Diplôme d'Université
Trail Running

Les Pathologies métaboliques liées à l'ultra endurance: Physiopathologie, Prévention et Conduite à tenir. Revue de Littérature.

Présenté par
HIBON Jordan

Sous la direction de
VERGES Samuel

Promotion 2021

RÉSUMÉ

Lors d'une course d'ultra endurance, près de 30% des athlètes ont recours aux équipes médicales. Plus de 99% consultent pour des pathologies mineures mais 1% nécessitent une prise en charge approfondie et un passage aux Urgences.

Il est établi qu'une préparation complète et diversifiée, en amont de la course ciblée, permet de prévenir en partie l'apparition de pathologies métaboliques et de diminuer le risque de complications graves qui leurs sont attribuées. Cette préparation passe par un entraînement adéquat, une période d'acclimatation en cas de manifestations météorologiques extrêmes, une bonne stratégie d'hydratation et de nutrition testée et éprouvée dans les conditions attendues, une connaissance et une écoute approfondie de son corps etc…

La gestion de la course elle-même est également primordiale. Il faut savoir gérer son effort, son état de stress thermique, hydrique et énergétique et ne pas se laisser prendre au jeu de la compétitivité au risque de surcharger son métabolisme.

En cas de malaise d'un coureur, il est important que la prise en charge soit extrêmement rapide, ciblée et efficace afin de réduire de près de 100% les risques de complications graves voir de décès.

SOMMAIRE

Sommaire

RÉSUMÉ....2
SOMMAIRE....3
Introduction....4
Méthodologie....6
I. Les pathologies métaboliques liées à l'effort....7
1. Hyperthermie Maligne à l'Effort (HME)....7
Manifestation de l'Hyperthermie Maligne à l'Effort:....9
2. Rhabdomyolyse à l'effort (RE)....10
Manifestation de la Rhabdomyolyse....12
3. Insuffisance Rénale aiguë (IRA)....14
Manifestation de l'insuffisance Rénale Aiguë....15
4. Hyponatrémie liée à l'effort....16
Manifestation de l'Hyponatrémie à l'effort....19
II. Prévention....20
1- L'éducation du coureur est primordiale....20
Avant la course:....20
Le jour de la course:....21
2- Le rôle de l'encadrement médical....24
III. Comment réagir face à un athlète en difficulté ?....26
Schéma Décisionnel sur les lieux du malaise:....31
Conclusion....33
ANNEXES....34
Annexe 1: Démographie de l'Ultra Endurance en Trail *[Paul Ronto 2020]*....34
Annexe 2: Les différentes pathologies liées à la chaleur et leurs distinctions cliniques selon *[Casa et coll. 2015]*....36
Annexe 3: Indice de température au WBGT....37
Annexe 4: Stratégies d'hydratation....38
Bibliographie / Webographie....39

Introduction

Le Trail-Running est une discipline en pleine expansion. Le nombre de pratiquants augmente de manière exponentielle atteignant un nombre de participants aux événements estimé à plus de deux millions en 2021 selon l'ITRA (International Trail Running Association) et plusieurs dizaines voir centaines de millions hors organisation. Par défi ou par plaisir, la distance et la durée des courses sur lesquelles s'affrontent les coureurs semblent augmenter. De plus en plus d'individus se complaisent sur des courses d'ultra-endurance (effort > 4 à 6h). Le gain de popularité de ces longues distances est de plus de 345% sur les 10 dernières années [Annexe 1] : « The State of Ultra running 2020 » *[Paul RONTO le 06 août 2021]*.

Parmi ces pratiquants se croisent des coureurs professionnels ou confirmés présentant une connaissance accrue de leur corps, de leurs capacités et de leur environnement mais aussi des amateurs et débutants présentant parfois plus de lacunes dans ces domaines. Leurs connaissances des risques et pathologies liées à la course à pieds d'ultra-endurance ne sont cependant pas corrélées à leur niveau de pratique et les équipes qui encadrent les épreuves de Trail-Running se doivent de surveiller toute apparition d'une symptomatologie suspecte quel que soit le niveau de l'athlète.

Grâce à sa biomécanique particulière [*Bramble DM et coll. 2004]*, l'être humain est le mammifère le plus endurant sur terre, et, contrairement aux animaux, une fatigue centrale va s'installer au décours d'un effort d'ultra-endurance conduisant à une limitation de l'effort constituant un système d'autoprotection mais qui n'est parfois pas suffisant. En effet, en plus de la traumatologie dîte «classique», de nombreuses pathologies avec des conséquences parfois dramatiques peuvent survenir telles que les pathologies cardiovasculaires (arrêt cardio-respiratoire etc.) et les pathologies métaboliques liées à l'effort qui nous intéressent dans cette revue de littérature.

La société DOKEVER qui coordonne la médicalisation de nombreuses courses dont l'UTMB a analysé plusieurs courses grâce à son logiciel LOGICOSS. Ils ont décrit 1000 interventions pendant les 2 courses phares de l'UTMB 2018 (UTMB - 170km /+10000m et CCC - 101km / + 6000m) qui réunissaient 3500 coureurs. Sur ces 1000 interventions, une vingtaine ont donné lieu à un transfert aux urgences, soit 0,5% des inscrits [*L. Gergelé et coll..© 2010]*.

En 2013 un travail a été réalisé à la Réunion pendant le Grand Raid qui regroupe 3 courses d'ultra-trails et près de 5000 coureurs *[Dujardin M. et coll. 2012]*. L'ensemble des entrées aux urgences entre le début de la première course et la fin de la dernière ont été analysées. 51 patients (1%) ont consulté aux urgences pendant cette période et 10 ont été hospitalisés (0,2%).

Cependant, il n'est pas rare que l'équipe organisatrice, les bénévoles et même les secouristes présents sur les lieux ne soient parfois pas suffisamment formés sur les pathologies métaboliques liées aux épreuves d'ultra-distance et peuvent se retrouver démunis et désemparés devant la possible urgence d'une situation.

C'est pourquoi nous allons d'abord nous intéresser à la physiopathologie des quatre principales pathologies métaboliques liées à l'ultra-distance [*Knechtle B and Nikolaidis PT (2018)]* et chercher à définir s'il est possible de mettre en place des moyens de prévention en amont afin de prévenir leur survenue. Nous étudierons également comment les repérer si un membre de l'organisation, du public ou un autre coureur est confronté à un cas particulier. Enfin, nous aborderons la façon de réagir et la prise en charge mettre en place sur le terrain afin d'éviter toute perte de chance pour le patient.

Méthodologie

Pour cette revue systématique de littérature, la recherche s'est effectuée sur les sites PubMed et Google Schoolar sur une période s'étalant du mois d'avril 2021 au 25 août 2021 avec les mots clefs Exertional Heat Stroke AND Ultraendurance ; Exertional Heat Ilness AND Ultraendurance ; Rhabomyolysis AND Ultraendurance ; Exercice-associated Hyponatrémia AND Ultraendurance ; Acute Kydney Injury AND Ultraendurance.

Les articles scientifiques ont été sélectionnés après lecture en fonction de la pertinence des informations disponibles en rapport avec le sujet. Malheureusement, par souci d'éthique et devant la difficulté de prévoir ces pathologies et la rareté de leur survenue, peu d'études randomisées contrôlées prospectives sont référencées. Cependant, plusieurs revues de littératures de bonne qualité sont disponibles et ont été analysées.

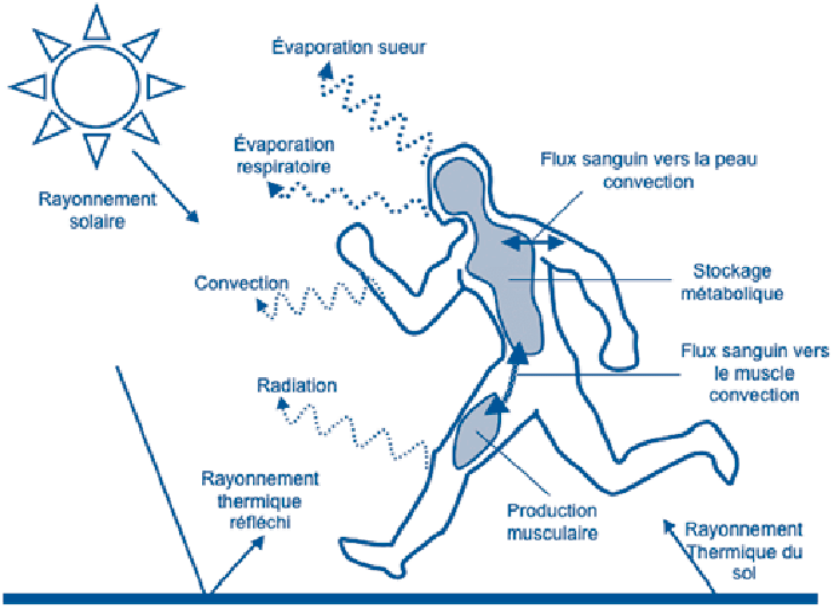
D'autres articles sont issus d'une bibliothèque personnelle compilée ces deux dernières années en glanant des informations sur ces pathologies auprès de professionnels de santé et de chercheurs spécialisés dans la prise en charge de ces pathologies ou la recherche les concernant.

I. Les pathologies métaboliques liées à l'effort

1. Hyperthermie Maligne à l'Effort (HME)

L'Hyperthermie Maligne à l'Effort (HME) est une pathologie relativement fréquente. Elle survient plus généralement lors d'un exercice physique lorsque la température ambiante et le taux d'humidité sont élevés *[Gergelé L. et coll. 2010]*. Ces conditions particulières empêchent l'évaporation optimale de la sueur pour refroidir le corps. La HME apparaît surtout lors de courses à haute intensité, lorsque la production de chaleur par les muscles et le métabolisme dépasse la capacité du corps à évacuer la chaleur ***[Schéma 1]***. Ceci peut être associé à un dérèglement de la thermorégulation. Il s'agit de la manifestation la plus dangereuse des pathologies liées à la chaleur [Annexe 2] *[Casa et coll. 2015]* pouvant mener au décès si la prise en charge n'est pas rapide et adéquate. Cependant, le risque de décès peut être presque totalement exclu lorsque des stratégies de prévention, de reconnaissance de la pathologie et de traitement sont correctement mises en place. [*Casa, D. et coll. 2015 et Rebecca L. et coll. 2020]*

[Schéma 1]: échanges de chaleur entre le coureur et son environnement



Les conditions de course particulières telles que: une course avec un Pacer, l'envie de performer, les défis personnels ou une motivation importante liée à une course en groupe poussent l'athlète à se dépasser et à ne pas écouter et prendre en compte les alertes lancées par son corps. Tout ceci favorise donc l'apparition de l'hyperthermie maligne. *[Smith, R. et coll. 2016]*

Un déficit de la thermorégulation survient parfois après un épisode d'hyperthermie maligne d'effort. I peut être expliqué par les dommages causés aux tissus et aux organes qui s'avèrent être potentiellement importants lorsque la prise en charge médicale et le refroidissement sont tardifs* *[Rebecca L. et coll. 2020].* Cependant, avec un suivi régulier, une reprise du sport très progressive et une période d'acclimatation à la chaleur, la récupération sur le long terme semble bonne.

(*) Potentielles séquelles associées: Hyperkaliémie, Rhabdomyolyse, insuffisance Rénale Aigüe, coagulation intravasculaire disséminée (CIVD), atteintes neurologiques et cognitives, atteintes des organes..

Le suivi des athlètes atteints devra se faire sur le long terme afin, dans un premier temps, de vérifier que cet épisode n'ait pas altéré le fonctionnement global du corps et, dans un second temps, de prévenir d'éventuelles récidives. En effet, il semble qu'un individu présentant un antécédent de HME soit plus à risque de présenter une récurrence de cette pathologie notamment dans les 2 ans suivant le premier épisode [*Rebecca L. et coll. 2020]*. De plus, il semblerait que la génétique pourrait également être un facteur de risque. En effet, 2/3 des patients souffrants d'une hyperthermie présentent une mutation du récepteur Ryanodine de type 1 (RyR1) qui joue un rôle dans la libération du calcium du rétinaculum sarcoplasmique dans le muscle squelettique. Le gène de la calsequestrine 1 (CASQ1) qui est situé sur le chromosome 1 semble également jouer un rôle dans cette régulation de la libération de Calcium. En effet, cette protéine, située dans le rétinaculum sarcoplasmique des cellules musculaires fixe jusqu'à 50 ions Ca2+. *[Smith, R. et coll. 2016]* *[E Walter et coll. 2012]*

Si la prise en charge précoce est efficace, le patient peut repartir chez lui avec comme consignes de se reposer et de ne pas faire d'effort physique tout en évitant la chaleur pendant au moins 48 heures. [*Pryor RR et coll. 2015]*

Manifestation de l'Hyperthermie Maligne à l'Effort:

Les signes de manifestation de la HME peuvent être très variés:

→ Fatigue, sudation et chaleur plus ou moins importante (l'individu présentant généralement une hyper sudation, la température de contact ressentie peut être altérée et conduire à un mauvais diagnostic), rougeur, nausée, maux de tête, troubles digestifs, épuisement, déshydratation, hyperventilation, perte de coordination, agressivité, hystérie, atteinte du Système nerveux central (confusion, perte d'équilibre, somnolence, désorientation, hallucinations…), baisse de la tension artérielle, perte de coordination, malaise voir coma et décès. *[Gergelé L. et coll. 2019] [Casa et coll. 2015] [E. Walter et coll. 2012]*

Ne pas hésiter à s'arrêter ou à arrêter l'athlète !

2. Rhabdomyolyse à l'effort (RE)

La rhabdomyolyse à l'effort (RE) est relativement rare avec une incidence d'environ 29.9/100 000 [*Tietze, D. et coll. 2014].* Sa survenue est corrélée à un effort dans un environnement hostile (chaleur importante et humidité extrême). Des facteurs de prédisposition génétique semblent également exister.

Elle correspond à une destruction des cellules musculaires entraînant une libération du contenu cellulaire dans la circulation sanguine comme des protéines sarcoplasmiques, des CPK (Créatine Phospho Kinase) (>5000 UI/L), de la myoglobine (responsable du stockage de l'oxygène intracellulaire), du Potassium (K+) ou des lactates déshydrogénases (LDH: hormone importante dans le métabolisme des sucres en énergie). Cet accident métabolique peut avoir comme origine une destruction des fibres musculaires engendrées par l'effort, notamment en excentrique lors des descentes répétées. Elle peut aussi provenir d'une faillite énergétique musculaire provoquant un déséquilibre entre les apports musculaires en oxygène et les besoins.

→ Lorsque le mécanisme de la rhabdomyolyse provient d'une altération de la membrane du sarcolemme par les traumatismes répétés liés à l'effort, une entrée de calcium se produit dans la cellule musculaire. ***[Schéma 2]***
→ Lorsqu'il provient d'une déplétion en ATP occasionnée par une compression musculaire ou une hypoxie (interruption des apports en oxygène), il se produit alors une dysfonction des pompes membranaires ATP dépendantes. Lorsqu'elle est atteinte, la pompe Na+/K+, entraîne une augmentation de la concentration de sodium intracellulaire ce qui active la pompe 2Na+/Ca2+ qui augmente à son tour la concentration intracellulaire de calcium menant à une hypocalcémie.

Dans les deux cas, cette augmentation soutenue de calcium intracellulaire est à l'origine d'une contraction musculaire permanente en pérennisant l'interaction actine-myosine qui favorise à son tour la déplétion en ATP.

Schéma 2: Mécanisme intra-cellulaire à l'origine de la Rhabdomyolyse selon *[Chavez et coll. (2016)]*

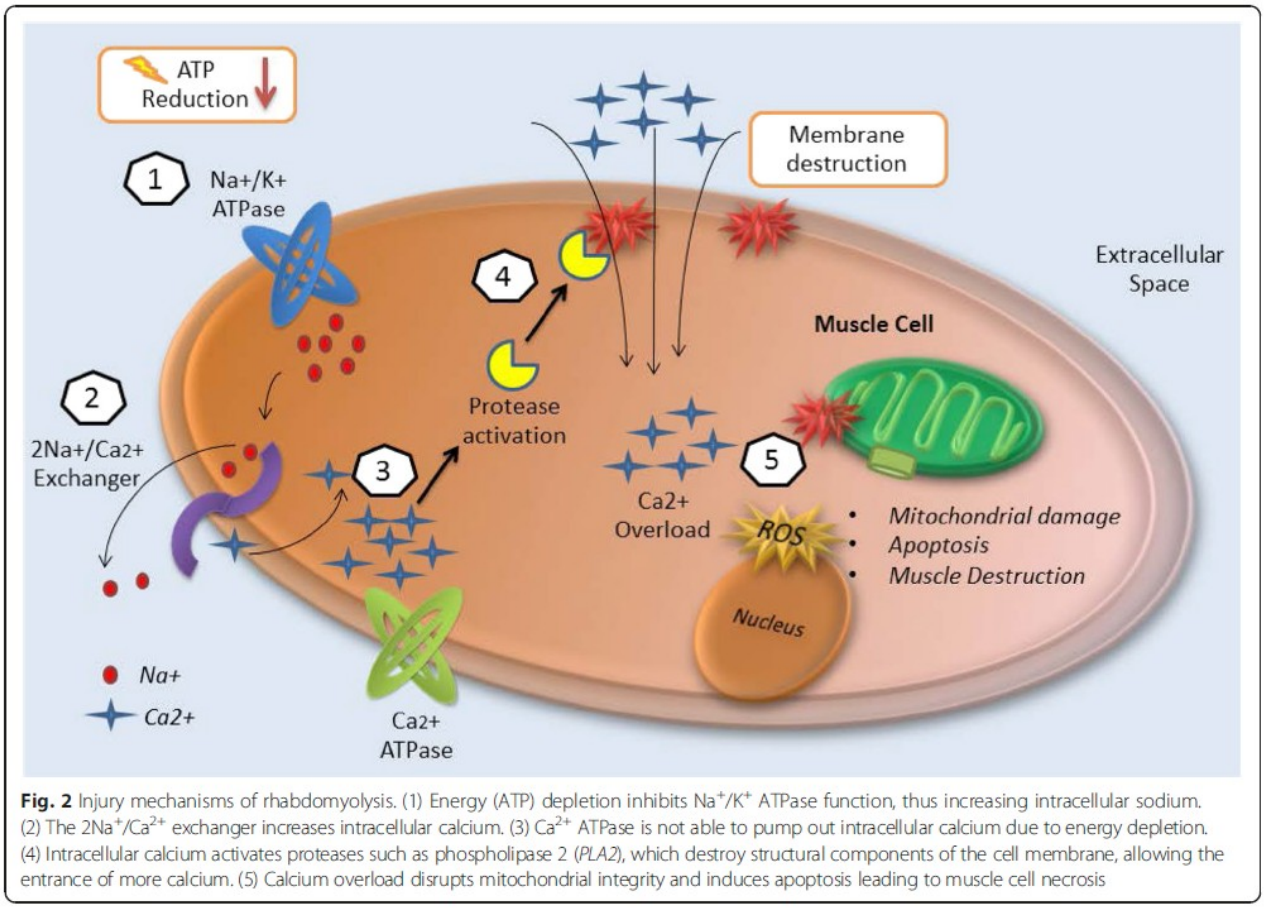


Fig. 2 Injury mechanisms of rhabdomyolysis. (1) Energy (ATP) depletion inhibits Na^+/K^+ ATPase function, thus increasing intracellular sodium. (2) The $2Na^+/Ca^{2+}$ exchanger increases intracellular calcium. (3) Ca^{2+} ATPase is not able to pump out intracellular calcium due to energy depletion. (4) Intracellular calcium activates proteases such as phospholipase 2 (*PLA2*), which destroy structural components of the cell membrane, allowing the entrance of more calcium. (5) Calcium overload disrupts mitochondrial integrity and induces apoptosis leading to muscle cell necrosis

Ce cercle vicieux entraîne un œdème musculaire qui participe d'une part à l'hypovolémie par séquestration liquidienne dans les muscles et qui peut d'autre part, entraîner un syndrome de loge musculaire nécessitant un traitement chirurgical. Il induit également une libération du Potassium intracellulaire provoquant une hyperkaliémie pouvant vite devenir menaçante pour la fonction électrique cardiaque (voir ***[Schéma 4]*** dans les conduites à tenir). On retrouve aussi régulièrement associés une CIVD (Coagulation IntraVasculaire Disséminée) pouvant mener à des manifestations hémorragiques, une cytolyse hépatique dans 25 % des formes sévères et une insuffisance rénale aiguë dans 10 à 50 % des formes sévères. *[Huerta-Alardin AL et coll. 2005]*

Manifestation de la Rhabdomyolyse

→ Triade clinique classique: Asthénie (fatigue accrue et faiblesse générale), Myalgies (douleurs musculaires) et urines sombres dues au taux de CPK (créatine phospho-kinase) très élevé présent dans celles-ci. [*L. Gergelé et coll..© 2010]*

S'il est possible de réaliser un bilan biologique, de nombreux bio-marqueurs attestent de la Rhabdomyolyse à l'effort tel que le taux de CPK circulant qui sera anormalement élevé. Le pic sera atteint 24 à 36 heures après la fin de l'effort puis diminuera d'environ 40 % par jour pour revenir à la normale en 5 à 6 jours *[Daniel Rojas-Valverde et coll. 2020].* Attention cependant, un taux considéré habituellement comme prédictif d'une insuffisance rénale ou d'une RE (~5000 UI/L) peut être normal dans un contexte d'ultra endurance et sans répercussions cliniques et biologiques. Mais selon une revue de littérature récente, toutes les précautions doivent être prises dès que le taux dépasse 1000 UI/L. *[Stahl, K. et coll. 2019]*

Le taux d'enzymes transaminases (ASAT & ALAT) peut doubler également par rapport à leur niveau normal. *[Brancaccio et coll. 2010]* Un IRM peut être proposé pour affiner le diagnostic en observant l'étendue de la dégradation musculaire. *[Moratalla MB. Et coll. 2008]*

Attention au diagnostic précoce sur une course d'ultra distance car une hématurie liée à l'effort pourrait passer pour une Rhabdomyolyse à l'effort. ***[Schéma 3]***

Schéma 3: Hématurie macroscopique pouvant faire penser à une Rhabdomyolyse.

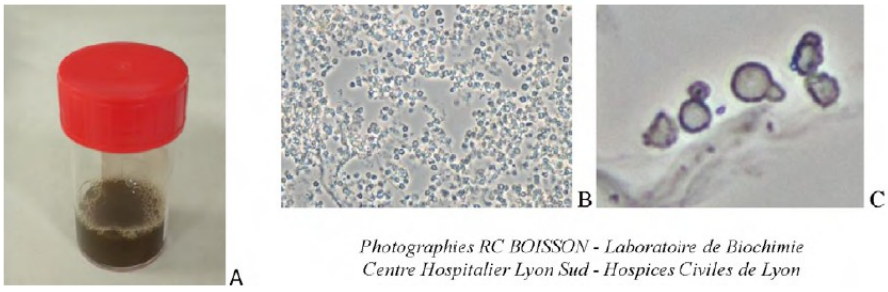


Figure 2 A. Hématurie macroscopique au 90e km de l'Ultratrail du Mont-Blanc (UTMB®) 2009 chez un homme après 17 heures de course. CPK = 7126 U/L. La couleur des urines pourrait faire évoquer une rhabdomyolyse. B. Microscopie des urines en contraste de phase (× 400). C. Les hématies dans les urines apparaissent très dysmorphiques, témoignant d'une hématurie d'origine glomérulaire (passage exagéré au travers de la membrane glomérulaire).

Dans la revue de littérature de *[Daniel Rojas-Valverde, et coll. 2020]*, l'étude de 43 publications entre 2009 et 2020 ont permis d'analyser 345 cas de rhabdomyolyse. Sur ces 345 cas, 130 avaient une RAB + une insuffisance rénale chronique associée (créatinine ≥ 1.88mg/dL). Et sur ces 130 individus cumulant les deux pathologies, 98.92 % des survenues ont eu lieu sur une épreuve d'Ultra Endurance montrant l'importance de la durée de l'effort dans l'apparition de ces pathologies métaboliques associées. L'IRA est la complication la plus grave de la rhabdomyolyse et sa survenue est directement corrélée au délai de prise en charge de l'athlète.

L'évolution est généralement meilleure pour les Rhabdomyolyses survenant à l'effort en raison du faible risque de comorbidité présenté par les athlètes par rapport à la population générale.

3. Insuffisance Rénale aiguë (IRA)

L'insuffisance rénale aiguë correspond à une détérioration des fonctions rénales survenant très rapidement pendant ou après l'effort *[Hoffman, M. D., and Weiss 2016].* Entre 4 et 33 % des cas de rhabdomyolyse à l'effort peuvent amener à (ou être accompagné d'une) insuffisance rénale aiguë documentés comme étant le complexe IRA + RE *[Chatzizisis Y. S. et coll. 2008].*

L'IRA est, comme les deux précédentes pathologies, liée à une déshydratation, une détérioration des fibres musculaires notamment due à un effort excentrique prolongé ainsi qu'une exposition importante à la chaleur et à l'humidité *[Rojas-Valverde et coll. 2019].*

Lors d'un effort intense et prolongé dans des conditions de chaleur et d'humidité élevées, la perte importante d'eau et d'électrolytes par sudation peut entraîner à la fois une déshydratation *[Bongers et coll. 2018]* et une Hyponatrémie *[Chlíbková et coll. 2015]* pouvant mener à une insuffisance rénale aiguë et causer des dommages majeurs aux organes.

La déshydratation et l'hyponatrémie peuvent mener à une altération structurelle et fonctionnelle des muscles qui engendre une perte de l'homéostasie avec un afflux de protéines dans la circulation sanguine (myoglobine, créatine etc.) et donc une altération de la fonction rénale.

Parmi les facteurs de risque prédisposant à l'IRA on retrouve une prédisposition féminine, un faible poids de corps ou une perte de masse corporelle importante pendant la course, la déshydratation, l'hypotension, l'hyperurie, l'hyponatrémie, la rhabdomyolyse, la prise d'anti inflammatoires non stéroïdiens (AINS), la chaleur et l'altitude *[Lipman, G. S. et coll. 2016].*

Manifestation de l'insuffisance Rénale Aiguë

Une IRA peut être confirmée par l'élévation de marqueurs de lésions rénales tels que la myoglobine (MB), la créatinine et la créatine albumine. La mesure du débit de filtration glomérulaire (DFG) peut aussi être utilisée pour mesurer la gravité de l'atteinte rénale.

Selon un papier récent de *Kellum, J. A. (2015)*, la survenue d'une IRA peut être définie par une augmentation ≥0.3mg/dL de Créatine par rapport au taux habituel de l'individu ou une multiplication par 1,5-1,9 de ce taux habituel.

→ Si une biologie n'est pas possible immédiatement certains marqueurs permettent de suspecter la survenue de cette pathologie: la couleur des urines «rouge porto», un micro-hématurie, des troubles digestifs, une soif intense, une anurie et parfois une anorexie…

Attention toutefois, l'IRA touche parfois jusqu'à 50% des coureurs sur une épreuve d'ultra endurance sans forcément être symptomatique ou amener à des lésions graves et durables *[Lipman, G. S. et coll. 2017]*. De plus, on retrouve généralement une amélioration des marqueurs sanguins entre un et quelques jours après un épisode aiguë.

4. Hyponatrémie liée à l'effort

L'hyponatrémie liée à l'effort *[Schéma 4]* est un désordre électrolytique courant correspondant à une diminution de la concentration plasmatique en Sodium (inférieur ou égale à 136 mmol/L) *[McGreal, K. et coll. 2016]* qui entraîne une augmentation de la quantité d'eau intracellulaire et donc une augmentation du volume cellulaire. Les cellules réagissent à l'inverse en extrudant des ions et des solutés organiques. En général, seules les formes sévères avec une concentration inférieure à 125 mmol/L sont symptomatiques.

Cette pathologie est due en général à une mauvaise gestion de l'hydratation à l'effort avec une consommation hydrique trop importante (Boire Ad libitum suffit) et un manque d'absorption de Sodium. L'association entre hyponatrémie à l'effort et hydratation trop importante à été décrite pour la première fois lors d'une course en 1981 *[Noakes, T.D. (2008)]*.

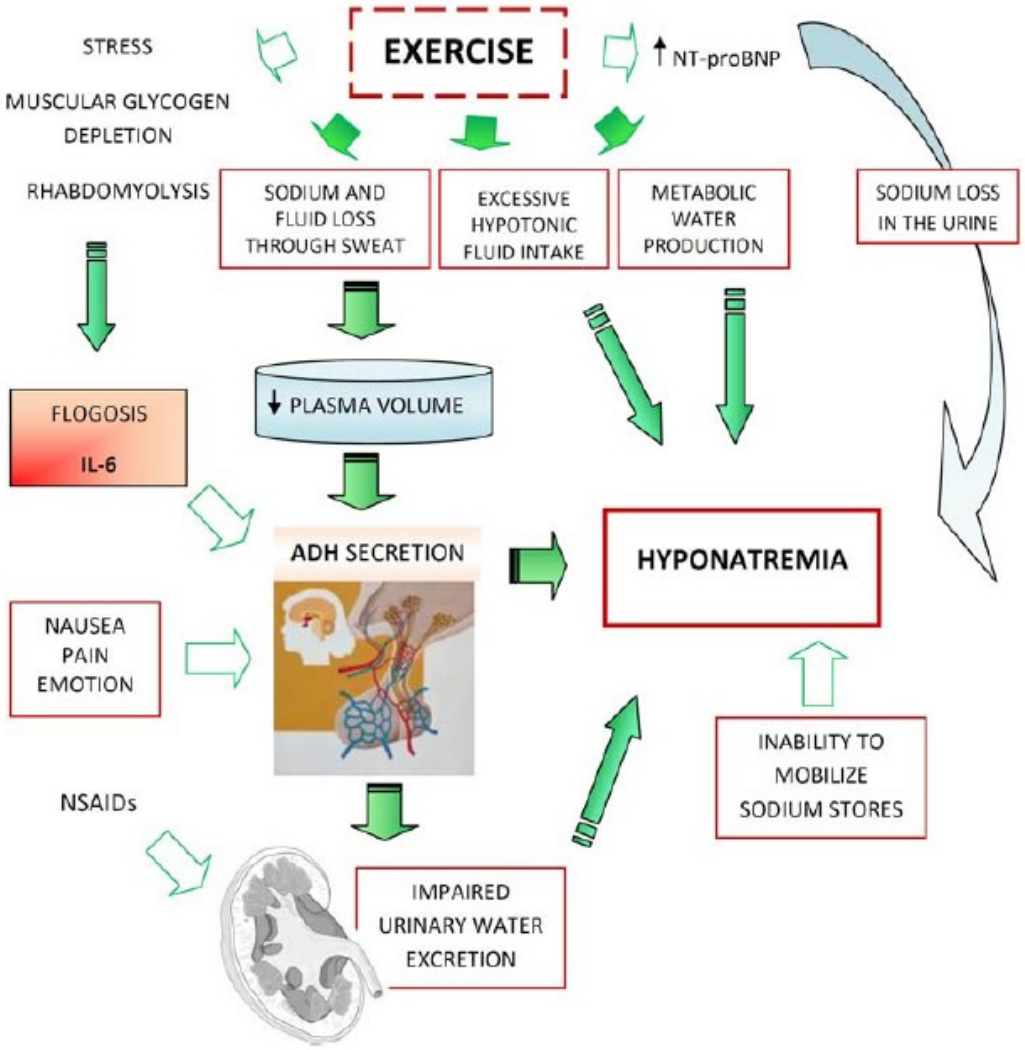
Elle est souvent liée à des hautes températures et la prévalence peut être très importante : on retrouve parfois une hyponatrémie chez 30% à 50% des coureurs lors d'une course d'ultra endurance longue et chaude mais la grande majorité reste asymptomatique. Il existe néanmoins d'importantes disparités entre les pays comme aux USA où les instances sanitaires ont répété pendant des années de boire plus que nécessaire et où les lobbys des boissons énergisantes sont très actifs, ce qui se traduit par une augmentation du nombre de cas lors des courses sur le territoire *[Costa, R. J. S. et coll. 2013]*.

NB: La survenue d'un accident métabolique comme une hyponatrémie ou une hyperthermie lorsque le climat est froid ou tempéré n'est pas à négliger. La présence d'un équipement pour lutter contre le froid ou la pluie qui n'est pas assez respirant peut engendrer un élévation de la température interne potentiellement importante et dangereuse [Stuempfle et coll. 2002].

De plus, un exercice d'endurance prolongé entraîne un stress inflammatoire; la souffrance musculaire induit notamment une augmentation des IL-6 (Interleukines 6) libérés par les muscles et une augmentation de la Sécrétion Inappropriée d'hormones Antidiurétiques (SIADH) et donc de l'Arginine Vasopressine (AVP) plasmatique qui va entraîner une rétention d'eau.

Les facteurs de risque prédisposant à l'apparition d'une hyponatrémie à l'effort sont: une prise de poids pendant la course, un temps de course supérieur à 4h et un IMC < 20Kg/m² . On observe également une susceptibilité féminine. *[McGreal, K. et coll. 2016]*

[Schéma 4] **Physiopathologie de l'Hyponatrémie à l'effort selon** ***[Caterina Urso et coll. 2014]*** **:**



*Le NT-proBNP est un fragment du BNP (peptide natriurétique), une hormone sécrétée par le cœur pour aider à apporter le sang partout dans le corps. Le cœur en libère plus lorsque le ventricule gauche est distendu pour avoir beaucoup travaillé.

Impaired urinary water excretion = Altération de l'excrétion d'eau par les urines
Inability to mobilize sodium stores = Incapacité à mobiliser les réserves de Sodium

Manifestation de l'Hyponatrémie à l'effort

→ On retrouve des maux de tête, des nausées, des régurgitations, des troubles digestifs, des œdèmes (surtout aux pieds), des signes respiratoires à cause d'œdèmes pulmonaires, des signes neurologiques dus à un transfert osmotique d'eau dans les cellules cérébrales (difficulté de concentration, d'élocution, confusion…), des convulsions… pouvant mener au coma et au décès.

Cependant, la grande majorité des Hyponatrémies à l'effort sont asymptomatiques. On ne les retrouve souvent que lors de tests biochimiques sur des échantillons de sang prélevés chez des athlètes participants à un protocole de recherche clinique.

Pour réaliser le diagnostique, il est nécessaire de réaliser une mesure de la natrémie sanguine ou urinaire. Lors d'une prise de sang, l'hyponatrémie à l'effort chez les coureurs imite le SIADH classique dans la présentation clinique avec la présence de taux plasmatiques d'AVP anormalement élevés. Dans les situations complexes, une mesure directe de l'osmolalité plasmatique peut s'avérer nécessaire pour confirmer l'hyponatrémie (elle représente le nombre de molécules dissoutes dans un kilogramme de plasma).

© Sébastien Lamart - *https://sebastien-lamart.blogspot.com*

II. Prévention

1- L'éducation du coureur est primordiale

<u>Avant la course</u>:

L'athlète doit prêter une attention toute particulière à sa préparation et à sa gestion de course s'il a déjà subi un incident métabolique car les antécédents sont des facteurs de risque principaux de déclenchement de ces différentes pathologies *[Rebecca L. Stearns et coll. 2020]*.

Il est primordial de réaliser une acclimatation à la chaleur pendant une durée minimum de 7 à 14 jours, voire idéalement, de plus de 2 semaines *[Bouscaren, N. et coll. 2021]*. Selon une étude américaine, l'hyperthermie maligne à l'effort est principalement retrouvée dans les 3 ou 4 premiers jours de reprise en pré-saison suite à un arrêt prolongé de l'activité. Cela confirme donc la nécessité d'un entraînement adéquat, d'une acclimatation à l'environnement et d'une reprise en douceur après une période d'arrêt. Cette acclimatation va notamment permettre une diminution du rythme cardiaque, de la température corporelle et de la fatigue. *[Casa, D. J. et coll. 2015] - [Willmott, A. et coll. 2017]*

Une approche du ravitaillement personnalisée et préalablement éprouvée par l'athlète doit être mise en place afin de tester la tolérance de son organisme à l'effort. Afin d'être optimal, cet entraînement nutritionnel doit être effectué au rythme de course objectif et en conditions météorologiques de course prévues. Il est judicieux d'expérimenter continuellement avec différents types de glucides (par exemple, des mélanges tels que le glucose-fructose apportant plus d'énergie) et différentes formes (liquides, gels, barres, fruits et autres aliments riches en glucides).

Il est également important d'être entraîné de manière adéquate pour l'effort demandé. Le manque d'entraînement est un facteur de risque pour l'apparition d'une ou plusieurs pathologies métaboliques car l'organisme n'est pas suffisamment préparé pour lutter contre ces contraintes physiologiques. De plus, si l'athlète est bien entouré (Médecin, Entraîneur, Nutritionniste, Podologue, Kinésithérapeute, Ostéopathe, Préparateur Physique…) il augmentera ses chances d'avoir une préparation optimale.

Ce suivi particulier permet de prévenir une éventuelle automédication car une prise de médicaments pourrait déshydrater, sur-solliciter le métabolisme ou altérer la thermorégulation… *(Alcool, Alpha Adrénergiques, anticholinergiques, antihistaminiques, antiplaquettaires, benzodiazépines, beta bloquants, diurétiques, neuroleptiques, stimulants, antidépresseurs etc.. [Pryor © 2015] - [Huerta-Alardin AL et coll. 2005]*

Enfin, il faut veiller à maintenir de bonnes conditions d'hygiène de vie avec une alimentation riche et équilibrée en évitant les compléments alimentaires. Le sommeil est également primordial. Selon la littérature, il faut dormir entre 7 et 9 heures par nuit car le manque de sommeil peut induire une baisse de la vasodilatation cutanée et une augmentation du taux d'interleukine 6 (IL-6) circulant pouvant conduire à une dysfonction du système de thermorégulation et une Hyponatrémie *[Abedelmalek S et coll. 2013]*.

Le jour de la course:

→ Il faut d'abord indiquer à l'athlète qu'un symptôme à l'effort qui se répète, qui s'aggrave ou qui oblige à l'arrêt n'est pas anodin. Ce n'est pas parce qu'un symptôme disparaît qu'il ne faut pas y prêter attention et éventuellement le signaler au premier poste de secours croisé.

Avant le départ, il est intéressant de réaliser un bon échauffement pour augmenter progressivement la température corporelle et permettre à l'organisme de se préparer à lutter contre les contraintes physiologiques à venir. L'utilisation de vêtements respirants spécifiques à la course à pieds et adaptés aux conditions climatiques prévues sera primordiale. Il faut également prêter attention à la taille et au type du sac d'hydratation et au couvre-chef car ils ne doivent pas limiter la sudation et la dissipation de la chaleur.

Il est strictement recommandé de ne pas prendre le départ en cas de fièvre, d'état nauséeux, de maladie ou de fatigue avancée et ne surtout pas prendre d'Anti Inflammatoires Non-Stéroïdiens (AINS) qui favoriseraient l'apparition de pathologies métaboliques comme de pathologies traumatiques. *[Lipman, G. S et coll. 2017]*

Pour diminuer ce risque de survenue, il faut veiller à maintenir une bonne hydratation avant, pendant et après l'effort. La consommation Ad Libitum (au plaisir, à sa soif) d'une boisson d'effort avec un apport de sodium, de glucides et d'électrolytes semble à favoriser selon les dernières recommandations scientifiques *[Hoffman et coll. 2018]*. En revanche, si l'individu présente un antécédent de déshydratation ou d'accident métabolique, il peut être judicieux de réaliser en amont un plan d'hydratation spécifique. Dans ce cas, les stratégies d'hydratation sont propres à chaque individu et doivent être réfléchies, élaborées et surtout testées à de multiples reprises et dans différentes conditions avant le début de l'Ultra Trail choisi.

Il ne semble pas y avoir de consensus quant à la meilleure boisson à l'effort lors de compétitions d'ultra endurance. [Annexe 4] mais la consommation de Sodium avec une alimentation de course pertinente semble adéquate pour remplacer les pertes et prévenir les carences en sel durant les courses d'ultra-endurance. [Casa et coll. 2015] - [Hoffman et coll. 2016] – Hoffman et coll 2014]

En revanche, il n'y a pas de raisons de boire de grands volumes d'eau même si on repère une diminution du poids corporel de l'athlète pendant l'épreuve. D'ailleurs, une diminution allant jusqu'à 1,9% à 5% du poids du corps lors d'un Ultra (161km dans cette étude) serait même nécessaire pour maintenir la balance liquidienne et éviter la surhydratation *[Valentino et coll. 2016] - [Hoffman et coll. 2017B]*

NB: La vérification de la couleur des urines lors de la course est une manière aisée de diagnostiquer un problème métabolique et prévenir une aggravation de la situation en s'hydratant ou en s'arrêtant.

Afin de compléter l'hydratation, il est nécessaire de bien gérer son alimentation en ayant un apport glucidique approprié. La littérature scientifique décrit qu'une alimentation quotidienne en glucides équivalente à 3-12g/kg/jour en amont de la course et un apport en glucides de 30-110g/h lors d'épreuves d'ultra-endurance peut améliorer les performances et éviter l'apparition de carences pouvant être à l'origine de pathologies métaboliques *[Ricardo J.S. Costa et coll. 2018]*.

Même si cela ne fait pas consensus dans la littérature actuelle, il est recommandé de manger des aliments salés afin de maintenir le taux de sodium circulant et de prévenir l'apparition éventuelle d'une hyponatrémie *[Caterina Urso et coll. 2014]*. Si l'ingestion d'aliments solides n'est plus possible à cause de troubles intestinaux pouvant survenir à l'effort, ne pas hésiter à compenser l'apport de sodium en buvant des soupes ou des bouillons salés.

2- Le rôle de l'encadrement médical

Pour que les épreuves se déroulent dans des conditions de sécurité optimales, la présence d'un personnel d'encadrement à jour des connaissances sur les pathologies métaboliques liées aux efforts d'ultra endurance est nécessaire. L'organisation devra également permettre à cet encadrement médical d'intervenir sur chaque point du parcours en moins de 10 à 15 minutes.

En plus du matériel de secours habituel pour la prise en charge des accidents Cardio-pulmonaires et de la Traumatologie, il faut prévoir sur différents points stratégiques de l'événement: un thermomètre rectal, de la glace, des serviettes mouillées, de l'eau, un ou plusieurs bassins pour immersion, du matériel pour réaliser une analyse sanguine et urinaire, de quoi protéger un athlète du rayonnement direct du soleil et de la chaleur (des couvertures de survie, de quoi faire de l'ombre..), des Bolus de 100mL de Solution saline hypertonique à 3%… *[Martin D. Hoffman 2014]*

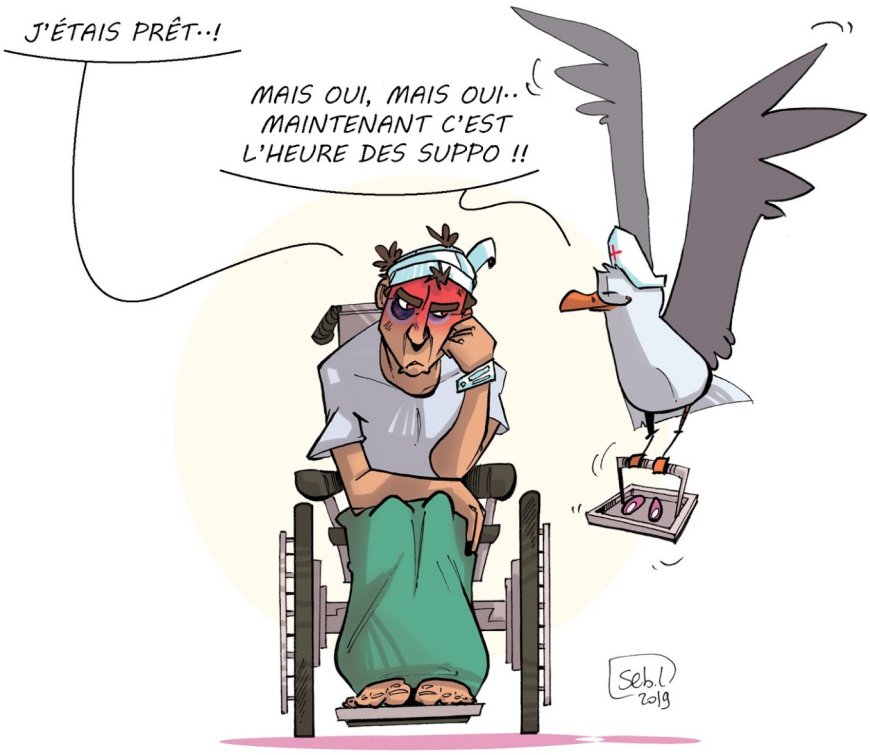
Si un malaise survient, il convient de se renseigner tout d'abord sur le passé médical du patient. Un questionnaire médical en amont de la course ou l'accès des secouristes au Dossier Médical Partagé (DMP) de l'individu permettrait de connaître rapidement les antécédents de celui-ci qui pourraient nécessiter une surveillance accrue et orienter le diagnostic et la conduite à tenir.

En cas de doute sur l'apparition d'une potentielle hyperthermie, l'équipe médicale ne doit pas hésiter à réaliser une prise de la température rectale immédiatement; la seule fiable lors d'une situation d'effort physique, tout autre moyen de prise de température pouvant donner une valeur inexacte et altérée par la sudation, la température de surface de la peau augmentée par l'effort physique, le climat ambiant etc..

Par ailleurs, les organisateurs d'un événement sportif devraient, à tout moment, pouvoir mesurer les conditions météorologiques avec le Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) [Annexe 3] afin d'apprécier en temps réel les effets du climat sur les compétiteurs et de prévenir les risques de survenue d'accidents métaboliques en prenant les mesures nécessaires (pauses, hydratation plus importante, mise en place du parcours de repli, report ou annulation de la compétition…).

→ L'indice de température au thermomètre-globe mouillé (WBGT, de l'anglais wet-bulb globe temperature), est un indice composite de température utilisé pour estimer les effets de la température, de l'humidité et du rayonnement solaire sur l'homme. L'appareil permet de mesurer à la fois la température, le rayonnement solaire, le taux d'humidité et le vent.

La formation des équipes médicales, de l'organisation et même des bénévoles sur l'existence et le risque de survenue de ces pathologies métaboliques, même succinctes, permettrait de porter une attention particulière aux premiers signes et de réagir rapidement afin d'éviter que la situation n'empire, provoquant irrémédiablement une perte de chances pour l'athlète.



© Sébastien Lamart - *https://sebastien-lamart.blogspot.com*

III. Comment réagir face à un athlète en difficulté ?

« REFROIDIR D'ABORD, TRANSPORTER APRÈS. »

[Gergelé et coll. 2019]

Ce qui prime pour l'équipe médicale c'est la prise de la température rectale dès que possible puis toutes les 5 à 10 minutes pour suivre l'évolution. Monitorer en permanence si un dispositif est disponible.

L'objectif numéro un est de **faire diminuer cette température sous les 40,5°C** le plus rapidement possible afin de faire diminuer la morbidité et la mortalité. Les autres modes de prise de température (orale, auriculaire, frontale, temporale...) ne sont pas fiables lors d'un effort soutenu et peuvent amener à une erreur de diagnostic et une perte de chances pour le patient.

Que la prise de température soit possible ou non, si une Hyperthermie maligne à l'effort est suspectée, il faut commencer immédiatement à refroidir l'athlète:

Conduite à tenir pour le refroidissement:

¤ Placer l'individu à l'ombre et préférentiellement dans le vent afin de favoriser la baisse de chaleur par convection. Si ce n'est pas possible (météo, localisation..), créer un flux d'air sur lui.

¤ Donner à l'athlète de quoi s'hydrater à température ambiante s'il est conscient et semble déshydraté. La rapidité de la réhydratation joue un rôle majeur. Le remplissage vasculaire va permettre de diluer le taux de myoglobine dans les urines et donc la toxicité rénale. Attention cependant à bien monitorer l'hydratation car une augmentation de la perméabilité membranaire des capillaires est souvent observée dans les jours qui suivent un effort d'ultra endurance donc des œdèmes importants peuvent apparaître.

→ Il est recommandé de lui donner une boisson avec électrolytes contenant du sodium et des glucides afin d'éviter la survenue d'une hyponatrémie associée [Casa et coll. 2015] - *[Hoffman et coll. 2018]*.

Si une Hyponatrémie est détectée, le traitement passe par une supplémentation en Sodium et une restriction hydrique. En revanche, en cas de déshydratation associée à une rhabdomyolyse et une Insuffisance Rénale Aiguë possible, la restriction hydrique est contre indiquée.

¤ Retirer tous les vêtements, chaussures ou accessoires qui pourraient altérer la sudation et l'évacuation de chaleur par la transpiration et la radiation (Sac d'hydratation, Veste, T-shirt, Casquette, Chaussures…).

¤ Surélever doucement les jambes pour améliorer le retour veineux mais pas trop rapidement pour éviter le « désamorçage » (hypovolémie avec chute du retour veineux et possible arrêt cardiaque).

¤ L'Immersion en eau froide (CWI – Cold Water Immersion) jusqu'au cou est référencée comme étant la technique la plus efficace pour faire descendre la température rapidement [Tableau 1] . Pour un refroidissement optimal, la température de l'eau doit être entre 1.7°C et 15°C et remuée sans arrêt afin de maximiser le refroidissement. Si ce n'est pas possible, l'eau mobile d'une rivière ou d'une cascade sera une alliée très efficace. [*Demartini et coll. 2015] – [Bouscaren et coll. 2021]*

NB: Les craintes sur l'utilisation d'une eau trop froide qui risquerait d'induire une vasoconstriction périphérique altérant ainsi l'afflux sanguin sous-cutané et donc diminuant l'échange thermique ne sont pas fondées car bien que créant effectivement une vasoconstriction immédiate, celle-ci est brève et la température va diminuer drastiquement après quelques minutes. /!\ [Bouscaren et coll. 2021]

¤ Si un dispositif d'immersion n'est pas disponible immédiatement et qu'aucune source d'eau n'est proche, il faut asperger l'individu pour le refroidir (la tête, la poitrine, le dos, les épaules et les jambes…). Il est possible d'utiliser des serviettes mouillées et froides ou de la glace sur les zones principales d'évacuation de la chaleur (front, tempes, dos, aisselles, aine…)

Tableau 1: Résumé des techniques de refroidissement potentielles en cas d'HME selon *[Pryor 2015]*

	Ice Water Immersion	Wet, Iced Towels	Cold Saline Infusion	Forearm Immersion	Fans	Ice Packs
Effectiveness	+++	++	+	++	+	–
Ease of Use	–	+++	+	+	+	++
Level of Evidence	**Class II:** Supported by lab studies and case series[1,14,59,65-70]	**Indeterminate**	**Class II:** Supported in studies of normothermic volunteers[76,68] **Indeterminate** for heat-related illness	**Class II:** Supported by lab studies[26,27,29]	**Class II:** Supported by lab studies when used in cool environments[27,29]	**Class III:** No supporting evidence

Pryor © 2015 Prehospital and Disaster Medicine

Table 2. Summary of Potential Cooling Techniques for Exertional Heat Stroke

L'objectif de ces mesures d'urgence est de descendre la température corporelle en dessous de 38.9°C dans les 30 minutes suivant le malaise, AVANT de transporter l'athlète à l'hôpital (« *The gold half hour* »). En effet, le temps passé par l'individu au dessus de la limite critique de 40.5°C va conditionner le risque de morbidité et de mortalité. Son transport précoce vers l'hôpital ne permettra pas une prise en charge optimale de cette baisse de température. Ensuite, si le taux de sodium plasmatique est normal, l'équipe médicale pourra éventuellement débuter un refroidissement par une réhydratation intraveineuse prudente afin d'éviter une hyponatrémie associée.

Il est possible de réaliser un électrocardiogramme (ECG) en cas de malaise d'un participant afin d'écarter toute pathologie cardiaque. Cet ECG pourra également rendre compte d'une hyperkaliémie ***[Schéma 5]*** (Potassium circulant > 5.5mmol/L) régulièrement associée à une rhabdomyolyse, une Hyperthermie ou une Insuffisance Rénale Aiguë. On retrouve une onde T pointue, un allongement du PR et un QRS élargi. Lorsqu'elle est sévère et aiguë, l'hyperkaliémie peut provoquer des arythmies et engager le pronostic vital du patient en provoquant un arrêt cardio-respiratoire

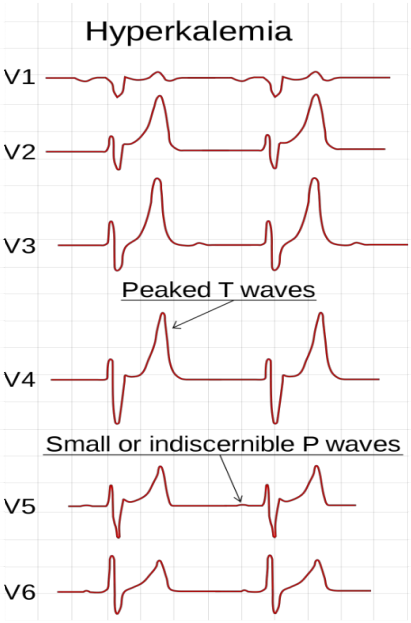


Schéma 5: Hyperkaliéme à l'ECG

Dès que possible, il faut réaliser une analyse d'urine pour la mesure de l'osmolalité du sodium et une analyse de sang *[Martin D. Hoffman 2014]*. Si une hyponatrémie sévère est suspectée ou attestée par une analyse, les premiers gestes peuvent être décisifs ***[Schéma 6]***:

1. Restriction Hydrique ou solution orale hypertonique si tolérée
2. Injection en intraveineuse de Bolus de 100mL de Solution saline hypertonique à 3%. en moins de 60 secondes. Jusqu'à 3 bolus peuvent être injectés à intervalles de10 minutes si le dosage plasmatique du sodium à confirmé une hyponatrémie.

¤ <u>Lorsque la correction de l'hyponatrémie est indiquée, celle-ci dépend du volume extracellulaire:</u>

→ **Normal / Euvolémique:** la restriction des apports en eau est recommandée, notamment dans le cas du SIADH. Puisque l'hyponatrémie de dilution est due en partie à une SIADH (sur-sécrétion de l'hormone antidiurétique Arginine Vasopressine (AVP)), on va utiliser des inhibiteurs sélectifs des récepteurs de l'AVP afin qu'elle ne puisse pas agir. (Pour les formes euvolémiques et hypervolémiques)*[A.-E. Heng et coll. 2006]*

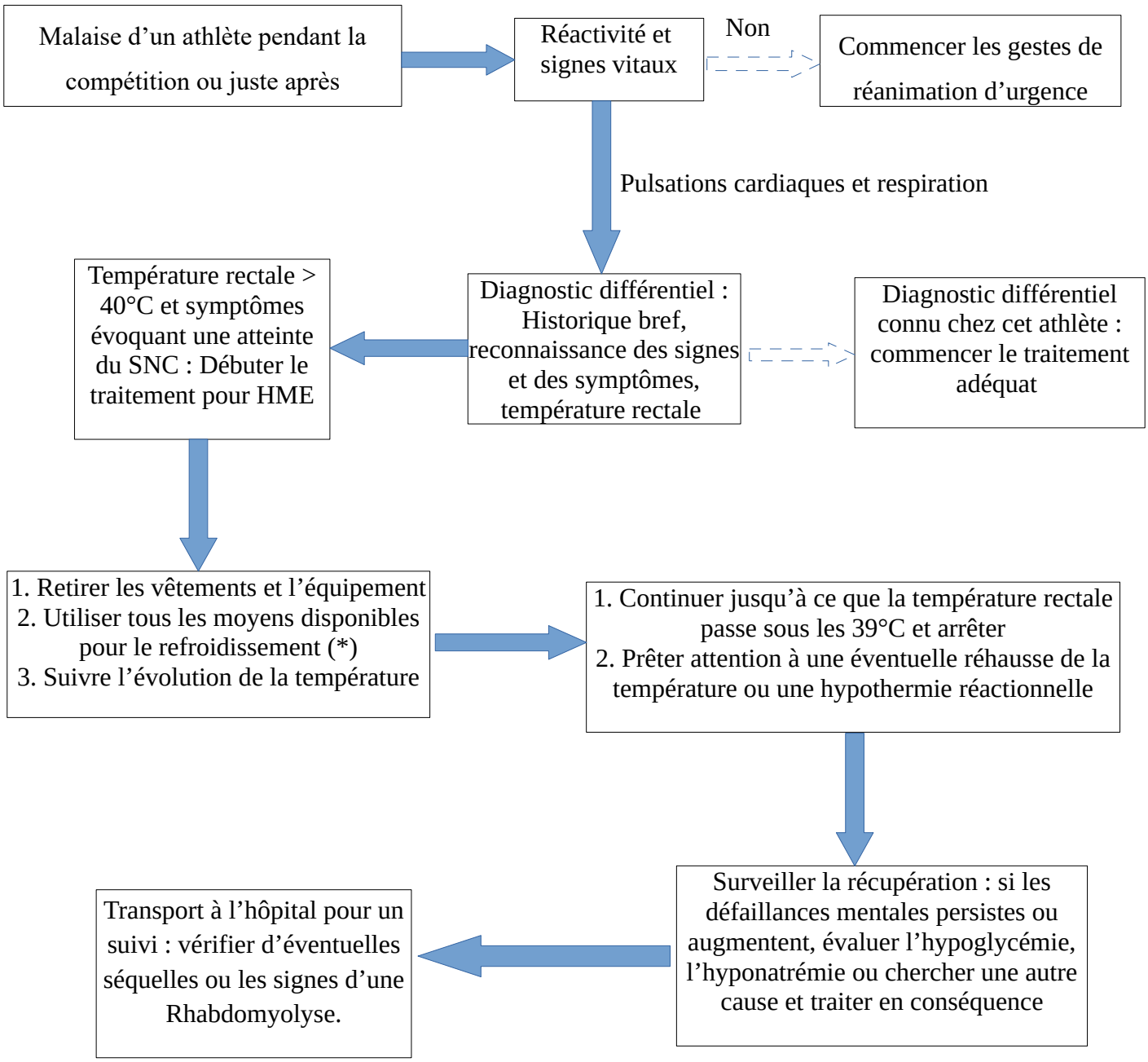
→ **Augmenté / Hypervolémique**: les diurétiques ou un antagoniste de la vasopressine, tel que la desmopressine, Conivaptan, associés à une restriction des apports en eau, constituent alors le traitement principal.

→ **Diminué / Hypovolémique**, consécutivement à des pertes digestives ou rénales : l'augmentation de l'apport en sodium associé à une réhydratation est indiquée.

Il faut rester attentifs jusqu'à la fin de la course car la majorité des pathologies métaboliques à l'effort surviennent dans le kilomètre précédant la ligne d'arrivée. De plus, une attention particulière doit être portée sur les Ultra-Trails relativement courts et roulant permettant de garder une vitesse relativement élevée car une intensité importante augmente le métabolisme et la fabrication de chaleur par l'organisme *[Shin K. A. et coll. 2016]*.

Attention cependant, lorsque aucun symptôme n'est présent après une course il est nécessaire de rester prudent car la majorité des épisodes de RE et d'IRA sont asymptomatiques et de nombreuses manifestations surviennent dans les quelques jours après l'effort: courbatures importantes, fatigue accrue, difficulté à dormir, urines sombres… et peuvent nécessiter une prise en charge. La priorité demeure la prévention de l'agression rénale. L'objectif est donc de corriger l'hypovolémie, de maintenir la perfusion rénale, d'entretenir un flux urinaire pour limiter la concentration de la myoglobine au niveau tubulaire et de corriger l'acidurie.

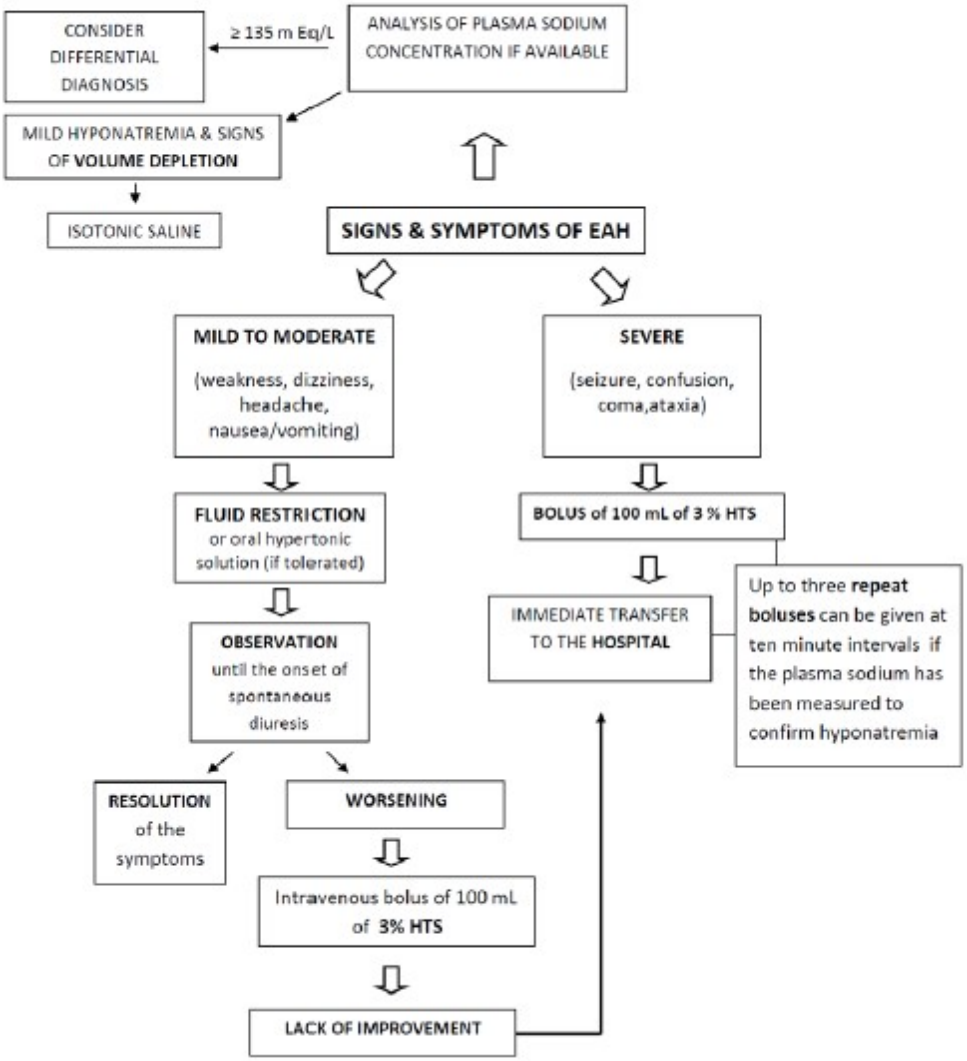
Schéma Décisionnel sur les lieux du malaise:



(*) voir paragraphe sur les conduites à tenir pour le refroidissement

[Schéma 6]: S'il s'agit d'une Hyponatrémie [**Caterina Urso et coll. 2014**]:

Figure 2. Algorithm for treatment of EAH. EAH, exercise-associated hyponatremia; HTS, hypertonic saline.



Traitement immédiat recommandé: des Bolus de 100mL de Solution saline hypertonique à 3%. (HTS: Intravenous Hypertonic Saline) injecté en intraveineuse en moins de 60 secondes

Conclusion

Le trail running est un sport populaire par l'attrait naturel vers l'extérieur et les grands espaces et parce qu'il ne nécessite aucun matériel particulier ni aucune infrastructure. De ce fait, de plus en plus de pratiquants se lancent dans un objectif de sport santé ou de performance. Ce phénomène à encore plus été renforcé depuis l'arrivée de la CoViD-19 qui a entraîné la fermeture des gymnases et salles de sport pendant de longs mois.

Devant le nombre important de complications pouvant survenir lors de la pratique de sports d'Ultra endurance, l'évolution exponentielle du nombre de pratiquants pourrait constituer un problème de santé publique majeur dans les années à venir. Heureusement, si une bonne campagne de prévention est menée (dans les clubs, les magazines relatifs à ce type de sport, les réseaux sociaux ou lors des compétitions elles-mêmes), les participants pourront élaborer une meilleure préparation et une gestion de course plus protectrice ce qui permettra de baisser drastiquement le risque de survenue des pathologies métaboliques. Les équipes de secours peuvent également mettre en place des protocoles spécifiques amenant à une détection plus systématique de ces pathologies et une prise en charge rapide, ciblée et efficace permettent d'améliorer le pronostic de manière significative.

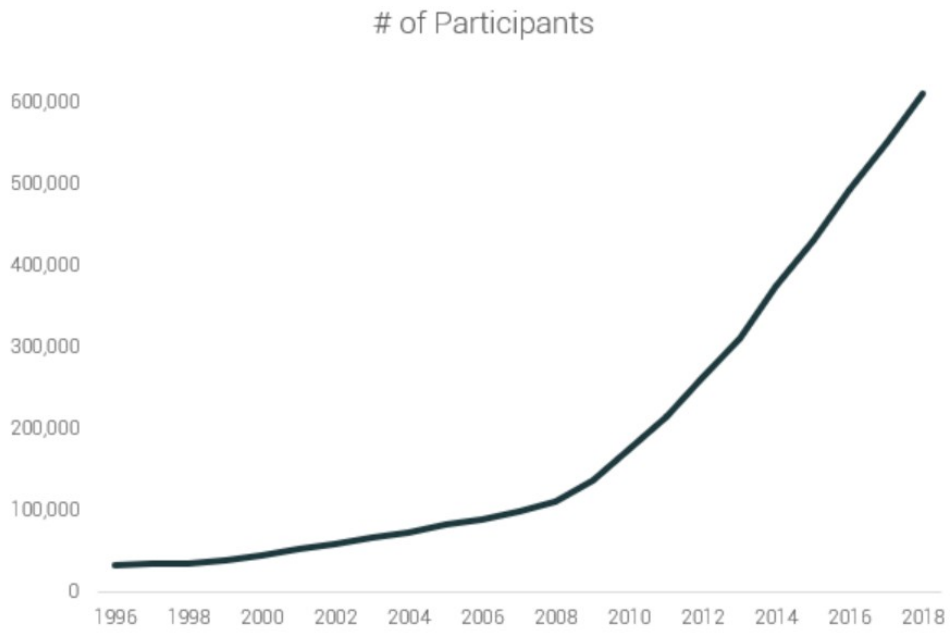
Que ce soit pour une Hyperthermie maligne à l'effort, une Rhabdomyolyse, une Insuffisance Rénale Aiguë ou une Hyponatrémie, lorsqu'elles sont détectées rapidement et que la prise en charge est adéquate, le risque de mortalité ou de voir se développer des complications graves sur le long terme peut être diminué de près de 100%.

En plus des pathologies métaboliques décrites précédemment et des accidents traumatologiques lors des épreuves d'ultra-endurance, peuvent également survenir de manière très fréquente des problèmes cardio-respiratoires, des troubles digestifs ou des pathologies liées à l'altitude qui méritent également toute l'attention des coureurs, de l'organisation et des équipes médicales susceptibles d'intervenir dans la prise en charge des athlètes.

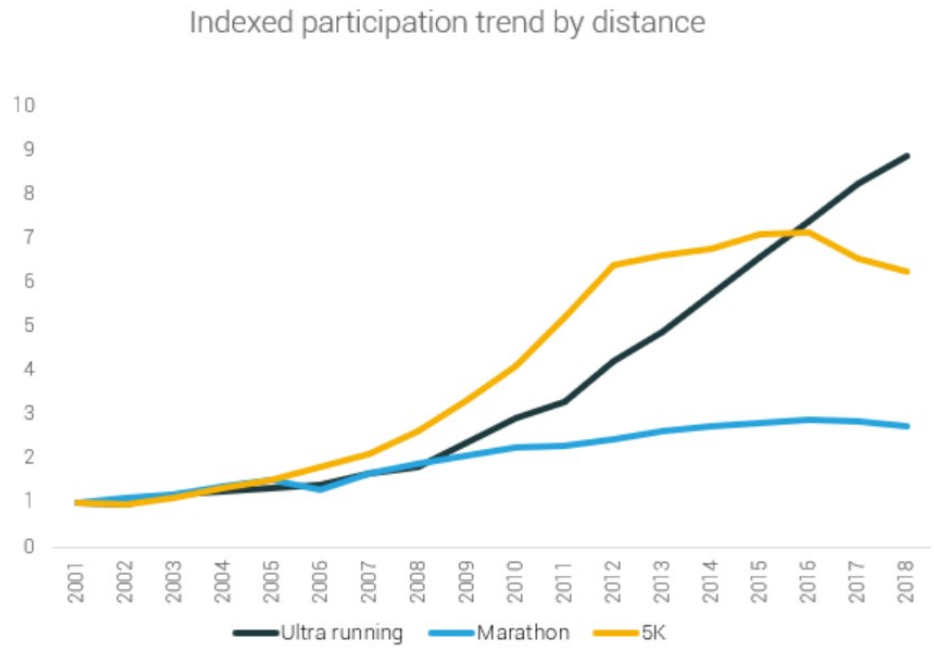
ANNEXES

<u>Annexe 1</u>: Démographie de l'Ultra Endurance en Trail *[Paul Ronto 2020]*

La Participation sur les événements d'Ultra Running ont augmenté de 1676% depuis 1996. Il y avait 34 401 en 1996 contre 611 098 en 2020 selon «The State of Ultra running 2020» écrit par Paul RONTO le 06 août 2021.

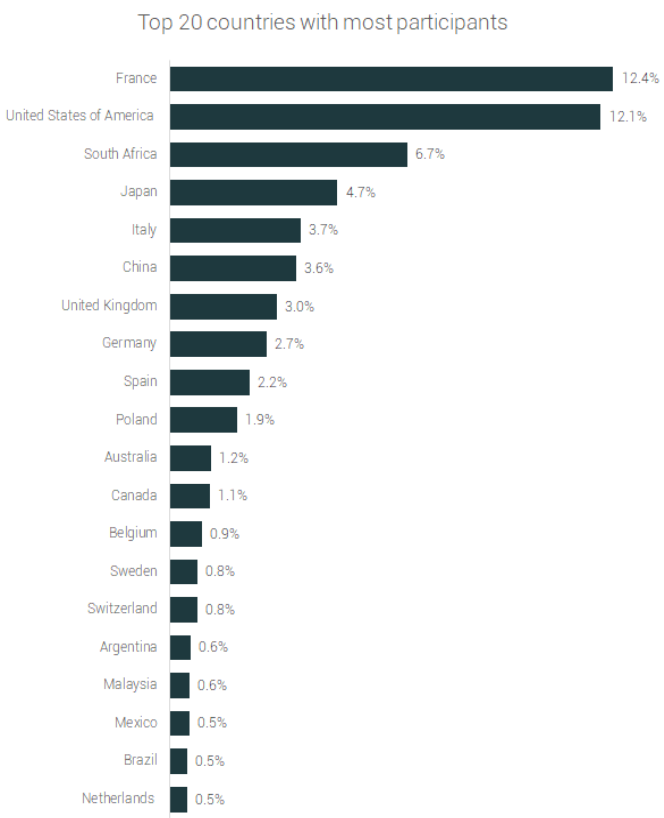


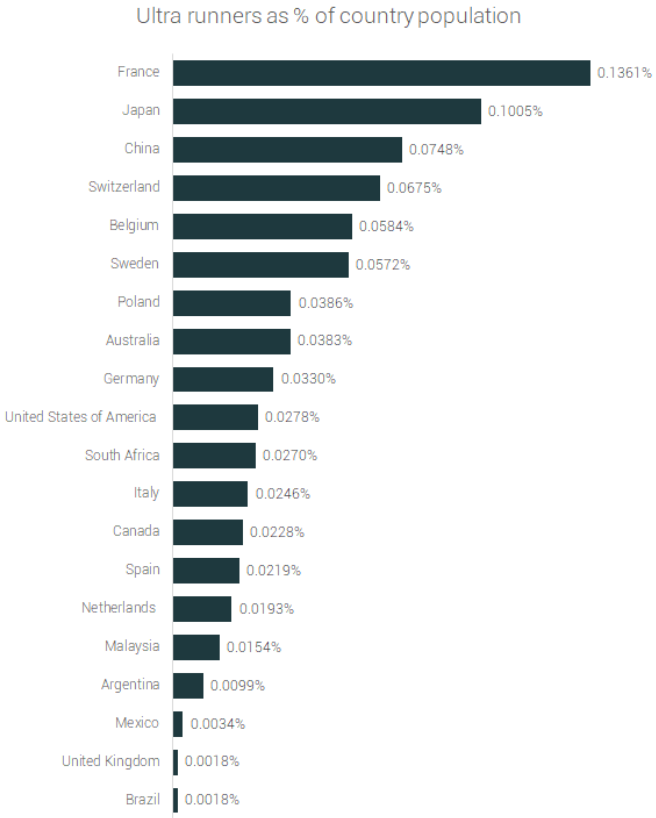
Dans le même temps la participation sur des courses de 5Km ou des marathons temps à décliner.



ce

Le pourcentage de participants à une course d'Ultra Trail par Pays ainsi que le pourcentage d'Ultra traileurs au sein d'une population montrent bien l'engouement pour ce type de distance en France.





Annexe 2: Les différentes pathologies liées à la chaleur et leurs distinctions cliniques selon *[Casa et coll. 2015]*

Table 1. Clinical Distinction of Exertional Heat Illness (Casa et al., 2015)

Heat Illness					
Characteristics	**Exercise-associated muscle (heat) cramps**	**Heat syncope**	**Heat exhaustion**	**Exertional heat stroke**	**Heat injury**
Description	Acute, painful, involuntary muscle contractions presenting during or after exercise	Collapsing in the heat, resulting in loss of consciousness	Inability to continue exercise due to cardiovascular insufficiency	Severe hyperthermia leading to overwhelming of the thermoregulatory system	Moderate to severe heat illness characterized by organ and tissue injury
Physiologic cause	Dehydration, electrolyte imbalances, and/or neuromuscular fatigue	Standing erect in a hot environment causing postural pooling of blood in the legs	High skin blood flow, heavy sweating, and/or dehydration, causing reduced venous return	High metabolic heat production and/or reduced heat dissipation	
Primary treatment factors	Stop exercising, provide sodium-containing beverages	Lay patient supine and elevate legs to restore central blood volume	Cease exercise, remove from hot environment, elevate legs, provide fluids	Immediate whole-body cold-water immersion to quickly reduce core body temperature	
Recovery	Often occurs within minutes to hours	Often occurs within hours	Often occurs within 24 hours; same-day return to play not advised	Highly dependent on initial care and treatment, further medical testing and physician clearance required before return to activity	

Exercise-associated muscle (heat) cramps = crampes musculaires liées à l'exercice

Heat Syncope = Malaise dû à la chaleur

Heat Exhaustion = épuisement dû à la chaleur

Exertional Heat Stroke = Hyperthermie Maligne à l'Effort

Heat Injury = Lésions dues à l'hyperthermie

Les manifestations physiques liées à une chaleur importante à l'effort peuvent revêtir divers aspects en fonction de leur sévérité. Cela va de simples crampes musculaires dont les symptômes vont disparaître en quelques minutes ou quelques heures jusqu'à l'hyperthermie maligne à l'effort avec un risque important de lésions touchant les tissus et les organes de l'individu.

Annexe 3: Indice de température au WBGT

L'indice de température au thermomètre-globe mouillé (WBGT, de l'anglais wet-bulb globe temperature), est un indice composite de température utilisé pour estimer les effets de la température, de l'humidité et du rayonnement solaire sur l'homme. L'appareil permet de mesurer à la fois la température, le rayonnement solaire, le taux d'humidité et le vent.

Les tableaux suivants proposent une adaptation de la charge de travail et des temps de repos en fonction de la température ressentie mesurée grâce au WBGT.

Type de travail versus WBGT maximal

Catégorie	Kcal/unité de travail	WBGT (°C)
Travail très léger	90	30
Travail léger	150	30
Travail semi-lourd	205	26,7
Travail lourd	350	25

Critères d'exposition au stress thermique (Indice WBGT en °C) pour une semaine de travail de cinq jours à raison de huit heures par jour avec des pauses conventionnelles[9, 10]

Répartition du travail dans un cycle travail/repos	Acclimaté				Limite d'activité (non acclimaté)			
	Léger	Modéré	Lourd	Très lourd	Léger	Modéré	Lourd	Très lourd
75 à 100 %	31,0	28,0	–	–	28,0	25,0	–	–
50 à 75 %	31,0	29,0	27,5	–	28,5	26,0	24,0	–
25 à 50 %	32,0	30,0	29,0	28,0	29,5	27,0	25,5	24,5
0 à 25 %	32,5	31,5	30,5	30,0	30,0	29,0	28,0	27,0

Si les valeurs limites WBGT sont dépassées, des temps de repos doivent être instaurés. Vous pouvez les déterminer en vous basant sur les normes NBN EN ISO 7243, NBN EN ISO 7933 ou NBN EN ISO 9886 ou sur la proposition du médecin du travail. Si rien n'a été convenu au préalable, appliquez alors le tableau suivant:

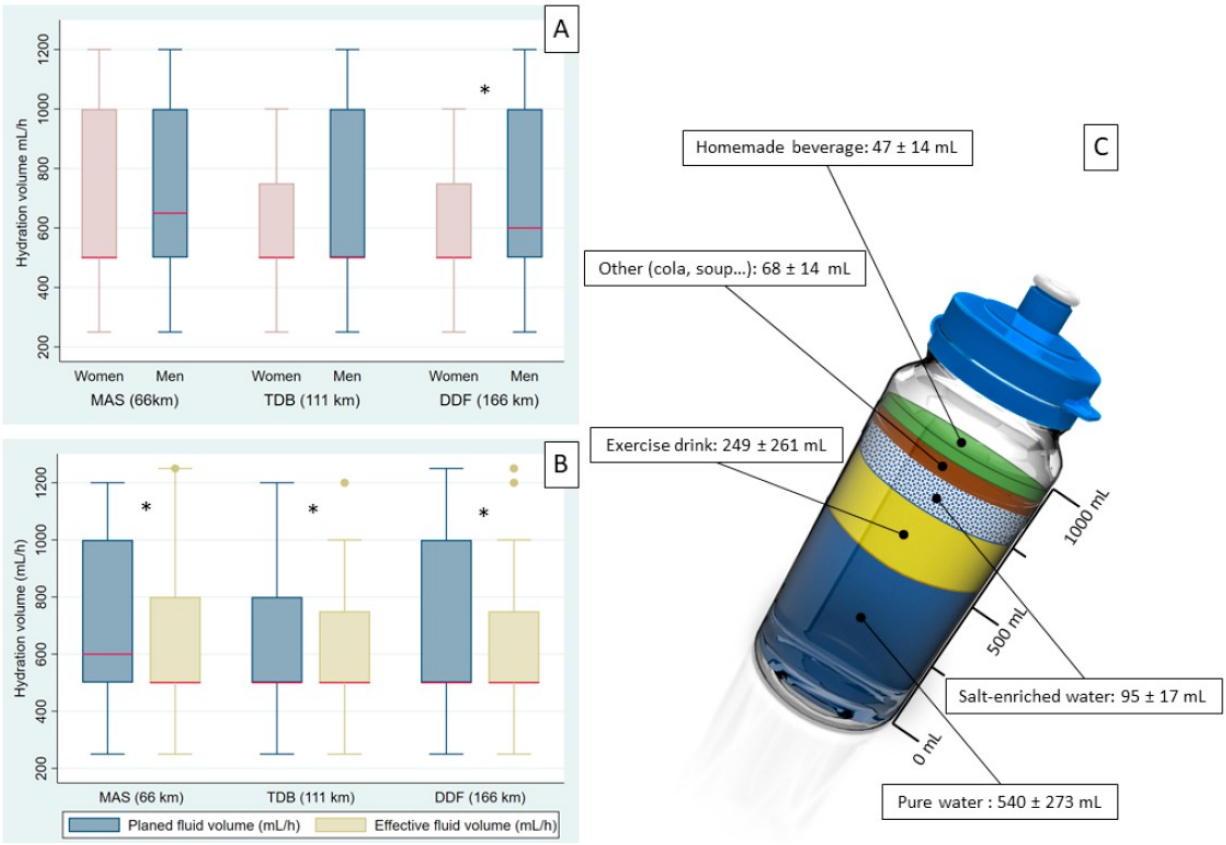
Alternance du travail	Valeur de l'indice WBGT			
	Travail léger	Travail mi-lourd	Travail lourd	Travail très lourd
45 min travail – 15 min repos	29,5	27	23	19
30 min travail – 30 min repos	30	28	24,5	21

Annexe 4: Stratégies d'hydratation

Les stratégies d'hydratations sont propres à chaque individu et doivent être réfléchies, élaborées et surtout testées à de multiples reprises et dans différentes conditions avant le début de l'Ultra Trail choisi. Il ne semble pas y avoir de consensus quant à la meilleure boisson à l'effort lors de compétitions d'ultra endurance.

Exemple: *[Dujardin M. et coll. 2012]*

Les différentes stratégies d'hydratations des coureurs sur le « Grand Raid de la Réunion » en 2019:



Stratégies d'hydratation des coureurs du « Grand Raid de la Réunion » 2019.
*MAS: La Mascareignes, TDB: Le Trail de Bourbon, DDF: La Diagonale des fous. (A) Volume d'hydratation en mL/h en fonction de la cours et du sexe * Différences significatives entre les hommes et les femmes. (B) Volume d'hydratation planifié et effectif en mL/h d'après les coureurs en fonction de la course. * Différences significatives entre le volume planifié et le volume effectivement consommé. (C) Extrapolation du type de boissons consommées rapportée sur une gourde d'1L.*

Bibliographie / Webographie

Abedelmalek S, Chtourou H, Aloui A, Aouichaoui C, Souissi N, Tabka Z. Effect of time of day and partial sleep deprivation on plasma concentrations of IL-6 during a short-term maximal performance. Eur J Appl Physiol. 2013;113(1):241-248.

A.-E. Heng et al. New approaches to detect and manage the syndrome of inappropriate antidiuretic hormone secretion (SIADH). Réanimation 15 (2006) 490–496

Bongers, C. C. W. G., Alsady, M., Nijenhuis, T., Tulp, A. D. M., Eijsvogels, T. M. H., Deen, P. M. T., et al. (2018). Impact of acute versus prolonged exercise and dehydration on kidney function and injury. Physiol Rep 6. doi:10.14814/phy2.13734.

Bouscaren, N.; Faricier, R.; Millet, G.Y.; Racinais, S. Heat Acclimatization, Cooling Strategies, and Hydration during an Ultra-Trail in Warm and Humid Conditions. Nutrients 2021, 13, 1085. https://doi.org/10.3390/nu13041085

Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo. Nature. 18 nov 2004;432(7015):345-52.

Brancaccio, P., Lippi, G., and Maffulli, N. (2010). Biochemical markers of muscular damage. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine 48. doi:10.1515/CCLM.2010.179.

Casa, D. J., DeMartini, J. K., Bergeron, M. F., Csillian, D., Eichner, E. R., Lopez, R. M., et al. (2015). National Athletic Trainers' Association position statement: exertional heat illnesses. Journal of Athletic Training, 50(9), 986-1000.

*Caterina Urso, Salvatore Brucculeri and Gregorio Caimi * Physiopathological, Epidemiological, Clinical and Therapeutic Aspects of Exercise-Associated Hyponatremia J. Clin. Med. 2014, 3, 1258-1275; doi:10.3390/jcm3041258*

Chatzizisis, Y. S., Misirli, G., Hatzitolios, A. I., and Giannoglou, G. D. (2008). The syndrome of rhabdomyolysis: Complications and treatment. European Journal of Internal Medicine 19, 568–574. doi:10.1016/j.ejim.2007.06.037

Chavez Luis O., Monica Leon2, Sharon Einav3,4 and Joseph Varon5 - Beyond muscle destruction: a systematic review of rhabdomyolysis for clinical practice. Critical Care (2016) 20:135

Chlíbková, Daniela; Knechtle, Beat; Rosemann, Thomas; Tomášková, Ivana; Novotný, Jan; Žákovská, Alena; Uher, Tomáš (2015). Rhabdomyolysis and exercise-associated hyponatremia in ultra-bikers and ultra-runners. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 12(1), 29–. doi:10.1186/s12970-015-0091-x

Costa, R. J. S., Teixeira, A., Rama, L., Swancott, A. J.M., Hardy, L. D., Lee, B., et al. (2013).Water and sodium intake habits and status of ultra-endurance runners during a multi-stage ultra-marathon conducted in a hot ambient environment: an observational field based study. Nutr. J. 12:13. doi: 10.1186/1475-2891-12-13

Daniel Rojas-Valverde, Braulio Sánchez-Ureña, Jennifer Crowe, Rafael Timón & Guillermo J. Olcina (2020): Exertional Rhabdomyolysis ans Acute Kidney Injury in endurance sports : a systematic review. European Journal of Sport Science, DOI: 10.1080/17461391.2020.1746837

Demartini, J.K.; Casa, D.J.; Stearns, R.; Belval, L.; Crago, A.; Davis, R.; Jardine, J. Eectiveness of cold water immersion in the treatment of exertional heat stroke at the Falmouth Road Race. Med. Sci. Sports Exerc. 2015, 47, 240–245.

Dujardin M. et coll. Étude rétrospective des coureurs d'un ultra-trail ayant recours aux services d'accueil des urgences. Exemple de La Diagonale des Fous 2012:86.

E Walter, R Venn, T Stevenson . Exertional heat stroke — the athlete's nemesis. © The Intensive Care Society 2012

Gergelé L. et coll. - Du sport extrême à la réanimation - From extreme sports to intensive care unit. © 2010 Société de réanimation de langue française. Publié par Elsevier Masson SAS.

Gergele L., Stephane Bergzoll, Yann-Erick Claessens, Nicolas Peschanski - Conférence des journées thématiques de la Société Française de médecine d'urgence : Sports extremes – Ultra-endurance : Médicalisation d'épreuves sportives en extérieur. 2019

Huerta-Alardin AL, Varon J, Marik PE. Bench-to-bedside review: rhabdomyolysis—an overview for clinicians. Crit Care 2005;9:158—69.

Hoffman, M.D.; Stuempfle, K.J. Is Sodium Supplementation Necessary to Avoid Dehydration During Prolonged Exercise in the Heat? J. Strength Cond. Res. 2016, 30, 615–620.

Hoffman, M.D.; Stuempfle, K.J. Is Sodium Supplementation Necessary to Avoid Dehydration During Prolonged Exercise in the Heat? J. Strength Cond. Res. 2016, 30, 615–620.

Hoffman, M. D., and Weiss, R. H. (2016). Does acute kidney injury from an ultramarathon increase the risk for greater subsequent injury? Clin J Sport Med 26, 417–422. doi:10.1097/JSM.0000000000000277.

Hoffman, M. D., Goulet, E. D. B., and Maughan, R. J. (2017b). Considerations in the use of body mass change to estimate change in hydration status during a 161-kilometer ultramarathon running competition. Sports Med. 48, 1–8. doi: 10.1007/s40279-017-0782-3

Hoffman, Trent Stellingwerff & Ricardo J.S. Costa (2018): Considerations for ultra-endurance activities: part 2 – hydration, Research in Sports Medicine, DOI: 10.1080/15438627.2018.1502189

Kellum, J. A. (2015). Diagnostic Criteria for Acute Kidney Injury. Critical Care Clinics 31, 621–632. doi: 10.1016/j.ccc.2015.06.001.

Knechtle B and Nikolaidis PT (2018) Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running. Front. Physiol. 9:634. doi: 10.3389/fphys.2018.00634

Lipman, G. S., Krabak, B. J., Rundell, S. D., Shea, K. M., Badowski, N., and Little, C. (2016). Incidence and prevalence of acute kidney injury during multistage ultramarathons. Clin. J. Sport Med. 26, 314–319. doi: 10.1097/JSM.0000000000000253

Lipman, G. S., Shea, K., Christensen, M., Phillips, C., Burns, P., Higbee, R., et al. (2017). Ibuprofen versus placebo effect on acute kidney injury in ultramarathons: a randomised controlled trial. Emerg. Med. J. 34, 637–642. doi: 10.1136/emermed-2016-206353

Martin D. Hoffman • Andy Pasternak • Ian R. Rogers • Morteza Khodaee • John C. Hill • David A. Townes • Bernd Volker Scheer • Brian J. Krabak • Patrick Basset • Grant S. Lipman Medical Services at Ultra-Endurance Foot Races in Remote Environments: Medical Issues and Consensus Guidelines. Ó Springer International Publishing Switzerland (outside the USA) 2014

McGreal, K., Budhiraja, P., Jain, N., and Yu, A. S. (2016). Current challenges in the evaluation and management of hyponatremia. Kidney Dis (Basel) 2, 56–63. doi: 10.1159/000446267

Noakes, T.D. (2008).Water intoxication - Considerations for patients, athletes and physicians. Pract. Gastroenterol. 32, 46–53.

Paul Ronto. The State of Ultra running 2020. Août 2021.
Lien internet: https://runrepeat.com/state-of-ultra-running

Pryor RR, Roth RN, Suyama J, Hostler D. Exertional heat illness: emerging concepts and advances in prehospital care. Prehosp Disaster Med. 2015;30(3):297-305.

Rebecca L. Stearns and al. Incidence of Recurrent Exertional Heat Stroke in a Warm-Weather Road Race. December 2020

Ricardo J.S. Costa, Martin D. Hoffman & Trent Stellingwerff (2018): Considerations for ultra-endurance activities: part 1- nutrition, Research in Sports Medicine, DOI: 10.1080/15438627.2018.1502188

Rojas-Valverde, D., Sánchez-Ureña, B., Pino-Ortega, J., Gómez-Carmona, C., Gutiérrez- Vargas, R., Timón, R., et al. (2019b). External Workload Indicators of Muscle and Kidney Mechanical Injury in Endurance Trail Running. International Journal of Environmental Research and Public Health 16, 3909. doi:10.3390/ijerph16203909.

Shin, K. A., Park, K. D., Ahn, J., Park, Y., and Kim, Y. J. (2016). Comparison of changes in biochemical markers for skeletal muscles, hepatic metabolism, and renal function after three types of long-distance running. Medicine 95:e3657. doi: 10.1097/MD.0000000000003657

Smith, R.; Jones, N.; Martin, D.; Kipps, C. "Too much of a coincidence": Identical twins with exertional heatstroke in the same race. BMJ Case Rep. 2016.

Stahl, K., Rastelli, E., and Schoser, B. (2019). A systematic review on the definition of rhabdomyolysis. Journal of Neurology. doi:10.1007/s00415-019-09185-4.

Stuempfle, K. J., Lehmann, D. R., Case, H. S., Bailey, S., Hughes, S. L.,McKenzie, J., et al. (2002). Hyponatremia in a cold weather ultraendurance race. AlaskaMed. 44, 51–55.

Tietze, D. C., and Borchers, J. (2014). Exertional Rhabdomyolysis in the Athlete: A Clinical Review. SPORTS HEALTH 6, 5.

Valentino, T. R., Stuempfle, K. J., Kern, M., and Hoffman, M. D. (2016). The influence of hydration state on thermoregulation during a 161-km ultramarathon. Res. Sports Med. 24, 212–221. doi: 10.1080/15438627.2016.1191491

Willmott, A. G. B., Hayes, M., Waldock, K. A. M., Relf, R. L., Watkins, E. R., James, C. A., et al. (2017). Short-term heat acclimation prior to a multi-day desert ultra-marathon improves physiological and psychological responses without compromising immune status. J. Sports Sci. 35, 2249–2256. doi: 10.1080/02640414.2016.1265142