisque cela permet de fournir une boisson riche en glucide mais néanmoins hypo ou isotonique. Que signifient ces termes? Une boisson isotonique possède une osmolarité égale à celle du plasma sanguin. Lorsque l'osmolarité du liquide dépasse celle du plasma, on parle d'hypertonie et, dans le cas contraire, d'hypotonie.

Comment la pression osmotique des solutions perturbe-t-elle les mouvements d'eau ? Lorsqu'une boisson plus hypertonique que les liquides organiques pénètre dans les intestins, le phénomène décrit plus haut se produit : de l'eau passe des tissus vers l'intérieur des intestins jusqu'à égalisation des osmolarités.



Cellule intestinale



La cellule se déshydrate

L'osmose :

- a). Isotonie : on trouve le même nombre de particules dans un volume donné.
- b). Hypertonie : le liquide (L) renferme davantage de particules. La cellule intestinale va libérer de l'eau pour égaliser la "force" osmotique des deux solutions. Le nombre de particules (indépendamment de leur poids) en solution, détermine les mouvements de liquide de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Ceci constitue le phénomène d'osmose.

5. MODALITES DE REHYDRATATION

Compte tenu de l'impérieuse nécessité de prévoir les déficits occasionnés par une activité peut-on, à l'instar des glucides ou des lipides, envisager de stocker de l'eau avant une compétition ? On a longtemps considéré qu'une telle mise en réserve était impossible, notamment parce que toute modification de l'osmolarité ou du volume plasmatique déclenchent une série de réponses correctrices visant à restaurer la situation initiale. Un récent travail a cependant suggéré qu'en doublant les apports en eau une semaine avant une rencontre, on pouvait doter des footballeurs d'une plus grande quantité d'eau tissulaire, et ce en dépit d'un accroissement des pertes urinaires. Qu'en penser ? D'une part, ces sportifs étaient certainement, à l'origine, sous-hydratés. D'autre part, l'usage veut, dans ce sport, qu'on donne systématiquement des rations riches en glucides les veilles et les avant-veilles de matches. Or on a vu que la formation du glycogène s'accompagne d'une mise en réserve supérieure d'eau, et la situation d'hyperhydratation proposée à ces joueurs a certainement optimisé ce processus. Enfin, on a montré que les modalités d'entraînement de cette discipline (beaucoup de séquences brèves maximales et du travail en anaérobie) constituent des stimuli favorisant l'augmentation du volume plasmatique dans un bref délai. Ce processus se trouve lui aussi optimisé par la prise massive d'eau. Pour résumer cette étude, accroître l'apport hydrique avant une compétition ne permet pas de stimuler un improbable mécanisme de stockage méconnu, mais optimise tout simplement l'ensemble des phénomènes qui surviennent en réponse à l'entraînement, et auxquels un travail quotidien intensif ne laisse pas le temps de survenir complètement.

Augmenter les apports hydriques durant les trois derniers jours avant une épreuve favorise tous les processus de mise en réserve de l'eau dans nos tissus.

Cela étant posé, il convient de savoir en quoi consiste une hydratation normale. Une vieille règle qui a fait ses preuves souligne qu'il faudrait apporter un minimum de 7 ml d'eau par g de protéines fournies par la ration. La plupart des athlètes consommant 2 g de protéines par kg, on peut formuler ce conseil différemment :

Connaissant votre poids, il vous suffit de le multiplier par 14 pour définir vos apports hydriques journaliers minimaux (en ml).

Exemple:

Un cycliste pèse 65 kg. Il aura besoin de boire un volume d'eau minimal de $14 \times 65 = 940$ ml.

S'y ajoute l'apport rendu nécessaire par l'ingestion de glucides en vue de fabriquer le glycogène. On compte 2,7 ml/g, soit pour une ration moyenne à 450 g de glucides : $2,7 \times 450 = 1\ 215$ ml.

Comptons encore les besoins hydriques consécutifs à l'entraînement. L'apport à réaliser pendant et après la séance impose une fourniture comprise entre 500 et 1000 ml par heure.

Cette série de calculs montre que le sportif devra ingérer au minimum 3 l de liquide les jours où il s'entraîne ce qui, même en tenant compte de ce que délivrent les aliments, nécessite la prise quotidienne d'au moins 2,5 l de boisson.

La répartition devra privilégier l'entraînement, la récupération, le début de journée, et on boira de préférence davantage en dehors des repas. Ce dernier conseil répond à deux objectifs :

- Eviter de diluer les sucs digestifs (ce qui reste à démontrer de façon formelle) et ne pas rassasier prématurément.
- Obliger à instaurer une véritable stratégie d'hydratation. Pour s'hydrater correctement, il faut certainement boire régulièrement à distance du déjeuner ou du dîner.

Faut-il morceler à l'excès la prise de boisson ? L'estomac a l'aptitude de se détendre beaucoup, et de se vider d'autant plus facilement que ses parois sont dilatées. Ce processus s'observe autant au repos qu'à l'effort, et en cours d'activité on pourrait en théorie avaler sans problème jusqu'à 700 ml de liquide à l'heure. Au repos, cette procédure du coup unique pose un problème : l'arrivée massive de liquide peut diluer le plasma sanguin et provoquer le déclenchement d'une réponse compensatoire au niveau rénal : on urinerait l'excédent d'eau jusqu'à restauration de l'isotonie plasmatique.

Les participants aux concours de buveurs de bière ont tous expérimenté ce mécanisme physiologique correcteur.

5.1. Stratégie d'hydratation

Il est recommandé :

- Matin : eau, jus de fruit et boisson chaude (500 à 700 ml).
- Matinée : 2 à 3 verres d'eau ou d'autre boisson.
- Repas du midi : 1 à 2 verres de boisson.
- Après-midi : 1 bol de boisson chaude ou un jus de fruit et un verre d'eau.
- Soir : 1 à 2 verres à table.
- Coucher : 200 ml de boisson.

Si on fait une forte consommation de thé, de café ou de bière, on rajoutera un demi-verre par tasse de boisson ou un verre d'eau par canette ingurgitée pour compenser l'effet diurétique de ces breuvages.

De plus :

- On prévoira 300 à 500 ml par heure d'entraînement (selon les conditions) et un grand verre juste au départ, et 250 à 500 ml en récupération selon les conditions.

Les jours de compétition :

- On avalera de 500 à 1 000 ml de boisson lors des 3 heures qui précèdent le départ.

Que boire en compétition ? Avaler de l'eau ne suffit pas. Pour le comprendre, il faut se souvenir que le ravitaillement répond à un double objectif :

- réhydrater,
- apporter des glucides.

Or il ressort des nombreux travaux conduits sur ce thème que les boissons les plus vite assimilées et compensant le mieux les pertes hydriques sont celles contenant des glucides et du sodium, et classées comme isotoniques ou hypotoniques. Par contre, les solutions hypertoniques s'assimilent moins bien et occasionnent des troubles digestifs, et l'eau pure n'est pas supérieure aux solutions hypotoniques, loin de là. Pourquoi ? Tout simplement parce que la présence conjointe de glucose et de sodium à des taux appropriés améliore l'entrée de l'eau dans les cellules intestinales, puis leur passage dans le sang.

Ainsi, à volume fourni égal, il y a supériorité des boissons hypotoniques.

La façon dont on va boire en cours d'activité va constituer un compromis entre les différentes difficultés posées :

- Lors d'activités intenses, on peut difficilement boire en raison du débit ventilatoire extrêmement élevé. Avaler un gobelet revient alors, dans ce cas, à s'asphyxier et perdre le contact avec les autres concurrents. Parfois la prise de ravitaillement se heurte à des difficultés techniques (les bâtons au ski) ou occasionnera des éructations ou une gêne abdominale, qui dissuaderont l'athlète de boire au risque de se déshydrater.
- Les efforts intenses provoquent une diminution de l'irrigation digestive, qui complique le processus d'absorption. Ce phénomène se manifeste particulièrement à partir de 70-75% de VO_2 max.
- La nature des glucides ingérés influence le déroulement du processus d'assimilation.
- L'osmolarité des produits choisis la module également.
- La température des solutions intervient : autour de 10-12 °C l'assimilation se révèle la plus rapide.
- La séquence des prises et les volumes avalés à chaque fois jouent aussi : plus on remplit l'estomac et plus il se vide facilement, et ce jusqu'à 700 ml.

La démarche la plus efficace consiste à boire à intervalles réguliers de 10 à 15 minutes des bolus de 100 ml d'une boisson glucidique hypotonique, à température douce, qu'on prendra le soin de déglutir lentement.

En récupération, on continuera à consommer des préparations hypotoniques, tout simplement parce que l'irrigation du tube digestif requiert un certain délai avant de revenir à la normale.

6. DESHYDRATATION ET CALCULS RENEAUX

On sait que la déshydratation favorise la survenue de tendinites, conduit à l'hyperthermie et affecte les performances. Mais elle expose également, à long terme, à une autre forme de complication, qui touche plus particulièrement les coureurs à pied : les calculs rénaux (encore nommés lithiases dans le milieu médical). La sensibilisation à ce problème remonte à 1977, lorsqu'une étude entreprise dans le cadre du marathon de New

York fut consacrée à la fréquence de cette pathologie. Publiée 4 ans plus tard, elle révéla que les cas de calculs rénaux étaient 5 fois plus nombreux chez les marathoniens qu'au sein de la population générale, pour laquelle l'incidence est de 2% environ. Les athlètes concernés (1/10) ne se répartissaient pas de façon aléatoire au sein du peloton, mais cumulaient au contraire des caractéristiques fortement suspectées de favoriser cette pathologie. Il s'agissait ainsi des coureurs dont la pratique s'étendait sur la plus longue période, qui couvraient le plus gros kilométrage à l'entraînement, qui se rangeaient parmi le 1/3 le plus rapide de l'effectif, et se révélaient les moins enclins à boire à l'effort. Comme par hasard, on rencontrait davantage d'athlètes, dans ce groupe, dont l'urine présentait une couleur colorée, témoignant d'une destruction de globules rouges à l'effort. L'onde de choc, la déshydratation et la chaleur combinaient leurs effets pour occasionner cette anomalie. Pour les auteurs de cette équipe, l'interprétation des données s'est révélée d'une grande clarté : la répétition d'épisodes de déshydratation affecterait, à terme, la fonction rénale de ces sujets. A l'appui de leur théorie, ils rappellent dans leur publication que sur 10 miles pédestres, le déficit hydrique peut atteindre 1,6 l l'hiver et 2,6l l'été... chiffres suffisants pour affecter l'irrigation rénale. Ils se font également l'écho d'une ancienne observation due au corps médical de la Marine Royale, indiquant que les calculs frappaient 4 fois plus lorsque les soldats se trouvaient en poste aux tropiques (climat provoquant d'importantes pertes hydriques sudorales), comparativement à ceux restés sur le sol d'Angleterre.

Chez les marathoniens, l'acidification progressive de l'organisme aggrave la situation.

Une compétition existe au niveau rénal entre les différents déchets acides, et elle s'exerce au détriment de l'acide urique qui va alors cristalliser sous forme de calculs. Cette situation à risque ne se rencontre pas seulement à l'effort : un travail a consisté à évaluer, dans l'urine de marathoniens au repos, la taille des différentes particules de sels de calcium, susceptibles de précipiter pour donner des calculs. Sur ce plan, ils ne différaient guère des sujets «à risque» ou atteints de lithiase. On s'étonnerait presque, dans ces conditions, que cette pathologie ne se rencontre pas plus dans la population des coureurs. On suppose que l'exercice physique par lui-même exerce un rôle protecteur. A l'effort, les pertes de calcium se réduisent et le brassage mécanique provoqué par l'onde de choc de la course permet le passage immédiat de petits calculs dans l'urine, sitôt formés, ce qui limite le risque de précipitation sous forme de gros calculs. Ceci n'empêche qu'il faut s'assurer une parfaite hydratation avant, pendant (même sur des sorties de moins d'une heure) et surtout après l'effort.

Boire préventivement avant chaque entraînement, au cours de chaque sortie, et à leur retour, réduit le risque de calculs rénaux chez les coureurs à pied, qui constituent une population particulièrement exposée à ce problème.

EN RESUME

- On veillera à avaler au moins 2,5 l de boisson au cours de la journée, en veillant à répartir de volume de façon cohérente. L'émission d'urines claires renseignera sur la réussite de cette stratégie.
- On accroîtra les volumes ingérés les trois derniers jours avant une compétition.

- On boira systématiquement à l'entraînement, même s'il dure moins d'une heure et qu'on sue peu. L'irrigation de certains territoires anatomiques exposés et la récupération en dépendent.
- On comblera au retour de la séance le déficit occasionné par celle-ci. On choisira dans un premier temps une boisson peu concentrée. On recherchera une eau bicarbonatée après une séance occasionnant la formation de nombreux déchets. On ingèrera un peu de sodium, car il accélère la restauration du volume plasmatique.
- En cours d'effort, on prendra toutes les 10 à 15 minutes environ 100 ml de boisson hypotonique, à température douce, qu'on prendra le temps de déglutir correctement.