

## Tables des matières

<b>1</b>	<b>RESUME.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>LISTE DES ABREVIATIONS ET LEXIQUE.....</b>	<b>6</b>
2.1	Abréviations .....	6
2.2	Lexique .....	6
<b>3</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CADRE DE REFERENCE .....</b>	<b>8</b>
4.1	Hydratation .....	8
4.1.1	<i>Eau corporelle et turnover hydrique .....</i>	8
4.1.2	<i>Régulation hormonale de l'eau .....</i>	9
4.2	Environnement.....	10
4.2.1	<i>La chaleur et l'humidité.....</i>	10
4.2.2	<i>Acclimatation et exercice .....</i>	11
4.2.3	<i>Autres facteurs environnementaux.....</i>	11
4.3	Activité physique .....	11
4.3.1	<i>Physiologie .....</i>	11
4.3.2	<i>Thermorégulation .....</i>	12
4.3.3	<i>Fatigue .....</i>	14
4.3.4	<i>Déshydratation .....</i>	14
4.4	Guidelines de l'hydratation .....	15
4.4.1	<i>Historique.....</i>	15
4.4.2	<i>Les deux points de vue fondamentaux.....</i>	17
4.4.3	<i>Les recommandations actuelles : sur quoi se basent-elles ? .....</i>	18
4.4.4	<i>Guidelines : hydratation avant l'effort .....</i>	18
4.4.5	<i>Guidelines : hydratation pendant l'effort.....</i>	19
4.4.6	<i>Guidelines : hydratation après l'effort .....</i>	20
4.5	Rafraîchissement.....	20
4.5.1	<i>Precooling .....</i>	20
4.5.2	<i>Percooling .....</i>	20
4.5.3	<i>Mécanismes du pre- et percooling .....</i>	21
4.5.4	<i>Température corporelle .....</i>	21
4.5.5	<i>Méthodes de rafraîchissement et leur mécanisme .....</i>	22
4.6	Guidelines du rafraîchissement.....	25
4.6.1	<i>Historique et recommandations actuelles .....</i>	25
<b>5</b>	<b>QUESTIONS DE RECHERCHE .....</b>	<b>25</b>
5.1	Question de recherche N°1 .....	25
5.2	Question de recherche N°2 .....	26
5.3	Hypothèses.....	26
5.3.1	<i>Hypothèse n°1 : .....</i>	26
5.3.2	<i>Hypothèse n°2 : .....</i>	26
<b>6</b>	<b>BUT ET OBJECTIFS DU TRAVAIL .....</b>	<b>26</b>
6.1	But : .....	26
6.2	Objectifs : .....	26
<b>7</b>	<b>METHODOLOGIE .....</b>	<b>27</b>
7.1	Revue de littérature .....	27
7.1.1	<i>Source de données .....</i>	27
7.1.2	<i>Critères d'inclusion.....</i>	27
7.2	Sélection des articles.....	29
7.3	Sélection selon la qualité de l'étude .....	29

7.4	Extraction des données et variables :	29
<b>8</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>30</b>
8.1	Résultats de la question de recherche n°1 :	30
8.1.1	<i>Caractéristiques de la population :</i>	32
8.1.2	<i>Température ambiante :</i>	32
8.1.3	<i>Performance des athlètes :</i>	32
8.1.4	<i>Etat d'hydratation :</i>	34
8.1.5	<i>Taux de transpiration</i>	35
8.1.6	<i>Température corporelle :</i>	35
8.1.7	<i>La fréquence cardiaque :</i>	36
8.1.8	<i>Paramètres sanguins</i>	36
8.1.9	<i>Ressenti et perception des sensations :</i>	36
8.2	Résultats de la question de recherche N°2 :	38
8.2.1	<i>Caractéristiques de la population</i>	39
8.2.2	<i>Température ambiante</i>	40
8.2.3	<i>Performance des athlètes</i>	40
8.2.4	<i>Température corporelle</i>	41
8.2.5	<i>Fréquence cardiaque</i>	43
8.2.6	<i>Paramètres biologiques</i>	44
8.2.7	<i>Ressenti et perception</i>	44
<b>9</b>	<b>Discussion</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>Perspectives</b>	<b>54</b>
<b>11</b>	<b>Conclusion</b>	<b>55</b>
<b>12</b>	<b>Remerciements</b>	<b>56</b>
<b>13</b>	<b>Liste de références bibliographiques</b>	<b>57</b>
<b>14</b>	<b>Liste bibliographique</b>	Erreur ! Le signet n'est pas défini.
<b>15</b>	<b>Annexes</b>	<b>62</b>

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteur-e-s et en aucun cas celle de la Haute école de santé Genève, du Jury ou du Directeur de Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seuls le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste des références bibliographiques.

Juillet 2017

Amadio Roberto et Steiner Camille

## 1 RESUME

### Introduction

En course à pied, notamment lors d'épreuve d'endurance, l'hydratation et le rafraîchissement représentent des sujets de controverses. Les recommandations pratiques et la littérature expriment la nécessité d'un bon état hydrique pour améliorer la performance. Cependant certaines études ont montré que les coureurs les plus rapides étaient les plus déshydratés. En outre, le rafraîchissement avant (precooling) et pendant la course (percooling) a montré son efficacité sur la performance lors de grandes chaleurs mais les méthodes et leurs effets sont encore discutés et controversés.

### But

Le but de ce Travail de Bachelor était d'identifier les impacts de l'hydratation et du rafraîchissement sur la performance des coureurs de fond en recensant les recommandations et les études sur l'hydratation et le rafraîchissement.

### Méthode

Le but a été atteint par le biais d'une revue de littérature rassemblant des articles à partir de la base de données *Pubmed*. L'impossibilité de trouver des articles rassemblant l'hydratation et le rafraîchissement a suscité la séparation de la question de départ en deux questions de recherche :

- Quel est l'impact de l'hydratation sur la performance physique chez les coureurs de fond ?
- Quel est l'impact du rafraîchissement sur la performance physique chez les coureurs de fond ?

### Résultats

Les 4 articles retenus pour la revue de littérature concernant l'hydratation ont mis en évidence que dans un environnement chaud, un état euhydraté avant la course avec un apport hydrique au cours de la course permettaient une meilleure performance de temps que de débuter avec un état déshydraté et avec une restriction hydrique pendant la course. Les 5 études sur le rafraîchissement démontrent que, dans un environnement chaud, les interventions (precooling ou percooling) résultent en une meilleure performance que les conditions contrôle (sans cooling), malgré une température corporelle généralement plus élevée ainsi qu'une sensation thermique et un taux de fatigue perçue similaires. Les résultats ont permis de créer un protocole de recommandations sur l'hydratation et le rafraîchissement destiné aux coureurs d'élite et leurs coachs.

### Conclusion

Lors d'exercice dans un environnement chaud, débuter la course avec un état euhydraté et s'hydrater pendant la course permettent d'optimiser la performance. La mise en place d'un pre- et percooling permet également d'améliorer le temps de course. Néanmoins, la quantité de fluide et le choix du rafraîchissement doivent être adapté à l'athlète, selon ses besoins physiologiques individuels et sa tolérance.

## 2 LISTE DES ABREVIATIONS ET LEXIQUE

### 2.1 Abréviations

<b>ACSM</b>	American College of Sports Medicine
<b>HC</b>	Hydrate de carbone
<b>HYR</b>	Déshydraté
<b>HY</b>	Euhydraté
<b>CWI</b>	Cold water immersion ou immersion dans l'eau froide

### 2.2 Lexique

Nous avons classé les différents tableaux explicatifs selon un code de couleur : le vert représente l'hydratation et le bleu le rafraîchissement ou cooling.

<b>Cooling</b>	Moyens de rafraîchissement. Terme utilisé pour parler de rafraîchissement en général. Ces méthodes sont utilisées dans des environnements chauds.
<b>Precooling</b>	Méthodes utilisées afin de permettre la suppression rapide de la chaleur du corps, avant le début de la course, afin de permettre une capacité plus grande de stockage de la chaleur et de prolonger le temps avant le début de la fatigue induite par l'hyperthermie (1).
<b>Percooling</b>	Méthodes de réduction de la contrainte thermique durant un effort.
<b>Pré-run</b>	Terme employé pour parler de la période "avant la course".
<b>Post-run</b>	Terme employé pour parler de la période "après la course".
<b>Euhydraté</b>	Terme utilisé pour parler des athlètes qui sont correctement/ suffisamment hydratés.
<b>Ad libitum</b>	"Jusqu'à satisfaction", à volonté ou comme l'athlète le souhaite (2).
<b>Heat exhaustion</b>	"Epuisement par la chaleur" est le précurseur du "coup de chaleur". Ce phénomène se manifeste par une grande transpiration, des pulsations rapides, de la fatigue, la peau moite, des crampes musculaires, des nausées ou encore un mal de tête. Ces symptômes se produisent souvent après une période d'exercice prolongé (3).
<b>Heat stroke</b>	"Coup de chaleur" ou hyperthermie maligne. Selon la revue médicale suisse (4), le coup de chaleur d'exercice est défini par une température corporelle centrale supérieure à 40° C et des troubles neurologiques en lien avec un effort physique. Il reflète une production de chaleur dépassant les mécanismes de thermorégulation de l'organisme et s'observe le plus souvent lors d'exercice physique intense en milieu chaud et humide. Les manifestations cliniques sont liées à l'induction d'une réponse inflammatoire systémique et à une coagulation intravasculaire disséminée déclenchées par le stress thermique intense, pouvant conduire à la dysfonction multiorganique, voire au décès.

### 3 INTRODUCTION

Dans le milieu sportif actuel, les coureurs de fond d'élite adoptent un style de vie et une alimentation visant à optimiser leur état physique durant les entraînements et les compétitions. Pendant l'exercice, ils recourent à diverses techniques afin d'améliorer leur performance, qu'il s'agisse d'un protocole d'hydratation et d'alimentation, du dernier équipement disponible sur le marché ou, pour certains, de produits légaux ou illégaux considérés comme améliorateurs de performance.

Cependant, les effets de certaines de ces techniques sont controversés. Certaines d'entre elles reposent sur des hypothèses de mécanisme d'action, dont les preuves scientifiques sont encore limitées ou basées sur aucun fondement scientifique, mais sur des anecdotes personnelles. Leur réputation est ainsi due uniquement au marketing et à la désinformation.

L'hydratation des coureurs de fond d'élite représente l'un des exemples de controverses (5). Maintenir un bon état d'hydratation pendant la course semble améliorer la performance (6), cependant, lors de certains marathons, il a été observé que les coureurs les plus performants sont ceux qui étaient les plus déshydratés (7). Or, est-ce que la performance athlétique aurait pu être optimisée si ces marathoniens s'étaient hydratés davantage ?

Les méthodes de rafraîchissement sous la chaleur en sont un deuxième exemple. L'augmentation de la température corporelle induite par l'exercice et amplifiée dans des conditions d'environnement chaud est considérée comme anti-performante (8). Ainsi, des méthodes de rafraîchissement avant et pendant l'effort permettent de limiter cette hausse de température corporelle, ce qui amélioreraient la performance sportive. Cependant, les preuves scientifiques sont limitées et le rafraîchissement n'est par conséquent pas considéré comme bénéfique aux yeux de tous.

Le but du présent travail est d'expliquer ces sujets à controverses et de proposer un protocole dédié aux athlètes d'élite pour optimiser leur performance lors des courses sous la chaleur qui prend en compte l'hydratation et le rafraîchissement. Le cadre de référence rappellera les spécificités de l'exercice sous la chaleur, les différents points de vue sur l'hydratation et les méthodes de rafraîchissement existantes ainsi que leur potentiel mécanisme d'action. Puis, les deux revues de littératures permettront de rassembler la littérature échéante afin de faire le point sur les deux sujets.

## 4 CADRE DE REFERENCE

### 4.1 Hydratation

#### 4.1.1 Eau corporelle et turnover hydrique

L'eau est le principal constituant du corps humain et est indispensable à la vie. Bien que l'organisme puisse survivre pendant plusieurs semaines sans apport alimentaire, sa survie en est que d'environ 3 jours sans aucun apport hydrique. En effet, aucune réaction biologique ou fonction dans l'organisme n'est possible sans eau (9).

Elle représente plus de la moitié du poids corporel : 50-55% chez la femme et environ 60% chez l'homme (10). Ce taux varie considérablement selon l'âge, le sexe et la composition corporelle de chaque individu. La teneur en eau de la masse maigre est beaucoup plus importante (73%) que pour la masse grasse (10%) (11). Les femmes ont en général une masse grasse plus importante que les hommes et donc une masse hydrique totale moins importante. Les personnes âgées ont une masse musculaire (qui fait partie de la masse maigre) moins élevée qu'un adulte en bonne santé, soit une masse hydrique totale inférieure (12). À l'inverse, les athlètes ont une masse hydrique totale importante, due à la proportion de masse musculaire conséquente.

L'eau corporelle est répartie dans les compartiments intracellulaires et extracellulaires. 2/3 de la masse hydrique est contenue dans l'espace intracellulaire, ce qui représente en moyenne pour un adulte de 70kg, 28 litres (soit 40% du poids total du corps). Le liquide intracellulaire contient une haute concentration en protéines, potassium et phosphates et une concentration basse en sodium et chlore. (13)

Le reste de l'eau occupe l'espace extracellulaire. Ce compartiment est composé du plasma (3 litres) et du liquide interstitiel (11 litres) (13). Ceux-ci sont séparés par la membrane capillaire et ont une composition similaire excepté la concentration en protéines qui varie au niveau plasmatique. Leur concentration est élevée en sodium ( $\text{Na}^+$ ) et en chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), tandis qu'elle est basse en potassium ( $\text{K}$ ) et calcium ( $\text{Ca}$ ), phosphate ( $\text{P}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}$ ). (12)

L'équilibre hydrique du corps est relativement stable à des températures comprises entre 18 et -20°C et avec une activité modérée, malgré les apports et pertes constants en eau. Elle est régulée par un système permanent d'échanges de liquides, d'ions et de solutés entre les deux compartiments. Selon l'EFSA 2010 (10), l'équilibre hydrique ou turnover hydrique est défini comme étant la différence entre la somme de la consommation d'eau (hydrique et alimentaire) et de la production endogène (produite par le métabolisme oxydatif des substrats des nutriments énergétiques, soit les glucides, protéines et lipides), moins la somme des pertes (tableau 1) (14). Ces pertes sont dues à la sueur, l'urine, la respiration et les selles et varient donc en fonction de la consommation liquidienne, du régime alimentaire, l'activité physique et la température ambiante. Par exemple, la miction urinaire varie d'un jour à l'autre, de l'ordre de 0.5 à 3 litres par jour (12).

Ainsi, le turnover hydrique reflète l'homéostasie de l'eau corporelle sur une période de temps donné (15).

**Tableau 1 : Balance hydrique quotidienne (moyenne chez un adulte de 70kg)**

Apports		Pertes	
Boissons	1000 - 1500 ml	Insensibles : transpiration et perspiration (échanges gazeux à travers la peau)	800 - 1000 ml
Aliments	700 ml	Selles	100 ml
Production endogène	300 ml	Urine	1500 ml
<b>Total</b>	<b>2000 - 2500 ml</b>	<b>Total</b>	<b>2000 - 2500 ml</b>

#### 4.1.2 Régulation hormonale de l'eau

La régulation de l'eau par 24h est assurée et a une précision de 0.2% par rapport au poids de base grâce aux mécanismes hormonaux impliqués (16) (figure 1).

Le cerveau possède des récepteurs osmotiques mesurant l'osmolalité du plasma et indique, par la concentration de sodium plasmatique, l'état hydrique du corps. La concentration en solutés est tout aussi importante que la quantité d'eau dans le corps. En effet, tout changement d'osmolalité, même petit, peut être critique pour les fonctions métaboliques. C'est pourquoi l'osmolalité est étroitement surveillée et dès une variation de 1%, les mécanismes métaboliques développés ci-dessous sont enclenchés. Plusieurs facteurs influencent temporairement l'osmolalité, tels que les apports alimentaires ou l'exercice physique (9).

Ce déphasage entre pertes et apports place les reins comme organe central de l'homéostasie hydrique, car ils modulent le volume d'eau excrétée par les urines (17). Par leur fonction primaire de filtration du sang et d'élimination de déchets ou de surplus de molécules, ils contribuent à la balance hydrique et à la balance électrolytique. Deux hormones principales régulent ce système : l'ADH et l'aldostérone (18).

L'ADH, ou également appelé vasopressine, est une hormone peptidique antidiurétique permettant de réguler la quantité d'eau dans le corps en limitant les pertes. Elle est produite par l'hypothalamus et libérée par l'hypophyse. Elle agit sur le segment distal des néphrons du rein où elle provoque une réabsorption d'eau. Les facteurs stimulants sa sécrétion sont une hypovolémie et/ou une hyperosmolarité plasmatique. Elle peut également être secrétée par d'autres facteurs tels que certaines émotions, la douleur, certaines substances pharmacodynamiques (nicotine et morphine) ou la chaleur. À l'inverse, les facteurs inhibiteurs sont une hypotonie plasmatique et/ou une hypervolémie. Le froid et les substances pharmacodynamiques d'adrénaline et d'alcool sont également susceptibles d'inhiber l'ADH (19).

L'aldostérone est quant à elle une hormone produite par les glandes surrénales. Sa sécrétion est principalement stimulée par l'action de l'angiotensine II ou par une élévation de la kaliémie liée principalement à une hypovolémie (19). Elle participe au système rénine-angiotensine-aldostérone dont elle a un rôle prépondérant dans le maintien de la pression artérielle. Suite à une cascade de réactions enzymatiques, le système rénine-angiotensine-aldostérone permet d'augmenter la pression artérielle par plusieurs mécanismes dont deux d'entre eux sont la réabsorption d'eau et de NaCl (20). La soif est un autre mécanisme de régulation hydrique en stimulant l'apport d'eau. Le centre de la soif se trouve dans l'hypothalamus et est lié aux récepteurs osmotiques (21). La soif résulte en une variété

de signaux incitant à la consommation de fluide afin de préserver le capital hydrique. Deux types sont distinguables : la soif intracellulaire correspondant à une augmentation de la concentration osmotique et la soif extracellulaire correspondant à une diminution du volume d'eau comme lors d'exercice où il y a une perte d'eau via la transpiration. La soif apparaît lorsqu'il y a une augmentation de 1 à 2% de la concentration de solutés ou une diminution du volume sanguin d'environ 10%. Suite à l'ingestion de liquide, plusieurs niveaux de contrôle se succèdent pour envoyer des signaux destinés à couper la soif. Dans l'ordre, ils sont la bouche et le gosier, la sphère gastro-intestinale et les facteurs post-absorptifs. Cependant, le mécanisme de la soif reste peu précis puisqu'il répond tardivement à un début de déshydratation et ne restaure pas entièrement l'équilibre hydrique initial étant donné que le volume d'eau ingérée est fréquemment inférieur au volume d'eau perdue (17). Le point 4.4 aborde la question si respecter la sensation de soif lors d'exercice est suffisant pour maintenir un bon état d'hydratation. Pour limiter la déshydratation, l'activité physique même stimule le système rénine-angiotensine-aldostérone et la sécrétion d'ADH. Celle-ci répond lorsque l'intensité de l'exercice >60% VO<sub>2</sub> max et la sécrétion augmente progressivement au cours de l'exercice (18).

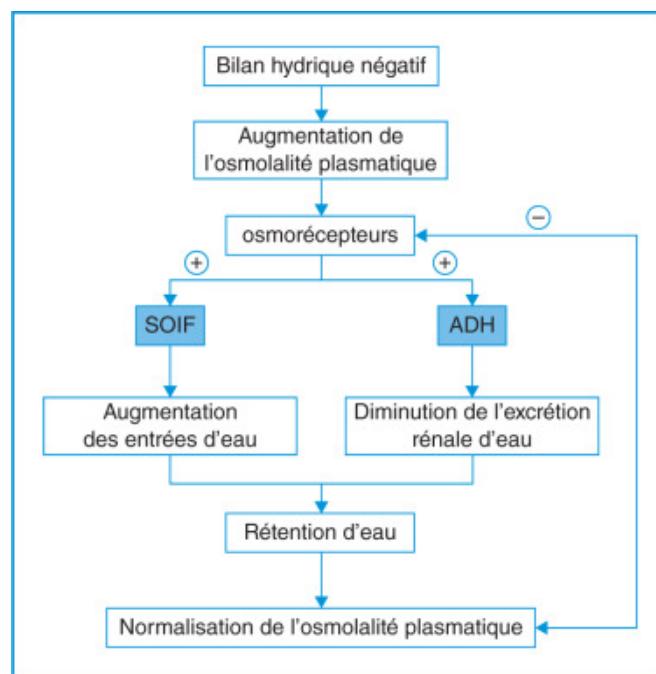


Figure 1 : régulation hormonale de l'eau

## 4.2 Environnement

Différents facteurs environnementaux, comme la température, l'humidité, la pression atmosphérique ou l'altitude affectent la balance hydrique corporelle. Ces facteurs engendrent toujours des pertes d'eau par différents mécanismes (22).

### 4.2.1 La chaleur et l'humidité

Le facteur le plus commun qui peut altérer l'équilibre hydrique est la température ambiante élevée (> 28°C) (12). L'exercice sous la chaleur peut être altéré si l'athlète ne met pas en place des mesures spécifiques. En effet, dans de telles conditions, la température corporelle augmente plus rapidement qu'une activité physique pratiquée en température modérée. Les rayons de soleil chauffent la peau de l'athlète par radiation et si celui-ci est en pleine activité physique, la montée de température a une « double » source : endogène (due au métabolisme de l'exercice) et exogène (due aux rayons de soleil et à la température)(23).

#### 4.2.2 Acclimatation et exercice

Afin de diminuer le risque d'hyperthermie, les athlètes sont encouragés à s'acclimater aux environnements chauds et de s'hydrater pendant l'exercice (2). L'acclimatation peut se faire en s'exposant passivement (sans exercice) ou activement (avec exercice) sous de grandes chaleurs ; en notant que l'exposition active est plus efficace. L'acclimatation permet les bénéfices physiologiques suivants : augmentation du volume du plasma, réduction du rythme cardiaque, réduction de la température corporelle durant l'exercice, augmentation du volume de sueur diluée, mécanisme de transpiration sollicité plus tôt dans l'effort et réduction de la glycogénolyse (24).

Pour les athlètes qui participent à une compétition dans un environnement chaud, S. Racinais et al. (2) recommandent :

- Une acclimatation à la chaleur avec des entraînements répétés sous la chaleur pour obtenir les adaptations biologiques permettant de diminuer l'effort physique physiologique et améliorer la performance.
- Les entraînements doivent durer au minimum 60 min/j et à une intensité induisant une augmentation de la température corporelle et cutanée avec une stimulation de la transpiration.
- Les athlètes sont encouragés à s'acclimater à l'endroit où la compétition a lieu. Si ce n'est pas envisageable, préférer un entraînement dans une salle à environnement chaud.
- Les adaptations sont obtenues dès les premiers jours d'exercice. Cependant, les adaptations physiologiques principales s'obtiennent après 1 semaine. Idéalement, la période d'acclimatation devrait durer 2 semaines afin de maximiser les bénéfices.

#### 4.2.3 Autres facteurs environnementaux

En haute altitude (>2000m (25)), l'environnement est plus froid et sec et engendre une perte d'eau corporelle supplémentaire à travers la respiration, tant au repos qu'à l'exercice. En effet, ces conditions additionnées à une hypoxie résultent en une hyperventilation (22). L'exposition en altitude, courte ou longue, augmente le métabolisme énergétique de base et l'oxydation d'hydrates de carbone lors d'exercice. Toutefois, pour cette étude, l'influence de l'altitude sur la performance ne s'applique pas étant donné que les études répertoriant les courses à plus de 2000m seront exclues.

Le taux d'humidité, ou humidité relative, correspond au rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans 1m<sup>3</sup> d'air et la quantité nécessaire pour saturer cet air. Un taux s'élevant à 100% équivaut à la valeur maximum de vapeur d'eau que l'air peut contenir avant condensation (26). Pour le confort des êtres humains, un taux d'humidité entre 45 et 60% est idéal. En dessous, la respiration s'avère difficile et les muqueuses s'assèchent alors qu'en dessus, les voies respiratoires ne se dessèchent plus, mais les transferts thermiques entre le corps et l'air augmentent (27). L'humidité dépend de la pression et de la température. Plus cette dernière augmente, plus l'humidité augmente également.

### 4.3 Activité physique

#### 4.3.1 Physiologie

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit l'activité physique comme tout mouvement produit par les muscles squelettiques, responsable d'une augmentation de la dépense énergétique (28). En effet, l'exercice physique requiert de l'énergie sous forme d'ATP afin de faire fonctionner les muscles squelettiques ainsi que de l'eau pour que les nombreuses réactions chimiques puissent avoir lieu. Les hydrates de carbone constituent la première source d'énergie lors d'un exercice de type d'endurance

(9). Le corps contient des réserves glucidiques, appelées glycogène, dans le foie et dans les muscles à des fins énergétiques. La glycogénolyse est le processus permettant de métaboliser le glycogène afin de fournir de l'ATP. Pour ceci, 3 processus sont impliqués dans la cellule : la glycolyse « aérobie » dans le cytoplasme, le cycle de Krebs et la chaîne de transport des électrons, tous deux dans la mitochondrie. Cette dernière étape est également appelée la phosphorylation oxydative (29).

Cependant, lors d'exercice d'endurance, les réserves glucidiques sont insuffisantes. Le corps requiert une autre voie métabolique : la β-oxydation. Ainsi, la part des lipides à la production d'énergie augmente lorsque l'exercice se prolonge. L'oxydation des graisses génère plus d'énergie que l'oxydation des hydrates de carbone, mais nécessite plus d'oxygène. Le débit de production d'ATP étant moindre, l'intensité de l'exercice est légèrement diminuée. Dans l'exemple de la course à pied, ceci se traduirait par une vitesse de course diminuée (9).

L'exercice sous la chaleur est associé à une utilisation d'hydrates de carbone augmentée. En effet, la température des muscles et le taux d'adrénaline sont responsables de l'utilisation du glycogène. La glycogénolyse hépatique et musculaire ainsi que l'accumulation de lactate sanguin et musculaire sont augmentées afin de donner plus d'énergie par unité de temps. Cette augmentation coïncide avec une réduction de la mobilisation des lipides, tant des acides gras libres plasmatiques que les triglycérides intramusculaires. En outre, la dégradation des protéines serait également davantage stimulée, mais ceci davantage d'investigations (9).

Ceci suscite que la performance d'endurance sous la chaleur n'est pas uniquement liée à l'état d'hydratation, mais également à la capacité de mobilisation des glucides. Cela est davantage détaillé dans le point 4.3.3.

L'eau est un élément important lors d'exercice physique pour ses fonctions suivantes (30) :

- Elle assure l'activité métabolique des cellules puisqu'elle en est la principale constituante et sert de solvant pour les réactions biochimiques telles que celles produites lors du métabolisme énergétique.
- Le sang permet le transport des nutriments et substances aux cellules et des produits de dégradations et toxiques aux voies d'élimination.
- Elle joue un rôle considérable dans la régulation thermique du corps et aide au maintien de la température corporelle en absorbant la chaleur produite et la dissipant à l'extérieur par le processus de transpiration. La thermorégulation est détaillée au point suivant.

#### 4.3.2 Thermorégulation

Le métabolisme énergétique lié à l'exercice entraîne une production de chaleur dans le corps et provoque une hyperthermie qui est définie par une température corporelle excédant 40°C (4). L'organisme supportant mal celle-ci, différents mécanismes se mettent en place afin de dissiper la chaleur (figure 2). La transpiration, également appelée sueur, en est le mécanisme le plus important, car il permet de dissiper le 75% de la chaleur avec approximativement 580 kcal de chaleur pour chaque litre de transpiration évaporée (4). La transpiration est composée d'eau à plus de 99%, le reste étant des minéraux, dont principalement le sodium à une concentration moyenne de 50 mmol/l (ou 1 g/l). Le restant des substances est le potassium, le magnésium et le chlorure (6).

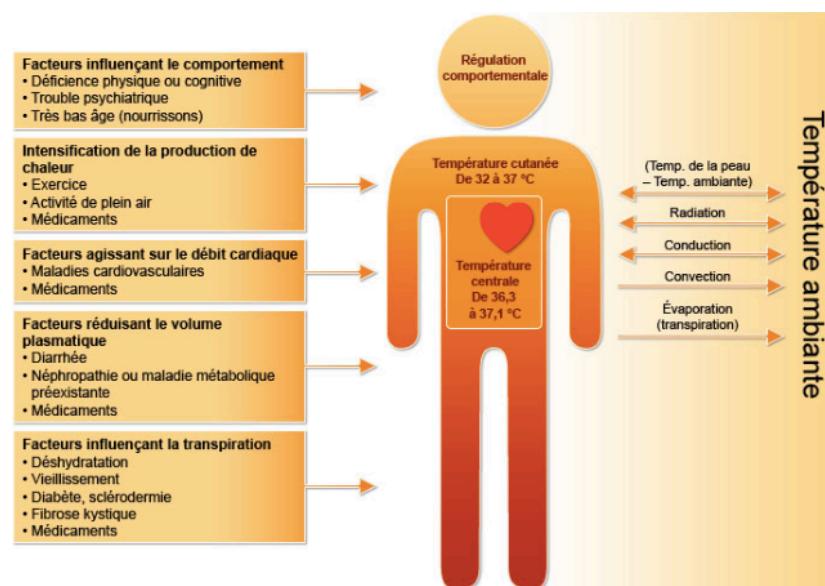
Lors d'absence d'activité physique à température modérée, le taux de transpiration est faible tandis que lors d'exercice, le taux peut s'élever en moyenne entre 1 à 2 litres par heure (9)(2). Il pourrait même atteindre les 3 litres par heure pour des exercices plus courts, mais à plus haute intensité et/ou sous une haute chaleur. Ces fourchettes s'expliquent par les différences interindividuelles de taux de transpiration.

Lorsque la durée et l'intensité de l'activité physique sont trop importantes, les mécanismes de thermorégulation ne sont plus suffisants pour maintenir la température corporelle, et ce particulièrement dans un environnement chaud. Ainsi, si la production de chaleur ne diminue pas, soit par maintien de l'intensité de l'exercice ou par dérèglement du système d'évaporation sous la chaleur, la hausse de température résulte en une hyperthermie. Cette dernière impacte négativement la performance physique et peut devenir critique pour la santé, voire fatale dans les cas les plus sévères (2).

L'hypothalamus contrôle la température corporelle qui doit être maintenue dans une fourchette étroite autour des 37°C (31). Si la température est hors de la fourchette, elle impacte la vitesse des réactions enzymatiques se traduisant par un taux métabolique diminué. Les pertes de chaleur peuvent se faire par radiation (émission sous forme de radiations électromagnétiques), conduction (diffusion par contact physique avec un objet), convection (renouvellement de l'air ou de l'eau en contact avec le corps) ou évaporation (passage de l'état liquide à l'état gazeux via la sudation ou la respiration). Cette dernière est celle qui est la plus sollicitée lors de la course à pied.

La sudation entraîne une vasodilatation. Le volume sanguin augmente ainsi en périphérie aux dépens du volume sanguin central. Le rythme cardiaque augmente afin d'assurer la circulation sanguine jusqu'aux capillaires et pour compenser l'hypovolémie causée par l'évaporation au cours de l'exercice. Dans un état d'hypovolémie, soit de déshydratation, les muscles ne sont pas nourris adéquatement et ne peuvent par conséquent pas fonctionner de manière optimale, d'où la diminution de la performance. De plus, il y a une diminution de la sudation étant donné qu'il y a moins de sang en contact avec la peau (9).

Néanmoins, les mécanismes responsables de la baisse de la performance sous la chaleur ne sont pas encore tous élucidés. Une étude suggère que l'élévation de la température corporelle en soi est impliquée directement. Ceci est supporté par le fait que l'acclimatation à la chaleur permet de diminuer la température corporelle en état d'inactivité et de ralentir la montée de la température pendant l'exercice. (2)



**Figure 2 : Facteurs nuisant à la thermorégulation des humains et ayant une incidence sur le risque de maladies liées à la chaleur (32)**

#### 4.3.3 Fatigue

La fatigue se définit comme une réduction de la force ou de la capacité du muscle à régénérer la force. Plusieurs mécanismes peuvent être impliqués, mais les principaux sont liés aux réserves énergétiques musculaires. Lors d'épreuve d'endurance, la fatigue peut ainsi être un symptôme de la déplétion de glycogène puisque le corps n'est plus apte à fournir de l'énergie à partir de celui-ci. Dans une telle situation, le manque de glucides se manifeste par une hypoglycémie. En revanche, pour les exercices courts à haute intensité, la fatigue est en lien avec la réserve en créatine phosphate (9).

Toutefois, dans un environnement chaud, la fatigue apparaît avant la déplétion de glycogène. Ceci a été démontré par la composition d'un glycogène intramusculaire d'environ 300 mmol/kg de poids sec à la fatigue contre 150 mmol/kg dans des conditions moins chaudes. Ceci serait expliqué par le fait que l'hyperthermie conduirait à la fatigue avant que l'épuisement de glycogène le fasse. Ceci soulève d'une part l'importance de maintenir un état d'hydratation pendant l'exercice pour limiter la hausse de température corporelle et d'autre part la pertinence d'étudier les effets du rafraîchissement (9).

#### 4.3.4 Déshydratation

La déshydratation induite par l'exercice apparaît lorsque les pertes hydriques à travers la sudation ne sont pas ou insuffisamment remplacées par un apport en fluide. L'hypovolémie et l'hyperosmolalité plasmatiques sont proportionnelles au degré de déshydratation. L'hyperosmolalité diminue le taux de transpiration indépendamment de la température corporelle. La capacité de l'organisme à évacuer la chaleur est donc diminuée. En outre, les changements physiologiques induits par la déshydratation diminuent le remplissage cardiaque et compromettent la régulation de la pression artérielle. Par conséquent, la capacité de stockage de chaleur de l'organisme est altérée et le risque de faire un stress thermique (ou coup de chaleur) est augmenté. In fine, la tolérance à l'exercice sous la chaleur est diminuée (16).

L'impact de la déshydratation sur la performance en aérobic reste un sujet de controverses. Certaines études reportent que la déshydratation altère la performance à condition que l'activité physique soit pratiquée dans un environnement chaud et que la perte de poids soit > 2% (33). D'autres études reportent que la diminution de la performance est associée à une perte de poids de > 3% (34) ou > 4% (35). Goulet et al. (35) et Zatopek (36) explique que si la déshydratation dépasse les 4%, des symptômes apparaissent, tels qu'une baisse du volume sanguin, de la pression artérielle, du débit cardiaque et une élévation du pouls. Si elle se poursuit jusqu'à 8-10%, le pronostic vital est en jeu. En outre, l'ACSM (33) définit l'hypohydration sévère allant de 6% à 10% et que les symptômes sont plus prononcés sur la tolérance à l'exercice.

À l'inverse, certaines études d'observation reportent que les athlètes les plus rapides sont les plus déshydratés. L'étude sur le marathon du Mont-Saint-Michel en 2009 (37) démontre que les coureurs les plus rapides (< 3 heures de temps de course) avaient perdu en moyenne 3.1% du poids de base dont les plus déshydratés atteignaient 8%. Les coureurs qui ont couru entre 3 et 4 heures avaient en moyenne une perte de poids de 2.5% et 1.8% pour ceux de > 4 heures. L'hypothèse serait que les athlètes d'élite ont développé une capacité à tolérer la déshydratation grâce à différentes adaptations physiologiques acquises par le temps, mais dont les mécanismes ne sont pas encore élucidés (12). Cette idée est soutenue par l'étude de Fudge et al. (7) portant sur les marathoniens kenyans déshydratés. De plus, ces études dénoncent les firmes de boissons sportives qui ont accentué les effets de la déshydratation dans un intérêt de marketing (38).

#### 4.4 Guidelines de l'hydratation

##### 4.4.1 Historique

Les recommandations sur l'hydratation ont sans cesse évolué durant ces dernières années et sont encore un sujet de controverses, notamment à propos de la quantité de liquide à consommer et du type d'exercice. Le tableau 2 ci-dessous présente des exemples de guidelines et de positionnements publiés à travers le temps pour la course d'endurance.

**Tableau 2 : historique des guidelines sur l'hydratation**

Auteurs / Organisation	Recommendations / positionnements
Jusqu'au début des années 1970 (12)	Les athlètes étaient convaincus que d'éviter l'hydratation pendant l'exercice améliorait la performance.
1975 ACSM (39)	1ères guidelines sur l'hydratation s'adressant aux sponsors organisateurs des compétitions. Les guidelines suggèrent de ne pas organiser d'événements lorsqu'il fait plus de 28°C et qu'ils doivent fournir des boissons contenant 2.5g de glucose par 100ml et 10 mEq de sodium et 5 mEq de potassium par litre. Elle propose également d'amender les organisateurs qui interdisent l'ingestion d'eau dans les 10 premiers km du marathon car les athlètes devraient boire à intervalles réguliers. Ils proposent un ravitaillement tous les 3-4 km pour les courses de plus de 16 km.
1996 ACSM (40)	Afin de permettre un état d'hydratation optimal au début et pendant la compétition, l'ACSM recommande : <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Alimentation équilibrée et apports hydriques adéquats pendant les 24h avant la compétition et avec une attention particulière au dernier repas avant l'exercice.</li> <li>2) Boire 500 ml de fluide 2h avant l'exercice afin de laisse le temps d'excéter le surplus d'eau.</li> <li>3) Pendant l'exercice, l'athlète devrait boire tôt dans l'exercice et à intervalles réguliers ou de consommer la quantité maximale tolérable.</li> <li>4) Boire des fluides à température entre 15-22°C et les aromatiser afin d'augmenter la palatabilité.</li> <li>5) Les exercices de &lt; 1h, la consommation d'eau est suffisante.</li> <li>6) Pour les exercices de &gt;1h, consommer des hydrates de carbone à teneur de 30-60 g/h pour maintenir l'oxydation des glucides et retarder la fatigue. Consommer 600-1200 ml/h d'une solution contenant 4-8% d'hydrates de carbone. Les types d'HC sont : glucose, sucre ou maltodextrine.</li> <li>7) Inclure 0.5-0.7 g de sodium dans 100 ml d'eau durant les exercices &gt; 1h. Ceci aide également à augmenter la palatabilité et la rétention d'eau et à prévenir une hyponatrémie.</li> </ol>
2003 Noakes T et IMMAD (41)	Ne pas pousser les marathoniens à boire le plus possible, mais à boire ad libitum selon leur sensation de soif et pas plus de 400-800 ml/h.
2007 Noakes T (42)	Boire suffisamment afin de maintenir l'osmolalité plasmatique et non nécessairement le poids du corps, au repos et pendant l'exercice. Boire en maintenant le poids corporel peut altérer la performance d'exercice en induisant une pénalité en lien avec le poids et peut augmenter la probabilité d'avoir une hyponatrémie induite par l'exercice chez les marathoniens les plus lents.

2007 ACSM (8)	Elle suggère aux athlètes d'endurance de consommer ad libitum entre 0.4 et 0.8 L par heure et de ne pas dépasser les 2% de perte de poids corporelle qu'elle associe à une diminution de la performance.
2009 ACSM (6)	<p>Avant l'exercice :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au moins 4h avant l'exercice, boire approximativement 5-7 ml/kg de poids corporel d'eau ou de boisson sportive.</li> </ul> <p>Pendant l'exercice :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'hydrater de manière à ne pas dépasser les 2% de déshydratation.</li> <li>- Pour les exercices de &gt; 1h, consommer une boisson avec 6-8% d'hydrates de carbone (HC).</li> <li>- Consommer 30-60 g/h d'HC.</li> <li>- Ajouter du sodium et potassium.</li> </ul> <p>Après l'exercice :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boire au moins 450-650 ml de fluide pour chaque 0.5 kg de poids corporel perdu pendant l'exercice.</li> <li>- Consommer des boissons de réhydratation et des aliments salés aux repas ou snacks.</li> <li>- Durant les 30 min post-exercice : 1-1.5 g d'HC par kg de poids corporel, puis la même chose chaque 2h pendant 4-6h.</li> </ul> <p>Lors de conditions environnementales chaudes ou humides :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Il est nécessaire de prendre toutes les précautions pour assurer un bon état d'hydratation en ayant accès à l'eau en abondance et avec un monitoring afin de prévenir des complications liées à l'hyperthermie.</li> </ul>

Jusqu'au milieu des années 70, the International Governing Body of Athletics (IAAF) imposait un règlement selon lequel il ne devait pas y avoir des stands de ravitaillements avant 15 km de course (12). De ce fait, il n'y avait en moyenne que 4 stands de ravitaillements lors des marathons. De plus, l'hydratation était perçue comme étant un signe de faiblesse ce qui ne sollicitait pas les athlètes à s'hydrater. Ceci en plus de l'accès limité à l'hydratation pendant les courses a engendré de nombreux cas de déshydratation.

Les premières guidelines sur l'hydratation pour les courses de fond ont été publiées dans en 1975 par l'ACSM (39). Elles s'adressaient aux sponsors locaux, nationaux et internationaux des courses d'endurance afin de les sensibiliser aux coups de chaleur induits par l'exercice. Elles proposaient des solutions afin de diminuer le risque de coup de chaleur mais peu de recommandations précises étaient données sur l'hydratation des athlètes pendant la course.

Toutefois, avec l'avancée des recherches et l'augmentation du nombre de coureurs peu expérimentés dans les années 80, l'ACSM a suggéré que les coureurs de longue distance devraient boire 100-200 ml d'eau tous les 2-3km. Cette recommandation, apparemment raisonnable n'était pas praticable. En effet, cela représentait environ 330ml/h pour les coureurs les plus lents et jusqu'à 2L par heure pour les plus rapides, ce qui pouvait engendrer des inconforts digestifs et une perte de temps importante aux stands de ravitaillement. Les organisateurs encourageaient les coureurs à boire fréquemment, car la déshydratation commençait à être perçue comme anti-performante. Mais cette sursollicitation a abouti à des cas d'hyperhydratation, avec des hyponatrémies sévères pour les cas les plus graves (12).

Suite à ces événements, les recommandations ont été revues et en 1996, l'ACSM (40) encourageait les athlètes à boire dès le début de la course à intervalles réguliers afin de compenser les pertes tout au long de la course ou de consommer le maximum d'eau pouvant être toléré. La même année, avec les

bienfaits des boissons riches en hydrates de carbone et sodium étant de plus en plus démontrés, l'ACSM recommandait leur consommation si l'exercice d'endurance excédait 1 heure de temps.

Cependant, la notion de « consommer le maximum d'eau pouvant être toléré » était mal interprétée par certains athlètes. Par conséquent, un risque d'hyponatrémie induite par une surhydratation subsistait. Au début des années 2000, il y a eu un phénomène de masse de cas d'hyponatrémie associée à une hyperhydratation, comme le démontre le décès d'une coureuse de 28 ans au Marathon de Boston en 2002 (43). À cela s'ajoute l'étude de Zatopek (36) où sur 766 coureurs d'un marathon, 13% étaient en situation de légère hyponatrémie (<135 mmol de sodium par litre de sang) et 0,6% en hyponatrémie sévère (<120 mmol par litre), en sachant que les normes sont de 135 mmol/l à 145 mmol/l et que l'hypo- et l'hypernatrémie sont associés à une morbidité et mortalité plus élevée (44).

C'est la raison pour laquelle en 2007, l'ACSM (8) a nuancé les recommandations en définissant une hydratation excessive lorsqu'il y avait une prise de poids pendant la course. Une définition de la déshydratation à une perte de poids >2% liée à l'eau a également été introduite et est associée à une diminution de la performance. Ainsi, elle recommande de boire ad libitum entre 0.4 et 0.8 L par heure d'exercice. En 2007 également, Noakes (42) a jugé cette recommandation trop compliquée à appliquer et a suggéré que les athlètes boivent à leur soif durant la course. Puis, les derniers positionnements de l'ACSM étaient similaires à celui de 2007.

Aujourd'hui, les stands de ravitaillement sont positionnés tous les 5 km (45). L'Association internationale des fédérations de l'athlétisme (IAAF) impose dans le règlement des compétitions que le comité organisateur peut prévoir de l'eau et des éponges pour les athlètes lors des courses sur piste de > 5000m si les conditions atmosphériques le rendent nécessaire. Mais pour les courses de > 10'000m, des postes de ravitaillement doivent être mis en place (46).

#### 4.4.2 Les deux points de vue fondamentaux

Il est possible de rassembler toutes les controverses en deux principaux points de vue : le point de vue classique (the classical perspective) et le point de vue opposé (the contrasting perspective) (5). Le tableau ci-dessous (tableau 3) est une traduction du tableau de Mettler et Mannhart (2017) et résume les deux points de vue à l'égard des guidelines de l'hydratation.

**Tableau 3 : Présentation des 2 points de vue de fondamentaux**

Le point de vue classique	Le point de vue opposé
<p>Le point de vue classique, représenté par le positionnement de l'ACSM de 2007 et 2016 ainsi que par des revues sur l'influence de l'hydratation sur la thermorégulation et la performance, adoptent les arguments suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Un déficit hydrique de &gt;1-2% du poids corporel altère la performance, en particulier dans les exercices d'endurance et dans un environnement chaud.</li><li>2. Un déficit hydrique augmente la température corporelle et augmente par conséquent le stress cardiovasculaire qui, à son tour, altère la</li></ol>	<p>Le point de vue opposé remet en cause le point de vue classique et fournit l'argumentaire suivant :</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Un déficit hydrique de &gt; 2% du poids corporel n'altère pas forcément la performance physique</li><li>2. Il n'y a pas de preuves scientifiques tangibles que boire plus que « ad libitum » ou « à sa soif » optimisent la performance ou minimisent la perte de poids corporel à 1-2%.</li><li>3. L'intensité de l'exercice (et non la déshydratation) est la première cause d'un coup de chaleur.</li></ol>

<p>performance et augmente le risque de complications de l'hyperthermie.</p> <p>3. Boire « ad libitum » ou « à sa soif » n'est pas suffisant pour prévenir un coup de chaleur ou une diminution de la performance.</p>	
--	--

#### 4.4.3 Les recommandations actuelles : sur quoi se basent-elles ?

Les recommandations de l'hydratation sont établies sur les besoins de l'organisme créés lors de l'exercice en tenant compte de la praticité. Les effets physiologiques des nutriments en question sont présentés ci-dessous.

La première question qui demeure est de savoir à partir de quelle quantité d'eau perdue lors de l'exercice, il y a un impact sur la performance ou sur la santé. Si le seuil était clairement identifié, des recommandations pourraient être établies à partir de celui-ci. Pour individualiser les recommandations, des formules de prédiction de transpiration ont été développées selon une large gamme de conditions. Ces formules ont été utiles pour la santé publique, les militaires ou la médecine sportive, mais les recherches doivent être affinées et individualisées pour la population athlétique (2). En effet, les recommandations varient selon l'intensité et la durée de l'activité, les conditions environnementales, l'acclimatation de l'athlète et les vêtements portés durant l'effort. Tous ces paramètres impactent le taux de transpiration, ce qui rend difficile l'application des recommandations puisqu'elles sont étroitement en lien avec celui-ci.

Cependant, selon Meyer et al. (12), maintenir un équilibre hydrique pendant l'exercice n'est pas toujours possible, car le taux de transpiration maximal dépasse le taux de vidange gastrique maximal.

Comme vu précédemment, l'activité physique engendre des pertes en électrolytes, dont le sodium et le chlorure, particulièrement. Ainsi, selon le type et la durée de l'exercice, il est important d'incorporer ces électrolytes aux boissons pendant l'effort et également à la réhydratation post-exercice. Le risque encouru est l'hyponatrémie due à une hyperhydratation de fluide ne contenant pas de sodium. L'hyperhydratation entraîne une trop grande dilution des minéraux dans le sang qui peut provoquer une chute brutale du taux de sodium (36) qui va rompre l'équilibre entre l'espace extracellulaire et intracellulaire.

Les hydrates de carbone servent à donner l'énergie nécessaire à l'organisme pour faire fonctionner le muscle squelettique. Leur concentration dans les boissons joue également un rôle sur la tolérance digestive, car les boissons à > 8% d'hydrates de carbone augmentent la vidange gastrique, mais peuvent par conséquent engendrer un inconfort digestif. Le nouveau concept nommé "mouth sensing", qui consiste en une exposition orale fréquente de petites quantités de glucides, stimulerait le cerveau et le système nerveux central qui à leur tour augmenteraient la performance sportive (33).

Un autre paramètre influençant la performance et les réponses thermorégulatrices est la température à laquelle les boissons sont ingérées, car elle impacte la température corporelle (47).

#### 4.4.4 Guidelines : hydratation avant l'effort

En général, les individus qui se nourrissent et se reposent correctement ont un état d'hydratation adéquat (48). Néanmoins, lors d'une exposition à la chaleur les jours précédent la compétition, il est important que les athlètes boivent suffisamment afin de pallier aux pertes hydriques supplémentaires

dues à la chaleur et de remplacer les pertes électrolytiques pour avoir un état d'hydratation optimal le jour de la compétition (24). En effet, commencer l'exercice avec un état de déshydratation peut diminuer la performance athlétique (6). Selon Racinais et al. (2), une consommation de 6 millilitres d'eau par kilo de poids toutes les 2-3 heures pendant cette période ainsi que les 2-3 heures avant la compétition est recommandée. Pour une adulte de 70 kilos, cela représente 420 millilitres toutes les 2-3 heures. Tandis que l'ACSM (6) recommande d'atteindre un état euhydraté en consommant une quantité de fluide équivalente à 5-10 ml/kg de poids corporel dans les 2 à 4 heures précédant l'exercice. Consommer du sodium à travers les fluides ou les aliments peut augmenter la rétention d'eau pendant l'exercice.

#### 4.4.5 Guidelines : hydratation pendant l'effort

##### 4.4.5.1 Racinais et al. (2)

Racinais et al. recommandent une hydratation d'eau avec du sodium et des hydrates de carbone pour les exercices de plus d'une heure sous la chaleur. Aucune précision n'est donnée quant à la quantité d'eau à consommer. Ils recommandent néanmoins de minimiser la perte de poids induite par l'exercice en s'hydratant et à ne pas prendre de poids.

La teneur en sodium doit être de 0.5-0.7 g/l et de 1.5 g/l pour les athlètes qui ont fréquemment des crampes musculaires. Pour les "salty sweaters", qui sont les athlètes dont la transpiration contient beaucoup de sodium, sont recommandés à consommer une boisson avec une haute teneur en sel avant et après la course, comme par exemple ajouter 3 g de sel dans 0.5 L d'une boisson composée d'eau et d'hydrates de carbone.

L'athlète devrait consommer entre 30 et 60 g d'hydrates de carbone par heure. Si l'exercice dure plus de 2h30, Racinais et al. recommandent 90 g d'hydrate de carbone par heure avec une combinaison possible de fluide et alimentation solide.

##### 4.4.5.2 ACSM 2016 (6)

Le dernier positionnement de l'ACSM en 2016 recommande aux athlètes de boire suffisamment afin de ne pas dépasser les 2% de perte de poids corporel. Elle cible entre 0.4 et 0.8 L de fluides par heure, à adapter selon les caractéristiques de l'athlète : sa tolérance, son expérience et les opportunités de ravitaillement. Afin d'être plus précis, il est conseillé d'estimer le taux de transpiration lors d'un entraînement en tenant compte du poids pré- et post-exercice ainsi que de l'hydratation et de l'urine. Sur la base de tous ces éléments, l'athlète peut élaborer un plan d'hydratation individuel et personnalisé pour les compétitions.

L'ACSM suggère de consommer des boissons froides (0.5°C) afin de limiter la montée de la température corporelle et ainsi augmenter la performance, notamment sous la chaleur. L'athlète boit également plus volontiers une boisson froide qu'une boisson tiède. En outre, l'athlète boit plus volontiers s'il y a la présence d'un arôme dans la boisson, car ceci augmente la palatabilité de la boisson.

La soif est souvent dictée par les changements osmolaires plasmatiques et est ainsi un bon indicateur du besoin de boire, mais ne reflète pas toujours l'état de déshydratation. C'est pourquoi il n'est pas conseillé de se fier uniquement sur la sensation de soif.

Pour les sports d'endurance entre 1 et 2.5h, il est recommandé de consommer entre 30 à 60 g de glucides par heure sous forme de liquide. Pour les exercices d'endurance de >2.5h, il faut augmenter la part de glucides jusqu'à 90 g/h. Pour cette dernière, un mélange de glucose-fructose semble bénéfique pour atteindre un taux d'oxydation glucidique élevé.

Elle recommande également la consommation de boissons contenant du sodium pour pallier aux pertes. Elle explique que la perte en sodium via la transpiration peut être très différente d'une personne à l'autre et qu'il ainsi difficile de recommander une valeur pour tous. Néanmoins, 1g de sel par litre de fluide correspondrait à la moyenne des besoins.

Lors de conditions environnementales chaudes, l'ACSM préconise des stratégies pour réduire la température corporelle cutanée et les pertes hydroélectrolytiques. Ces stratégies devraient inclure : une acclimatation, un plan d'hydratation individualisé, des contrôles réguliers de l'état d'hydratation, commencer l'exercice avec un état euhydraté et consommer des boissons froides durant l'exercice contenant des électrolytes selon la durée de l'effort.

#### 4.4.6 Guidelines : hydratation après l'effort

L'ACSM (6) recommande de restaurer l'état d'hydratation en ingérant une plus grande quantité de fluide que celle perdue durant la course. Elle conseille ainsi de remplacer les 125-150% de la perte d'eau, soit 1.25-1.5 litres pour chaque 1 kg de poids corporel perdu. Les stratégies à adopter doivent premièrement inclure la consommation d'eau et de sodium afin de limiter les pertes par l'urine. Ainsi, les athlètes ne sont pas encouragés à restreindre leur consommation de sel, ou chlorure de sodium (NaCl), de leurs boissons et aliments. De plus, la consommation d'alcool n'est pas recommandée puisqu'il a un effet diurétique. En revanche, l'effet diurétique de la caféine a été amplifié ces dernières années étant donné que la caféine stimule l'excrétion urinaire uniquement quand elle est consommée en grande quantité. Or, elle est habituellement consommée de manière modérée (<180 mg par prise).

### 4.5 Rafraîchissement

Le rafraîchissement est le moyen de réduire la température corporelle autre que par l'apport hydrique avant (percooling), pendant (percooling) ou après l'effort (post-cooling) qui ne sera pas abordé dans notre travail. Il s'agit des moyens que l'athlète met en place volontairement (1). Les méthodes de rafraîchissement peuvent augmenter la capacité de stockage de la chaleur (precooling), ce qui permet à la température corporelle de s'élever moins rapidement, d'atténuer l'augmentation de la température corporelle induite par l'activité physique (percooling) et d'améliorer la récupération après un exercice intense (post-cooling).

#### 4.5.1 Precooling

Selon Siegel R. and al (49), le rafraîchissement avant l'effort physique est une suppression rapide de la chaleur du corps afin de permettre une capacité plus grande de stockage de la chaleur et de prolonger le temps avant le début de la fatigue induite par l'hyperthermie. Une baisse de la température corporelle a pour but de maintenir l'homéostasie et en particulier la thermorégulation pendant l'effort physique. Cela permettrait de réduire la quantité de sang à la surface de la peau (mécanisme de la thermorégulation) et augmenterait le débit sanguin musculaire, ce qui a un effet bénéfique sur la performance (50). Dans les sports d'endurance (cyclisme, triathlon et marathon), des augmentations de performance sont observées lorsque le precooling a eu lieu préalablement.

#### 4.5.2 Percooling

Bonger CC and al. (1) définissent le percooling comme une opportunité de réduire la contrainte thermique durant un effort. Les méthodes de precooling sont moins facilement applicables que le percooling dû à la faisabilité pratique et aux réglementations sportives durant les compétitions. Les chercheurs se sont récemment intéressés au percooling qui pourrait apporter des bénéfices sur la performance physique. En général, les effets du precooling s'atténuent après 20-25 minutes d'exercice

physique, le percooling serait bénéfique pour maintenir l'effet de rafraîchissement durant la suite de l'épreuve. De plus la contrainte thermique est toujours plus élevée au fil de l'effort physique. De ce fait, le percooling aurait un plus grand potentiel au niveau de la thermorégulation et de la performance comparée au precooling.

#### 4.5.3 Mécanismes du pre- et percooling

Le but des du rafraîchissement avant et pendant l'effort est réduire le stress thermique du système de thermorégulation en augmentant la capacité du corps à stocker la chaleur. Le rafraîchissement a pour but de baisser la température corporelle avant l'effort et d'augmenter le temps avant la production de chaleur et donc de la température. Cela permet aux athlètes de performer plus longtemps avant que la limite critique ( $>40^\circ$ ) soit atteinte. Le rafraîchissement durant l'exercice physique permet l'augmentation de la température induite par l'effort physique. Cela repousse l'hyperthermie qui conduit à la fatigue physique (1).

#### 4.5.4 Température corporelle

Le rafraîchissement réduit l'effort cardiovasculaire pendant l'activité physique sous la chaleur. Le rafraîchissement du corps entier (immersion dans l'eau froide) peut réduire la température des organes et du muscle squelettique (31). Les études se contredisent sur les bénéfices du rafraîchissement avant les exercices à répétition ou intermittence sous la chaleur. Le rafraîchissement du corps entier pourrait même être délétère pour le sprint (un seul sprint) et/ou les premières répétitions d'un effort incluant plusieurs sprints (51). L'hypothèse que le rafraîchissement augmente la capacité d'exercice prolongé lors de conditions chaudes serait remise en cause. Il faut cependant prendre en compte le fait que la plupart des études ont été menées en laboratoire (mouvement d'air nul ou limité), ce qui a pu surestimer les effets du rafraîchissement en comparaison avec l'exercice à l'extérieur et ne tenant pas compte du temps d'échauffement avant compétition (52).

#### 4.5.5 Méthodes de rafraîchissement et leur mécanisme

Tableau 4: Moyens de rafraîchissement et leur mécanisme d'action (1)(2)(49)(53)(54)

Mode de rafraîchissement	Precooling	Percooling	Avantages (+) et inconvénients (-) des méthodes	Mécanisme d'action
<b>Cold water immersion (CWI)</b> (Immersion dans l'eau froide) <b>2 méthodes principales :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Immersion du corps entier : env. 30 minutes, température varie entre 20 et 30°C.</li> <li>• Immersion d'une partie du corps (jambes), température entre 10 et 18°C.</li> </ul> L'immersion dans l'eau à 10-18°C (jambes) demande un réchauffement des muscles avant l'effort, car la conduction nerveuse et la contraction musculaire sont altérées.	X		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ En contact direct avec la peau</li> <li>+ Couvre une large surface du corps</li> <li>- Difficilement applicable sur le terrain</li> <li>- Altère la contraction musculaire</li> </ul>	Le corps immergé dans une eau plus froide que sa température normale va maintenir celle-ci au mieux par le phénomène de vasoconstriction (réduction du flux sanguin de la peau). En parallèle, il y a une augmentation du métabolisme de production de chaleur. Si l'immersion est assez longue et la température suffisamment basse, la perte de chaleur est supérieure à la production induite par le corps, ce qui cause une réduction de la température corporelle et augmente la capacité de stockage de la chaleur.
<b>Cooling vest/ garment</b> (gilet de rafraîchissement) Gilet en polyester avec un matériau à changement de phase (substance à haute	X	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Poids léger</li> <li>+ Couvre une large surface du corps</li> <li>+ Facilement applicable sur le terrain</li> <li>+ N'impacte pas sur la température musculaire</li> </ul>	Cette méthode permet de baisser la température de la peau sans une réduction de la température corporelle, augmentant le gradient thermique entre le corps et la peau, ce qui permet une température corporelle inférieure pendant

<p>chaleur de fusion qui, fondant et solidifiant à une certaine température, est capable de stocker et de libérer de grandes quantités d'énergie) cousu à l'intérieur.</p> <p><b>Ice vest</b> Gilet qui couvre le torse avec des poches pour les paquets de glace. Même mécanisme que la "cooling vest".</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins d'impact sur la température corporelle que CWI</li> <li>- Diminution rapide de son impact</li> </ul> <p>l'effort en raison d'une perte accrue de chaleur au niveau de la peau et du corps. La "cooling vest" permet aussi de réduire l'effort cardio-vasculaire et le stockage de la chaleur.</p>
<p><b>Cooling collar</b> (collier de rafraîchissement)</p>	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Poids léger</li> <li>+ Applicable sur le terrain</li> <li>- Couvre une infime partie du corps</li> </ul>	<p>Le rafraîchissement de la région du cou améliorerait la performance à l'effort sous haute chaleur, sans altérer la physiologie du corps à l'exercice. La tête, le cou et le visage sont hautement thermosensibles, et le refroidissement du cou atténuerait plus efficacement la tension thermique que le refroidissement de la même surface du corps (tronc). Le cou est à proximité du centre de thermorégulation, situé à la base du cerveau, et reçoit des signaux afférents concernant l'état thermique du corps à partir de nombreux thermorécepteurs. Le refroidissement de la région du cou pourrait améliorer les performances de l'exercice en envoyant un faux signal de l'état thermique du corps, ce qui permettrait d'améliorer les performances et de prolonger l'exercice lors de haute chaleur en masquant la contrainte thermique et donc de tolérer une température plus élevée, ce qui</p>

				permet au participant de tolérer une température et un niveau de contrainte thermique plus élevée.
<b>Ice slurry ingestion (ICE)</b> (ingestion de glace pilée)	X		+ Effet direct sur la température corporelle + Facilement applicable sur le terrain - Couvre qu'une petite partie du corps - Possibles inconforts digestifs	La transformation de glace en eau (fonction enthalpie) requiert une plus grande énergie que pour le réchauffement de l'ingestion d'eau froide ( $334 \text{ J/g}$ pour $4 \text{ J/g/}^{\circ}\text{C}$ ). Lorsque la glace est ingérée, l'énergie thermique est transférée dans le mélange de glace pillé vers les tissus environnants, plutôt que stockée dans le corps, ce qui réduit la température du corps. Il a été démontré que cette méthode abaisse la température rectale et prolonge le temps d'exercice jusqu'à l'épuisement.
<b>Facial water spray (SPRAY)</b> (spray facial)		X	+ Facilement applicable + Rafraîchissement au niveau cérébral - Couvre une infime partie du corps	Pas d'effet sur la température corporelle, mais perception réduite de la sensation et de l'effort thermiques, ainsi que de la réduction de la concentration de prolactine dans le sang en réponse au stress thermique. Cette méthode permet le refroidissement cérébral, la modification du flux sanguin de l'artère cérébrale, une réponse neuroendocrine altérée et donc une réduction de la perception de la fatigue permettant une meilleure activation musculaire.
<b>Mixed methods cooling (méthode mixte)</b> Actuellement considérée comme la méthode la plus efficace*.	X	X	+ Utilise les stratégies de rafraîchissement internes et externes.	Combiner les différentes techniques aurait une plus grande capacité de rafraîchissement que l'isolation de chaque méthode et donc une meilleur bénéfice sur la performance physique.

\* Nos études ne comprennent pas de méthode de cooling mixte : cependant, cette méthode sera abordée dans la discussion.

## 4.6 Guidelines du rafraîchissement

### 4.6.1 Historique et recommandations actuelles

La majorité des études ont été menées en laboratoire où les conditions sont contrôlées (température, ventilation ou non) et affirment que le precooling améliore la performance d'endurance (49)(55)(56). Au niveau des disciplines de sprints, sprint intermittent les études sont controversées. Certaines démontrent une efficacité du precooling sous haute chaleur et d'autres non. Le rafraîchissement du corps entier serait même délétère pour le sprint (51). Pour la performance d'endurance, les études semblent toutes affirmer que le precooling apporte une amélioration de la performance. Les bénéfices sont peut-être surestimés, car les études ne tiennent pas compte de l'énergie nécessaire à l'échauffement avant une course et au fait que les études ont été réalisées en laboratoires (consensus). Les méthodes de rafraîchissement sont distinguables en deux groupes : intérieures (ingestion de glace pilée, ingestion d'eau froide...) et extérieures (immersion dans l'eau froide, application de vêtements glacés ou de serviettes glacées, ventilation...).

Le rafraîchissement avant l'exercice peut apporter des bénéfices pour les activités sportives impliquant un effort soutenu (course à pied mi et longue distance, le cyclisme, le tennis et les sports d'équipe) lors de conditions climatiques chaudes. Les méthodes utilisant le rafraîchissement interne peuvent être utilisées durant l'effort.

L'approche pratique lors d'effort physique dans des conditions chaudes et humides pourrait être l'utilisation de ventilateurs ou de gilets de rafraîchissement qui peut apporter un rafraîchissement efficace sans détériorer la température musculaire. Toutes ces méthodes devraient être testées individuellement en dehors des compétitions afin d'éviter d'éventuels désagréments (consensus).

## 5 QUESTIONS DE RECHERCHE

### 5.1 Question de recherche N°1

**Quel est l'impact de l'hydratation avant et/ou pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite ?**

Les sous-questions sont :

- i. Est-ce que la déshydratation a un impact sur la performance d'endurance chez les athlètes d'élite ? Si oui, à partir de quel degré ?
- ii. Existe-t-il un protocole d'hydratation pour améliorer la performance d'endurance sous la chaleur ?
- iii. Quels types de boissons sont recommandés lors d'une course sous la chaleur ?

Les éléments permettant de clarifier la question de recherche sont les suivants (PICO) :

**Population :** Athlètes d'élite de course à pied de plus de 10 km.

**Intervention/exposition :** Hydratation avant et/ou pendant l'épreuve d'endurance.

**Comparaison :** Pas d'hydratation

**Outcome :** Impact de l'hydratation avant et/ou pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite.

## 5.2 Question de recherche N°2

Quel est l'impact du rafraîchissement avant et/ou pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite ?

Les sous-questions sont :

- i. Est-ce que le precooling augmente la performance d'endurance sous la chaleur ?
- ii. Est-ce que le percooling augmente la performance d'endurance sous la chaleur ?
- iii. Existe-t-il une méthode de pre- ou percooling qui est la plus efficace ?

Les éléments permettant de clarifier la question de recherche sont les suivants (PICO) :

**Population :** Athlètes d'élite de course à pied de plus de 5 km.

**Intervention/exposition :** Moyens de rafraîchissement avant et/ou pendant l'épreuve d'endurance.

**Comparaison :** Pas de rafraîchissement durant l'épreuve d'endurance.

**Outcome :** Impact du rafraîchissement pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite.

## 5.3 Hypothèses

### 5.3.1 Hypothèse n°1 :

L'hydratation et le rafraîchissement avant et pendant l'effort auraient un effet bénéfique sur la performance d'endurance chez les coureurs de fond. Donc si ces derniers adoptent un protocole comprenant des stratégies d'hydratation et de rafraîchissement basées sur des recommandations, leur temps de course sera plus court.

### 5.3.2 Hypothèse n°2 :

Dans certaines conditions, telles que les grandes chaleurs, le rafraîchissement serait plus efficace que l'hydratation au niveau de la performance durant la course.

## 6 BUT ET OBJECTIFS DU TRAVAIL

### 6.1 But :

Afin de répondre aux questions de recherche et aux hypothèses, le but du travail était de réaliser deux revues de littérature systématiques afin d'identifier les impacts de l'hydratation et du rafraîchissement sur la performance chez les coureurs d'élite.

### 6.2 Objectifs :

Pour répondre au but, les objectifs pour les deux revues de littératures étaient :

- Décrire les différents types d'hydratation et de rafraîchissement.
- Expliquer la physiologie de l'hydratation et du rafraîchissement.
- Analyser les effets bénéfiques ainsi que les risques de l'hydratation et du pre- et percooling.

## 7 METHODOLOGIE

### 7.1 Revue de littérature

#### 7.1.1 Source de données

Les principales sources de données étaient la base de données PubMed. Les bibliographies des articles identifiés ont également été utilisées comme sources potentielles à inclure dans la revue.

La terminologie de Medical Subject Heading (MeSH Terms) était utilisée pour établir les termes à inclure dans les équations de recherche à l'aide des opérateurs booléens [AND] et [OR]. Etant donné que certains termes clés ne sont pas répertoriés en MeSH Terms, ils ont été insérés dans les moteurs de recherche en tant qu'«all fields». Les [AND] ont permis de séparer les concepts et les [OR], de rassembler les outcomes. Les équations de recherche pour les questions de recherche n°1 et n°2 sont en tableaux 3 et 4.

Tableau 5 : équation de recherche pour la question de recherche n°1

Population	Intervention	Outcome	Terme clé	Terme clé
Runners [all fields]	Fluid ingestion [all fields]	Athletic performance	Hot temperature	Dehydration
Athletes	Hydration [all fields]	Physical endurance		

Tableau 6 : équation de recherche pour la question de recherche n°2

Population	Intervention	Outcome
Runners [all fields]	Cooling [all fields]	Athletic performance
Athletes	Precooling [all fields]	Physical endurance
	Percooling [all fields]	Hot temperature
		Thermoregulation

#### 7.1.2 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion ci-dessous concernent les deux équations de recherche. Si un critère diffère entre les deux équations, il le sera mentionné explicitement.

##### 7.1.2.1 Design de l'étude

Pour la question de recherche n°1, seules les études cliniques randomisées ont été retenues afin de privilégier les études à haut niveau de recommandations.

Pour la question de recherche n°2, seules les études cliniques randomisées ou études cliniques contrôlées (non randomisées) ont été retenues étant donné qu'aucune revue systématique et méta-analyse ne respectaient les critères d'inclusion et d'exclusion. Les études contenues dans les méta-analyses et revues systématiques ont été soumises au processus de sélection.

##### 7.1.2.2 Date de publication

Pour la recherche n°1, aucun critère portant sur la date de publication n'a été pris en compte. En revanche, étant donné que le cooling est un sujet de recherche récent, une date limite fixée pour 2002 a été jugée suffisante.

### 7.1.2.3 *Population*

Pour les deux recherches, les coureurs correspondent aux critères suivants :

- Coureurs d'élite : coureurs professionnels ou entraînés.
- Coureurs d'élite en bonne santé, exempts de pathologies chroniques diagnostiquées telles que diabète ou asthme.
- Coureurs d'élite âgés de plus de 18 ans.
- Hommes ou femmes

Seront exclues les études portant sur les coureurs d'élite présentant les critères d'exclusion suivants :

- Coureurs amateurs.
- Coureurs d'élite ayant recours à toutes substances dopantes pour la performance.
- Les épreuves comportant d'autres disciplines que la course à pied, type triathlon.

### 7.1.2.4 *Langues*

Seuls les articles en français et anglais seront retenus.

### 7.1.2.5 *Intervention/exposition*

En ce qui concerne l'hydratation, la consommation orale des boissons composées d'eau avec ou sans sodium et/ou hydrates de carbone a été retenue.

Pour le rafraîchissement, toutes les méthodes de precooling et percooling ont été incluses.

Le critère d'exposition à la chaleur a été appliqué pour les deux recherches, mais à une température différente. Le seuil a été fixé à 25°C pour l'hydratation tandis que pour le rafraîchissement il a été fixé à 28°C.

### 7.1.2.6 *Outcomes/variables*

Comme précisé dans la question PICO, les outcomes recherchés (tableau 7) étaient les impacts de l'hydratation et du rafraîchissement avant et pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite.

Tableau 7 : les variables mesurées pour les résultats

Hydratation	Rafraîchissement
Temps	Temps
Distance	Distance
Paramètres biologiques : Etat d'hydratation	Paramètres biologiques : Température corporelle
Perception et ressenti (sensation de bien-être, sensation de fatigue)	Perception et ressenti (sensation de bien-être, sensation de fatigue)

Pour la recherche d'article n°1, la distance de course devait être  $\geq 10$  km tandis que pour la recherche d'article n°2, la distance de course commence à 5 km, distance qui est qualifiée de performance d'endurance (9).

## 7.2 Sélection des articles

Les chercheurs se sont réparti les deux équations de recherche après avoir identifié ensemble les termes à utiliser dans les équations de recherche et le processus de sélection. Une étroite collaboration entre les deux chercheurs leur a permis de se concerter lors de doutes sur la sélection d'un article ainsi que de suivre les deux recherches.

La sélection des articles a été faite en 3 étapes : lecture du titre, lecture de l'abstract et selon l'évaluation de la qualité de l'étude. Tout le processus de sélection était basé sur les critères d'inclusion et d'exclusion développés précédemment.

## 7.3 Sélection selon la qualité de l'étude

Tout comme pour la sélection des articles, la lecture des articles retenus a été répartie en partie égale entre les deux chercheurs et dans les deux thématiques. Pour chacune des études sélectionnées, la grille d'analyse qualité de l'Academy of Nutrition et Diététique (AND) (annexe I) a été complétée afin d'évaluer la qualité de l'étude. Si le résultat selon la grille était positif, la méthodologie de l'article était jugée de qualité et était retenue pour ce travail. En revanche, si le résultat était négatif, l'étude était exclue, car la qualité était jugée mauvaise.

## 7.4 Extraction des données et variables :

Pour chacune des études sélectionnées, les items suivants ont été extraits : auteur, date, design de l'étude, nombre de l'échantillon, description des coureurs, âge moyen, sexe, description du groupe intervention, description du groupe contrôle et wash-out. Ces données ont été inscrites dans un tableau de synthèse afin de pouvoir comparer les caractéristiques des études entre elles (annexe II et III). La grille de lecture descriptive de la Haute Ecole de Santé de Genève, filière Nutrition et Diététique (annexe IV) qui a été complétée durant la lecture des articles a été d'une aide précieuse pour rapporter les caractéristiques dans le tableau.

Deux tableaux supplémentaires ont été utilisés pour comparer les outcomes des études. Celui pour la question de recherche n°1 contenait les informations suivantes (annexe V) : temps, distance, T°C, déshydratation ou perte de poids, paramètres biologiques, ressentis et perceptions, statistiques, résultats intervention vs contrôle et qualité de l'étude. Tandis que le tableau de la question de recherche n°2 était composé des outcomes suivants (annexe VI) : temps, distance, VO<sub>2</sub> max, T°C, paramètres biologiques, ressentis et perceptions, statistiques, résultats intervention vs contrôle et qualité de l'étude.

## 8 RESULTATS

### 8.1 Résultats de la question de recherche n°1 :

85 articles répondaient à l'équation de recherche dont 20 articles étaient des essais cliniques randomisés. D'après la lecture du titre, 8 articles correspondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion. Sur ces 8 articles, seuls 5 articles correspondaient aux critères souhaités selon la lecture de l'abstract. Après la consultation des bibliographies des articles sélectionnés, aucune étude ne correspondait aux critères d'inclusion et d'exclusion. Suite à la lecture des articles, 1 étude a été exclue sur la base des critères souhaités. Au final, 4 articles ont été retenus (57)(58)(59)(60), analysés et validés par la grille qualité de l'AND dont (58) et (60) se basent sur la même intervention.

Le processus de sélection est schématisé en figure 3 et une brève description des études retenues est présentée en figure 4.

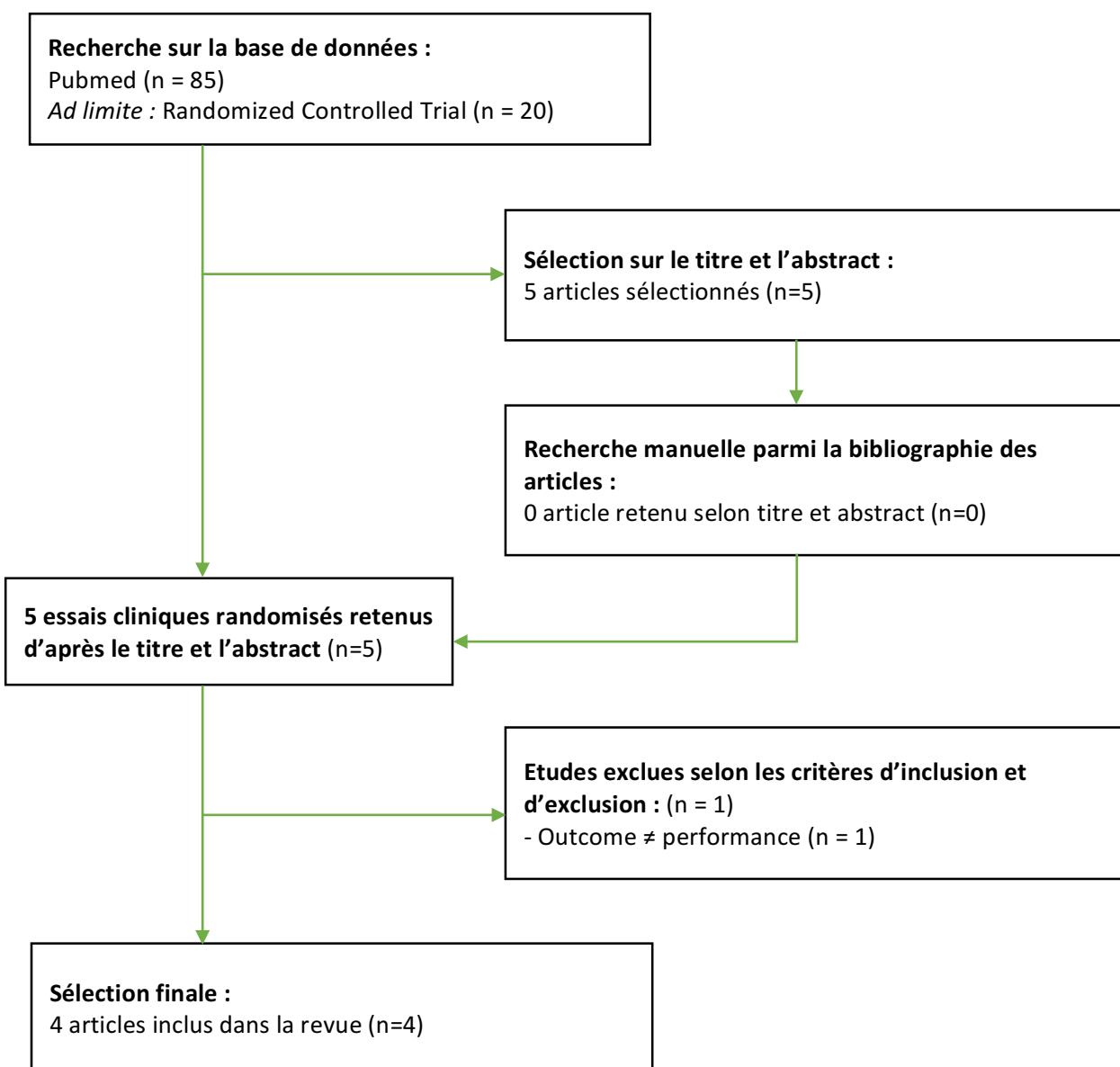


Figure 3 : Résultats de sélection des articles pour la question de recherche n°1

2011 Lopez et al. (57) <b>Etude A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 athlètes ont couru 2 x 12 km à une intensité submaximale contrôlée avec un capteur de rythme cardiaque dans un environnement chaud (27.6°C).</li> <li>• 2 groupes avec crossover : déshydraté (DHY) vs euhydraté (HY) avant la course. Pendant la course : HY a reçu 400 mL d'eau aux pauses et DHY n'a rien consommé.</li> </ul>
2010 Casa et al. (58) <b>Etude B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 athlètes ont couru 4 x 12 km, 2x à une intensité maximale et 2x à une intensité submaximale contrôlée par des feedbacks. Température ambiante moyenne de 26.5°C.</li> <li>• 4 groupes avec crossover : euhydraté (HYR) et déshydraté (DYS) avant la course à intensité d'une course / euhydraté (HYS) et déshydraté (DYS) avant la course à une intensité submaximale contrôlée. Pendant la course : HYR et HYS ont consommé 400 mL d'eau aux pauses et DYS et DYS n'ont rien consommé.</li> </ul>
2016 Lopez et al. (59) <b>Etude C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 13 athlètes ont couru 2 x 20 km, intensité maximale, température ambiante moyenne de 28.3°C.</li> <li>• Comparaison de 2 protocoles d'hydratation : ad libitum (AL) vs réhydratation individuelle (IR). Les 2 groupes étaient euhydraté en début de course. Chaque athlète a eu droit aux 2 protocoles.</li> </ul>
2009 Stearns et al. (60) <b>Etude D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 athlètes ont couru 2 x 12 m, à une intensité maximale. Température ambiance moyenne de 26.2 °C.</li> <li>• 2 groupes avec crossover : euhydraté (HYR) et déshydraté (DYS) avant la course. Pendant la course : HYR reçoit 400 mL d'eau aux pauses et DYS n'a rien consommé.</li> </ul>

**Figure 4 : brève description des études retenues sur l'hydratation**

\* \* \* \* \*

*Pour aider à la compréhension du travail, nous avons numéroté les 4 études retenues pour la QR 1 (57)(58)(59)(60) en A, B, C et D comme présenté dans la figure 4.*

\* \* \* \* \*

**Tableau 8 : Abréviations de certains outcomes**

Abréviations des mesures	Noms complets
<b>T<sub>am</sub></b>	Température ambiante terrestre
<b>T<sub>c</sub></b>	Température corporelle
<b>T<sub>sk</sub></b>	Température de la peau
<b>T<sub>re</sub></b>	Température rectale
<b>T<sub>es</sub></b>	Température œsophagienne
<b>T<sub>t</sub></b>	Température tympanique
<b>HR</b>	Fréquence cardiaque
<b>RPE</b>	Taux de fatigue perçue
<b>TS</b>	Sensation thermale

### 8.1.1 Caractéristiques de la population :

Les sujets d'étude de tous les articles étaient des athlètes entraînés et acclimatés à la chaleur. Les échantillons étaient petits en nombre, allant de 13 à 18 athlètes selon les études. Pour la majorité d'entre elles, le recrutement et la sélection des coureurs n'étaient pas ou peu détaillés. Il en va de même pour les caractéristiques des athlètes, aucune information n'était mentionnée sur l'ethnie des athlètes. Néanmoins, chaque étude avait le même critère d'exclusion indiquant que chaque coureur avait couru au moins 4 sessions de plus de 30 minutes par semaine à une intensité modérée durant les 3 mois avant l'étude. En outre, il y avait une familiarisation avant l'(les) épreuve(s) pour toutes les études.

Pour ces interventions, l'aveuglement n'était pas possible puisque la comparaison reposait sur une ingestion de fluide vs sans ingestion de fluide avant et pendant l'exercice. Pour l'étude, les deux groupes d'intervention suivaient chacun un des 2 protocoles d'hydratation pendant l'épreuve, ne permettant ainsi pas l'aveuglement.

### 8.1.2 Température ambiante :

La température ambiante terrestre ( $T_{am}$ ) des études était pour toutes  $< 25^{\circ}\text{C}$  (tableau 9). La  $T_{am}$  a été relevée toutes les 20 minutes lors de toutes les courses afin de calculer une moyenne. Les différences de  $T_{am}$  étaient pour toutes similaires ( $p<0.05$ ), excepté pour l'étude C avec une p-valeur = 0.740. De plus, l'étude D ne mentionnait pas de p-valeur mais le terme "not significantly different", avec des valeurs différentes de l'étude B (HYR et DYS).

Tableau 9 : Température ambiante terrestre lors des courses ( $T_{am}$ )

Etude	Température ambiante terrestre ( $^{\circ}\text{c}$ )
A	$T_{am}$ moyenne des 4 jours de tests : $27.6 \pm 1.3$ ( $p=0.018$ ) HY : $T_{am}$ moyenne = $27.8 \pm 1.6$ DHY : $T_{am}$ moyenne = $26.3 \pm 1.1$
B	HYS : $T_{am}$ moyenne = $27.1 \pm 1.6$ DYS : $T_{am}$ moyenne = $26.9 \pm 1.5$ ( $p>0.05$ ) HYR : $T_{am}$ moyenne = $25.3 \pm 2.1$ DYS : $T_{am}$ moyenne = $27.0 \pm 1.5$ ( $p>0.05$ )
C	$T_{am}$ moyenne des jours de tests : $28.3 \pm 1.9$ ( $p=0.740$ ) AL : $T_{am}$ moyenne = $28.3 \pm 0.9$ IR : $T_{am}$ moyenne = $28.2 \pm 0.6$
D	HYR : $T_{am}$ moyenne = $26.1 \pm 1.9$ DYS : $T_{am}$ moyenne = $26.3 \pm 1.9$ (pas de différence significative)

### 8.1.3 Performance des athlètes :

La performance des athlètes était déterminée par le temps de course à l'épreuve totale ainsi que par le temps de course pour un lap. Le tableau 10 présente les résultats de la différence de temps de course entre les groupes déshydratés et hydratés pour les études A, B et D et la différence de temps de course entre les groupes "hydratation individualisée" et "ad libitum" pour l'étude C.

Un des objectifs principaux des études A et B était d'étudier les effets physiologiques des sujets déshydratés vs hydratés dès le début de la course avec une intensité modérée contrôlée (ou nommé intensité submaximale contrôlée). Dans l'étude A, les chercheurs guidaient les coureurs afin qu'ils aient

le même rythme cardiaque pour les deux courses alors que dans l'étude B, les chercheurs ont demandé aux participants de courir à un rythme qu'ils considèrent comme modéré à la première course et de reproduire le même rythme lors de la deuxième course. Lors de cette dernière, les chercheurs leur donnaient des feedbacks afin qu'ils accélèrent ou décélèrent pour que le temps de course soit égal à celui de la première course.

**Tableau 10 : Différence de temps entre les groupes déshydratés et hydratés**

Etudes	Intensité	$\Delta$ de temps (t) entre les groupes					Temps total
		Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	Lap 5	
A	Modérée	+6 sec	+42 sec*	+52 sec*	-	-	+99 sec*
B	Modérée	-0.11 min*	+0.12 min	+0.02 min	-	-	-0.13 min
	Maximale	+0.45 min*	+0.57 min*	+1.46 min*	-	-	+2.55 min*
C	Maximale	-34 sec	-27 sec	+4 sec	+10 sec	+19 sec	-30 sec
D	Maximale	+0.45 min*	+0.57 min*	+1.46 min*	-	-	+2.55 min*

\* Statistiquement significatif (P-valeur < 0.05).

Dans l'étude A, le temps de course au lap 1 est similaire pour les 2 groupes, mais le temps de course des laps 2 et 3 est plus court pour le groupe HY. Le temps total des 12 km est de 1h 3min 26sec pour HY et de 1h 5min 5 sec pour DHY ( $p=0.027$ ). Dans l'étude B, les temps de course sont similaires excepté pour le lap 1 durant lequel DHY a couru plus rapidement ( $p<0.01$ ). Les temps de course totaux de HYS et DYS sont respectivement  $59.57 \pm 5.31$  min et  $59.44 \pm 5.44$  min ( $p>0.05$ ).

Dans l'étude C, il était demandé aux sujets de courir à une intensité maximale. L'étude B comportait également 2 épreuves à une intensité maximale en plus des deux études à intensité modérée. Ces deux épreuves à intensité maximale étaient les mêmes épreuves que dans l'étude D.

Il n'y avait aucune différence significative pour le temps total et chacun des 5 laps des groupes AL et IR de l'étude C. AL a terminé les 12 km avec un temps de 1h 44min 9sec vs IR qui a terminé avec 1h 44min 39 sec. Le temps de chaque lap augmentait au fil de la course dans les 2 conditions avec une tendance où IR courait plus rapidement les laps 3, 4 et 5 ( $p = 0.192$ ).

Le groupe HYR des études B et D a fait une meilleure performance que DYR avec respectivement  $53.15 \pm 6.05$  min et  $55.70 \pm 7.45$  min ( $p=0.001$ ). Chaque lap couru du groupe HYR était également significativement plus court, avec une différence plus nette au cours de l'épreuve (lap 1 :  $p=0.28$ , lap 2 :  $p=0.10$ , lap 3 :  $p=0.03$ ).

Les chercheurs de l'étude D étudiaient de plus près la performance de temps de course pour les groupes DYR et HYR. Le groupe HYR a couru plus rapidement les 12 km ( $p<0.001$ ). La différence entre le lap le plus rapide et le plus lent chez HYR ( $54 \pm 40$  sec) était plus petite que chez DYR ( $111 \pm 93$  sec) ( $p=0.042$ ). Les tests statistiques ont également été établis en séparant les hommes et les femmes. Un effet significatif sur le temps existait pour les deux sexes ( $p=0.001$  aux deux). La différence de temps entre les groupes était significative à tous les laps et dans les deux sexes ( $p<0.05$  à tous). Le lap le plus rapide de chaque coureur de HYR ( $1'036 \pm 116$  sec) était plus rapide ( $p=0.028$ ) que celui chez DYR ( $1'060 \pm 131$  sec). Le lap individuel le plus lent chez HYR ( $1'090 \pm 132$  sec) était plus rapide ( $p=0.004$ )

que celui chez DYR ( $1'172 \pm 184$  sec). La variation totale de la vitesse moyenne entre HYR et DYR approche la significativité ( $p=0.064$ ). Quand les hommes et femmes étaient comparés séparément, la variation totale de la vitesse moyenne entre HYR et DYR était significative chez les hommes ( $206 \pm 23.9$  vs  $240 \pm 49.0$  sec,  $p=0.042$ ) mais pas chez les femmes ( $291 \pm 45.5$  vs  $337 \pm 101.2$  sec,  $p=0.296$ ). Le pourcentage moyen de la variance de la moyenne de vitesse approchait la significativité entre HYR ( $1.7\% \pm 1.3\%$ ) et DYR ( $3.3\% \pm 2.5\%$ ,  $p=0.057$ ). Pas de différence significative était trouvée entre le nombre de sujets qui ont couru plus proche de leur cadence pour HYR vs DHY au lap 1 et lap 2, mais une différence significative existait au lap 3 ( $p=0.046$ ) et au temps total ( $p=0.001$ ).

#### 8.1.4 Etat d'hydratation :

Les études A, B et D répertoriaient au total 6 épreuves de 12 km tandis que l'étude C en répertoriait 2 de 20 km. Elles ont toutes opté pour le même protocole pour le groupe « déshydratation » avant la course consistant en une restriction hydrique en liquide et solide à haute teneur en eau durant les 22 heures précédant l'épreuve avec une session de course modérée de 60 minutes ou 90 minutes de marche-jogging le jour précédent l'épreuve. L'unique apport en eau durant cette période pour ce groupe était les 200 mL nécessaires à l'ingestion des pilules-récepteurs thermiques.

L'étude C n'optait pour aucune restriction hydrique puisque tous les participants devaient avoir un poids euhydraté au début de la course.

**Tableau 11 : Différences de poids entre les groupes**

Etude	Poids pré-run (%)	Poids post-run (%)	Δ de P post – pré-run (%)
A	HY : $0.03 \pm 1.27$ DHY : $-1.65 \pm 1.35^*$	HY : $-1.38 \pm 1.09$ DHY : $-3.64 \pm 1.33^*$	Non précisé
B (intensité maximale) et D	HYR : $-0.79 \pm 0.95$ DYR : $-2.27 \pm 1.24^*$	HYR : $-2.05 \pm 1.09$ DYR : $-4.30 \pm 1.25^*$	HYR : $-1.26 \pm 0.50$ DYR : $-2.04 \pm 0.27^*$
B (intensité modérée)	HYS : $-0.89 \pm 1.19$ DYS : $-2.02 \pm 1.27$	HYS : $-2.03 \pm 1.24$ DYS : $-4.59 \pm 1.32^*$	HYS : $-1.14 \pm 0.45$ DYS : $-2.57 \pm 0.69^*$
C	Non précisé	Non précisé	AL : $-2.60 \pm 0.52$ IR : $-1.33 \pm 0.53^*$

\* $p<0.05$

Dans l'étude A, le pourcentage de perte de poids chez DHY était supérieur que chez HY en pré- et post-run comparé au poids de comparaison ( $p<0.001$ ) (tableau 11). Les comparaisons entre les groupes (HYR vs DYR et HYS vs HYS) des études B et D démontrent des différences significatives au pré- et post-run ( $p<0.001$ ). DYR et DYS avaient une réduction du poids corporel comparé au poids de comparaison au matin des épreuves, pré- et post-run ( $p<0.001$ ). DYR a perdu en moyenne 1.5 kg au pré-run et 2.8 kg au post-run alors que HYR a perdu en moyenne 0.54 kg et 1.37 kg respectivement.

Dans l'étude C, les sujets du AL ont perdu plus de poids à la fin de la course avec une différence de 1.3% entre les conditions ( $p<0.001$ ). Le pourcentage de fluides remplacés était fortement corrélé au pourcentage de perte de poids ( $r=-0.726$ ,  $n=26$ ,  $p<0.001$ ). AL a consommé  $749 \pm 416$  mL durant la course versus  $1700 \pm 629$  mL pour IR ( $p<0.001$ ).

Les marqueurs urinaires viennent appuyer l'état d'hydratation dans chaque étude. Dans l'étude C, la concentration osmolaire de l'urine ( $U_{osm}$ ) avait un effet pour le temps ( $p<0.001$ ) et pour l'interaction temps x condition ( $p<0.032$ ).  $U_{osm}$  a significativement augmenté du pré-run au post-run chez AL

( $p<0.001$ ) et IR ( $p<0.032$ ) avec une différence plus élevée chez AL ( $p<0.032$ ). Dans l'étude A, la couleur urinaire ( $U_{col}$ ) était différente entre pré- et post-run chez HY ( $p=0.001$ ) et DHY ( $p=0.000$ ) et également entre les conditions aux pré- ( $p=0.001$ ) et post-run ( $p=0.000$ ). La gravité spécifique urinaire ( $U_{SG}$ ) était similaire de pré- à post-run pour les deux conditions (HY :  $p=0.284$  et DHY :  $p=0.096$ ) mais différente entre les conditions au pré- et post-run ( $p=0.000$  les deux). Dans les études B et D, les différences entre HYR et DYR étaient significatives en pré- et post-run pour l' $U_{osm}$ , l' $U_{col}$  et l' $U_{SG}$  (toutes les comparaisons :  $p<0.05$ ). Pour HYS et DYS, il n'y avait aucune différence des marqueurs ( $p>0.05$ ).

### 8.1.5 Taux de transpiration

Dans l'étude A, le taux de transpiration était abordé dans la méthodologie mais ne figurait pas dans les résultats et la discussion. Dans les études B et D, les chercheurs ont calculé le taux de transpiration selon la formule suivante :  $[(poids\ pré-run - poids\ post-run) + fluides\ consommés - urine] / temps$ . Quant à l'étude C, les chercheurs ont estimé le taux de transpiration pour chaque sujet lors de la session de familiarisation en se basant sur sa perte de poids lors d'un lap de 4 km.

**Tableau 12 : Différence du taux de transpiration entre les groupes**

Etude	Taux de transpiration (L/h)	Δ entre les groupes	P-valeur
B (intensité maximale) et D	HYR : $1.57 \pm 0.44$ DYR : $1.45 \pm 0.39$	8%	$p>0.05$
B (intensité modérée)	HYS : $1.41 \pm 0.31$ DYS : $1.32 \pm 0.28$	6%	$p>0.05$
C	AL : $1.45 \pm 0.30$ IR : $1.51 \pm 0.41$	Non précisé	$p>0.05$

La différence du taux de transpiration entre les groupes n'était pas significative pour les études B, C et D (tableau 12).

### 8.1.6 Température corporelle :

La température a été mesurée grâce à des récepteurs thermiques sous forme de pilule digestible dans toutes les études. La température gastro-intestinale ( $T_{GI}$ ) était considérée comme égale à la température corporelle moyenne.

Dans l'étude A, la  $T_{GI}$  était similaire entre HY et DHY au début de la course, à 4 km et 8 km. Puis, elle était significativement différente en post-run immédiat (DHY :  $39.09 \pm 0.45^\circ\text{C}$ , HY :  $38.71 \pm 0.45^\circ\text{C}$ ,  $p=0.030$ ), 10 min post-run (DHY :  $38.85 \pm 0.48^\circ\text{C}$ , HY :  $38.46 \pm 0.46^\circ\text{C}$ ,  $p=0.009$ ) et 30 min post-run (DHY :  $38.18 \pm 0.41^\circ\text{C}$ , HY :  $37.60 \pm 0.25^\circ\text{C}$ ,  $p=0.000$ ). Pour les deux groupes, il y avait un effet dans le temps ( $p<0.001$ ). Un effet pour l'hydratation ( $p=0.009$ ) et un effet pour l'interaction temps x condition ( $p=0.00$ ) étaient présents.

Dans l'étude B et D, l'état d'hydratation n'a pas influencé la  $T_{GI}$  ( $p<0.05$ ). Pour les sujets qui ont couru à une intensité maximale, seule la  $T_{GI}$  en post-run immédiat est différente (DYR :  $39.49 \pm 0.37^\circ\text{C}$ , HYR :  $39.18 \pm 0.47^\circ\text{C}$ ,  $p=0.038$ ). Alors que pour les participants des groupes à intensité modérée, la  $T_{GI}$  était plus élevée pour DYS que HYS à 8 km ( $39.04 \pm 0.33^\circ\text{C}$  vs  $38.75 \pm 0.39^\circ\text{C}$ ,  $P=0.009$ ), post-run immédiat ( $39.17^\circ\text{C} \pm 0.42^\circ\text{C}$  vs  $38.62 \pm 0.33^\circ\text{C}$ ,  $p<0.001$ ), 10 min post-run ( $p=0.001$ ) et 20 min post-run ( $p=0.001$ ). Pour les groupes à intensité modérée, la température corporelle augmentait de  $0.22^\circ\text{C}$  pour chaque 1% de perte de poids au moment du post-run immédiat.

Dans l'étude C, il y avait un effet significatif dans le temps ( $p<0.001$ ) avec une augmentation moyenne de  $1.76^{\circ}\text{C}$  de la  $T_{\text{GI}}$  du début à la fin de la course dans les deux protocoles. La différence pré-run-post-run chez AL s'élevait à  $-1.81 \pm 0.65^{\circ}\text{C}$  et pour IR à  $-1.72 \pm 0.74^{\circ}\text{C}$  était similaire. Il n'y avait pas d'effets significatifs pour la condition ou l'interaction temps x condition entre les protocoles. Cependant, il y avait une tendance pour AL d'avoir une  $T_{\text{GI}}$  de  $0.3^{\circ}\text{C}$  supérieure à IR à 30 min post-run.

#### 8.1.7 La fréquence cardiaque :

Il y avait un effet significatif dans le temps sur le rythme cardiaque dans l'étude A ( $p=0.00$ ) mais aucun sur l'interaction temps x condition durant l'exercice. DHY avait un rythme cardiaque similaire à HY du pré-run au post-run immédiat, puis un rythme cardiaque plus élevé à 10 min post-run ( $111 \pm 24$  vs  $101 \pm 20$  b/min,  $p=0.029$ ) et à 30 min post-run ( $101 \pm 17$  vs  $88 \pm 19$  b/min,  $p=0.006$ ). Le groupe DYR de l'étude B avait également un rythme cardiaque similaire à HYR du début de la course au post-run immédiat et un rythme cardiaque plus élevé à 10 min post-run ( $132 \pm 18$  vs  $118 \pm 10$  b/min,  $p=0.003$ ) et 20 min post-run ( $114 \pm 16$  vs  $103 \pm 12$  b/min,  $p=0.009$ ). Le rythme cardiaque du groupe DYS était plus élevé que celui du HYS à partir du 2<sup>ème</sup> lap, soit à 8 km, post-run immédiat, 10 min et 20 min post-run ( $p<0.005$  à tous ces points). Les groupes à intensité modérée avaient le rythme cardiaque en post-run immédiat qui augmentait de 6 b/min pour chaque 1% de perte de poids additionnel et de 10 b/min en 10 min post-run.

Dans l'étude C, le rythme cardiaque était similaire entre AL et IR ( $p=0.257$ ). Durant l'exercice, il n'y avait pas d'effet pour la condition, mais il y avait un effet significatif pour le temps ( $p=0.000$ ) et pour l'interaction temps x condition ( $p=0.048$ ). AL avait un rythme cardiaque plus élevé à 4 km ( $p=0.009$ ) et 8 km ( $p=0.011$ ). En post-run, il n'y avait pas de différence significative entre les protocoles.

#### 8.1.8 Paramètres sanguins

Le lactate en post-run était étudié dans les études A et B. Dans la première étude, la différence de lactate n'était pas significative entre HY ( $4.6 \pm 2.6$  mmol/L) et DHY ( $5.9 \pm 3.0$  mmol/L) ( $p=0.224$ ). Dans la deuxième étude, la différence de lactate n'était pas non plus significative dans les deux intensités de course ( $p>0.05$ ). HYR et DYR avaient respectivement  $5.0 \pm 1.2$  mmol/L et  $4.6 \pm 1.4$  mmol/L tandis que HYS et DYS avaient respectivement  $2.8 \pm 0.7$  mmol/L et  $3.9 \pm 2.2$  mmol/L.

#### 8.1.9 Ressenti et perception des sensations :

Les sensations des athlètes étaient évaluées à l'aide de questionnaires et d'échelles. Les questionnaires POMS (Profil of Mood States) et ESQ (Environmental Symptoms Questionnaire) étaient complétés avant et après la course alors que les échelles étaient utilisées en pré-run, aux pauses et en post-run. Les échelles mesuraient la sensation de soif, les sensations thermiques et le RPE. Les tableaux 9, 10 et 11 montrent les effets pour le temps, la condition et l'interaction temps x condition sur ces outcomes.

Dans l'étude A, la comparaison entre HY et DHY montrait que la sensation de soif était davantage ressentie dans DHY à tous les points de mesures ( $p=0.000$ ). Dans l'étude B et D, la perception de la soif était plus grande dans les groupes DYS et DYR en comparaison à HYS et HYR respectivement à tous les points de mesure (tous ont une  $p<0.001$ ). Dans l'étude C, la sensation de soif a augmenté significativement chez AL à tous les points de mesure depuis le pré-run ( $p<0.01$ ), alors que chez IR, la soif n'était pas différente dans le temps.

Pour les sensations thermiques, il y avait seulement un effet significatif pour le temps ( $p=0.000$ ) et pas de différence entre les groupes pour les études A et C. Dans les études B et D, les sensations

thermiques étaient plus élevées chez DYS vs HYS au lap 2, post-run immédiat et 20 min post-run alors qu'elles l'étaient seulement au lap 2 et 20 min post-run chez DYR vs HYR (tous à  $p<0.05$ ).

Dans l'étude A, il y avait un effet significatif sur le RPE pour la condition ( $p=0.042$ ) et le temps ( $p=0.00$ ) (à l'exception des 30 min post-run) mais pas pour l'interaction temps x condition. Les valeurs du RPE étaient plus élevées dans le groupe DHY à chaque point de mesure et approchaient la significativité au post-run ( $p=0.055$ ). Alors que dans l'étude C, il y avait uniquement un effet significatif pour le temps ( $p<0.001$ ). Dans les études B et D, RPE était plus élevé chez DYS vs HYS aux lap 1 et 2 et en post-run tandis que chez DYR, RPE était plus élevé au lap 2, post-run, et 20 min post-run (tous à  $p<0.05$ ).

En outre, l'étude A étudiait également la perception de l'état d'hydratation et la fatigue musculaire. Cette dernière était significativement plus grande dans le temps ( $p=0.000$ ) mais pas entre les conditions et pour l'interaction temps x condition. Concernant l'état d'hydratation perçue, il y avait un effet significatif pour le temps ( $p=0.000$ ) pour l'état d'hydratation perçue et également entre les groupes ( $p=0.000$ ) mais aucun pour l'interaction temps x condition.

L'ESQ était différent entre le pré-run et le post-run pour HY et DHY ( $p=0.000$  aux deux groupes) et il y avait également une différence entre les deux groupes aux deux points de mesure (pré-run :  $p=0.001$  et post-run :  $p=0.000$ ). Le score du POMS étaient différents entre les groupes pour les items suivants ( $p<0.05$ ) : tension/anxiety, depression/dejection, vigor/activity, fatigue/intertia et total mood disturbances.

La différence pré-run-post-run du score de l'ESQ était plus élevée pour le groupe DYR vs HYS ( $p=0.007$ ) mais aucune différence entre DYS et HYS ( $p=0.104$ ). Concernant le POMS, aucune différence significative entre DYR et HYR. Entre DYS et HYS, l'item tension/anxiety a diminué à une plus grande ampleur chez DYS ( $p=0.03$ ) et les items fatigue/intertia ( $p=0.21$ ) et total mood disturbances ( $p=0.28$ ) ont augmenté davantage chez DYS.

## 8.2 Résultats de la question de recherche N°2 :

197 articles répondaient à l'équation de recherche dont 37 articles étaient des essais cliniques randomisés. D'après la lecture du titre, 16 articles correspondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion. Sur ces 16 articles, seuls 4 articles correspondaient aux critères souhaités selon la lecture de l'abstract. Après la consultation des bibliographies des articles, 2 études ont été ajoutées. Suite à la lecture des articles, 1 a été exclue sur la base des critères souhaités. Au final, 5 articles ont été retenus (61)(62)(63)(31)(64), analysés et validés par la grille qualité de l'AND. Le processus de sélection est schématisé en figure 5 et une brève description des études retenues est présentée en figure 6.

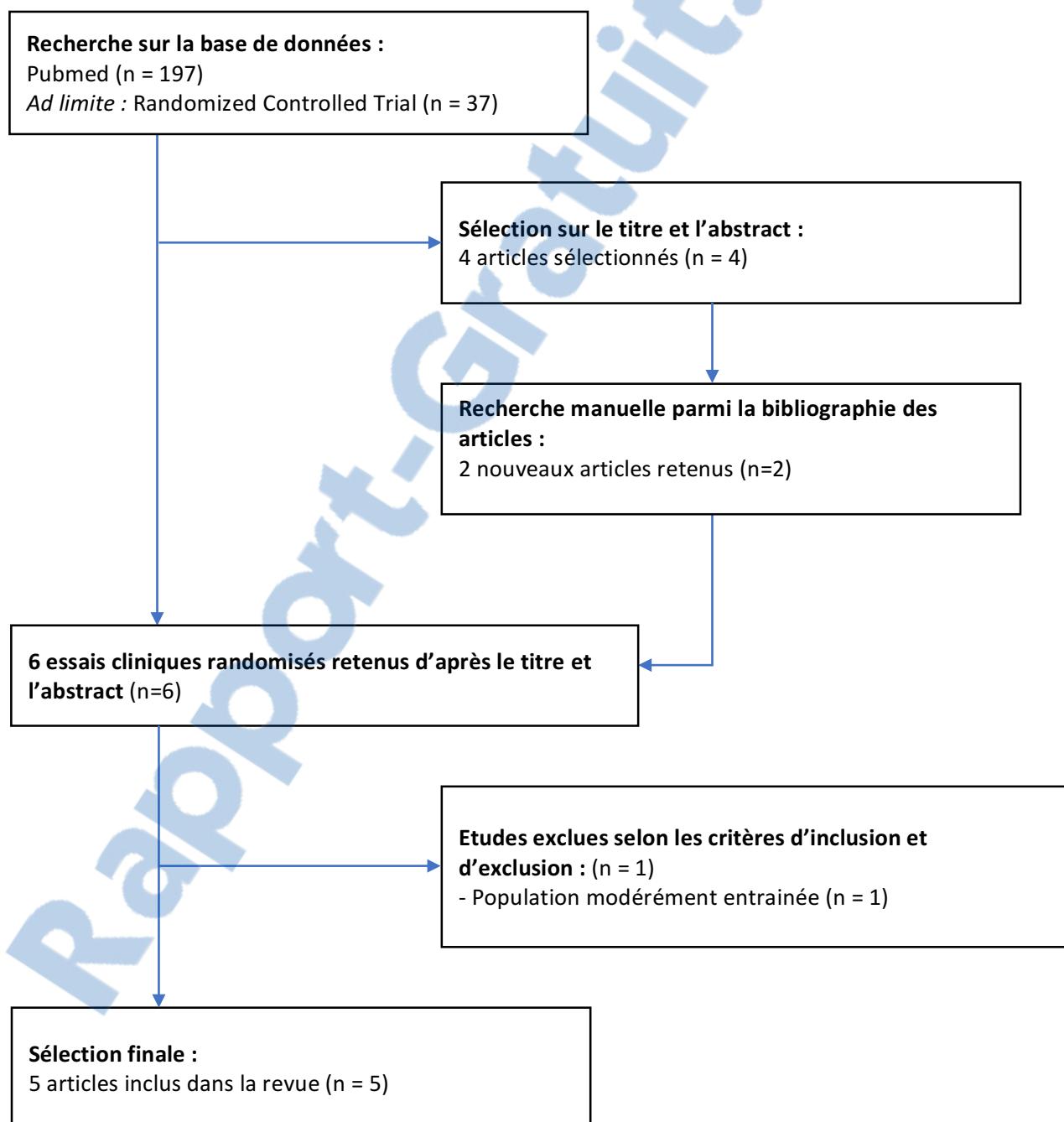


Figure 5 : Résultats de sélection des articles pour la question de recherche n°2.

2011 Tyler et Sunderland (61) <b>Etude E</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 athlètes d'endurance ont couru 4x jusqu'à la fatigue d'épuisement: 2x familiarisation, 2x épreuves.</li> <li>• 2 épreuves: Cooling avec un collier pendant l'épreuve (CC), sans cooling (NC). Les 2 familiarisation sans collier.</li> </ul>
2004 Arngrimsson et al. (62) <b>Etude F</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 athlètes de course de moyenne/longue distance ont courru 2x 5km , sur un tapis de course en laboratoire (32°C), avec test préliminaire.</li> <li>• L'ordre des deux épreuves était contrbalancé: Precooling pendant le warm-up avec Cooling vest (V) et warm-up avec un t-shirt basique (C).</li> </ul>
2007 Ückert et Joch (63) <b>Etude G</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 étudiants en éducation physique, bien entraînés ont couru 3 épreuves jusqu'à la fatigue d'épuisement, sur un tapis de course en laboratoire (30-32°C), avec une familiarisation.</li> <li>• L'ordre des 3 épreuves était contrbalancé: precooling Cooling vest (PC) pendant 20 min, warm-up (WU) de 20 min et sans préparation particulière (C)</li> </ul>
2017 Stevens et al. (31) <b>Etude H</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 athlètes ont couru à leur rythme 3 x 5 km sur un tapis de course non motorisé dans un laboratoire (33°C), avec une familiarisation.</li> <li>• Les 3 épreuves ont été randomisées : precooling cold-water immersion (CWI) pendant 30 min, mid-exercise cooling avec un spray facial d'eau (SPRAY) à chaque km et sans intervention (CON).</li> </ul>
2012 Yeo et al. (64) <b>Etude I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 athlètes ont couru 10 km en extérieur, dans environnement avec une température moyenne de 28,2 °C, avec une familiarisation.</li> <li>• L'ordre des épreuves était contrbalancé: Le groupe intervention a ingéré 8g/kg de poids de glace pilée (ICE) et le groupe contrôle 8g/kg de poids de boisson de sport (CON).</li> </ul>

**Figure 6 : brève description des études retenues sur le rafraîchissement**

\* \* \* \* \*

*Pour aider à la compréhension du travail, nous avons numéroté les 5 études retenues pour la QR n°2 (61)(62)(63)(31)(64) en E, F, G, H et I comme présenté dans la figure 6.*

\* \* \* \* \*

### 8.2.1 Caractéristiques de la population

L'âge moyen des participants varie selon les études. Selon la moyenne de l'écart-type l'âge de la population générale des études est de 30 +/- 12 ans (H). Les échantillons étaient petits en nombre, allant de 8 à 20 athlètes et majoritairement composés d'hommes. Seules deux études comprennent des femmes (I, E). Les sujets étaient soit des athlètes de clubs de courses, soit des personnes entraînées, comme dans l'étude de Ückert. S et Winderfried. J (G) dans laquelle les sujets étaient des étudiants en éducation physique pratiquant des sports d'endurance de haute intensité ou dans l'étude Z.W. Yeo et al. (I) où les sujets s'entraînaient au moins 5 fois par semaine. Comme dans l'étude de Ückert. S et Winderfried. J (G) dans laquelle les sujets étaient des étudiants en éducation physique pratiquant des sports d'endurance de haute intensité ou dans l'étude Z.W. Yeo et al. (I) où les sujets s'entraînaient au moins 5 fois par semaine. Les caractéristiques des athlètes étaient peu détaillées. L'âge, la taille, le poids moyens étaient précisés, mais aucune information quant à l'ethnie n'était

donnée. Pour chaque étude, les participants étaient volontaires et ont donné leur consentement écrit. L'étude était toujours approuvée par un comité d'éthique.

### 8.2.2 Température ambiante

La température ambiante était toujours  $>27^{\circ}\text{C}$ . Toutes les études, exceptée une (I) ont été réalisée en laboratoire. De ce fait, la température était stable et n'a pas varié entre les différentes épreuves d'une même étude. L'étude de Z.W. Yeo et al., se déroulait à Singapour situé près de l'équateur et où la température varie entre 24 à  $32^{\circ}\text{C}$ . Les températures relevées pendant l'étude étaient de  $28,2 +/ - 0,2^{\circ}\text{C}$ . Le taux d'humidité des études était toujours  $\geq 50\%$ .

### 8.2.3 Performance des athlètes

La performance des athlètes était déterminée par le temps de course. Les temps de course étaient soit déterminés par une distance imposée soit par la performance de course jusqu'à l'épuisement (tableau 13).

L'objectif principal de chaque étude était de savoir si l'intervention par une méthode de rafraîchissement avant ou pendant l'épreuve améliorait la performance des sujets comparée au groupe contrôle (sans intervention). Pour chaque étude, il y avait au moins une session de familiarisation.

**Tableau 13 : Performance de temps de course des études sur le rafraîchissement**

Etudes	Méthodes de rafraîchissement	Temps de course (min)
E	Collier (CC)	$43,15 \pm 12,82$
	Sans collier (NC)	$38,20 \pm 11,70$
F	Gilet (V)	$1'134 \pm 132 \text{ sec, soit } 18,9 \pm 2,2 \text{ min}$
	T-shirt (C)	$1'147 \pm 130 \text{ sec, soit } 19,12 \pm 2,17 \text{ min}$
G	Gilet (PC)	$32,5 \pm 5,1$
	Warm-up (WU)	$26,9 \pm 4,6$
	Contrôle (C)	$30,3 \pm 4,3$
H	CWI	$24,5 \pm 2,8$
	SPRAY	$24,6 \pm 3,3$
	CON	$25,2 \pm 3,2$
I	Glace pilée (ICE)	$2715 \pm 396 \text{ sec, soit } 45,25 \pm 6,6$
	Boisson de sport (CON)	$2730 \pm 385 \text{ sec, soit } 45,5 \pm 6,41$

Les interventions ont à chaque fois montré de meilleurs résultats sur le temps de course. Pour l'étude E, la performance augmente de  $13,5 +/ - 3,8\%$  avec CC comparé à NC ( $p<0,001$ ). Cette augmentation est valable pour tous les participants avec une amélioration allant de 11 à 24,4%.

Pour l'étude F, la performance est de 1,1% plus élevée avec V. La différence était la même pour les hommes et les femmes comme le démontre le manque d'effet significatif de l'interaction genre x condition.

Dans l'étude de Ückert S et Windfried J (G), PC résulte d'une performance plus longue de 2,2 +/- 1,94 minutes comparé à C ( $p<0,001$ ) et de 5,6 +/- 2,5 minutes comparé avec WU. La différence du temps de course de C comparé à WU est de 3,4 +/- 2,2 minutes ( $p<0,001$ ).

Christophe J Stevens and al. (H) démontre que le temps de course était significativement plus bas pour les interventions (CWI et SPRAY) que pour CON ( $p<0,001$ ). Il n'y avait pas de différence au niveau du temps de course entre les deux interventions de rafraîchissement (CWI, SPRAY).

Dans l'étude I, ICE réduit le temps de course d'en moyenne 15 +/- 39 secondes, soit de 0,6 +/- 1,4%. Sur les 12 coureurs de cette étude, 11 étaient plus rapides et 1 seul a moins bien performé. Le nombre de participants étant très petit, la moyenne du temps de course supérieur pour ICE était faussée. En prenant en compte que les 11 coureurs, l'augmentation de la performance de course est de 26 +/- 15 secondes (1 +/- 0,6%).

#### 8.2.4 Température corporelle

La température corporelle a été évaluée de différentes manières, selon les études. Elle a été déterminée par la température de la peau ( $T_{sk}$ ), rectale ( $T_{re}$ ), de l'oesophage ( $T_{es}$ ), gastro-intestinale ( $T_{GI}$ ) ou tympanique ( $T_t$ ). Ci-dessous des tableaux résument les résultats pour chaque étude :

Dans l'étude de Tyler CJ et Sunderland C, la température corporelle a été mesurée au niveau rectal. Les chercheurs ont également observé la température de la peau du cou (emplacement du collier).

**Tableau 14 : température rectale pré- et post-run**

Méthodes	$T_{re}$ (°c)		$T_{re}$ (°c)
	Pré-run	Post-run	
Collier (CC)	37,37 +/- 0,6		39,61 +/- 0,45
Sans collier (NC)	37,17 +/- 0,31		39,18 +/- 0,7

La température rectale était plus élevée au début de l'épreuve avec CC ( $p=0,04$ ) et également en fin d'épreuve ( $p=0,02$ ).  $T_{sk}$  était plus basse avec l'application du collier que sans ( $p<0,001$ ). A 5 minutes de course, la différence moyenne de  $T_{sk}$  entre les deux groupes était de -17,91 +/- 3,96°C et à la fin de l'épreuve : -8,11°C +/- 4,59°C.

Dans l'étude F, la température corporelle a été calculée avec une formule regroupant  $T_{re}$  et  $T_{sk}$ . La température de la peau a également été observée (tableau 15).

**Tableau 15 : température rectale et cutanée pré- et post-run**

Méthodes	$T_{re}$ (°c)		$T_{sk}$ (°c)	
	Pré-run	Post-run	Pré-run	Post-run
Gilet (V)	38,0 +/- 0,4		33,8 +/- 1,2*	
T-shirt (C)	38,2 +/- 0,4	pp mais pas de différence significative	35,6 +/- 0,6	pp mais pas de différence significative

\* $p<0,05$

D'après la formule, au début de la course, la température corporelle était significativement plus haute avec C qu'avec V ( $37,9 +/- 0,4^\circ\text{C}$  VS  $37,5 +/- 0,4^\circ\text{C}$ ) ( $p<0,05$ ). À la fin des deux épreuves, la température corporelle est similaire dans les deux groupes, soit à  $39,0^\circ\text{C}$  ( $38,2 - 39,8^\circ\text{C}$ ).

$T_{sk}$  était plus basse avec V au début de la course mais la différence a disparue dès 1,6km et il n'y avait plus de différence significative à la fin de la course.  $T_{re}$  était également plus basse avec V au début de

la course et jusqu'à 3,2km mais ne l'était plus significativement à la fin de l'épreuve. Il en était de même pour la température de l'œsophage ( $T_{es}$ ).

Le stockage de la chaleur a augmenté plus rapidement pour V que C : 150% durant les premiers 1,6 km, 23% les 1,6 km suivants et de 11% de 3,2 à 5 km. Ceci est due à l'évaporation de la perte de chaleur moins grande avec le port du gilet. La perte de poids était également moins importante avec V (1,0 +/- 0,4 kg) qu'avec C (1,2 +/- 0,4 kg) ( $p<0,05$ ).

Ückert S et Joch W (G) ont observé  $T_{sk}$  et la température tympanique ( $T_t$ ) qui représente la température corporelle ( $T_c$ ).  $T_t$  a augmenté durant les interventions WU et PC (tableau 16).

**Tableau 16 : température tympanique avant et après l'intervention**

Méthodes	$T_t$ (°c)	
	Avant intervention	Après intervention
Gilet (PC)	36,6 +/- 0,5	37,6 +/- 0,5*
Warm-up (WU)	36,6 +/- 0,6	37,1 +/- 0,4

\* $p<0,001$

Au début de l'épreuve (après l'intervention),  $T_c$  était plus élevée de 0,93 +/- 0,72°C après WU comparé au contrôle (C) ( $p<0,001$ ). La différence est restée significative jusqu'à la 35e minute.  $T_t$  était également plus haute après WU qu'après PC (tableau ci-dessus) et plus élevée après PC que C. Les différences de température corporelle entre les groupes après l'épreuve n'étaient plus significatives.

Durant le temps de préparation à l'épreuve,  $T_{sk}$  a augmenté de 0,42°C avec WU et a baissé de 0,69°C avec PC ( $p<0,01$ ) (tableau 17).

**Tableau 17 : température cutanée avant et après l'intervention**

Méthodes	$T_{sk}$ (°c)	
	Avant intervention	Après intervention
Gilet (PC)	33,6 +/- 0,9	32,9 +/- 0,7
Warm-up (WU)	34,2 +/- 0,9	34,7 +/- 0,8

\* $p\leq 0,05$ .

Les chercheurs ont observé une augmentation significative ( $p<0,01$ ) de  $T_c$  avec les 3 tests :

- C : +1,92 +/- 1,11°C
- WU : +1,06 +/- 0,82°C
- PC : + 2,21 +/- 1,12 °C

Malgré la hausse de température pour chacun des tests, la différence entre les tests n'est en général pas significative. La différence  $T_{sk}$  après C (35,65 +/- 0,95°C) et après WU (35,73 +/- 0,53°C) n'était pas significative. Par contre, elle l'était après PC (35,1 +/- 0,88°C) et après WU ( $p<0,001$ ). La différence entre PC et C n'était pas non plus significative.

Dans l'étude de Stevens et al. (31), 4 mesures de températures ont été observées :  $T_{re}$ , température moyenne de la peau, température du front et température moyenne du corps. La  $T_{re}$  de base était similaire entre les différents tests (37,0 +/- 0,2°C). CWI a atteint la température rectale la plus basse en baissant de 0,5 +/- 0,3°C comparé à la température de départ ( $p<0,01$ ) et toutes les valeurs étaient significativement plus basses qu'avec CON et SPRAY jusqu'à la fin de l'épreuve. La température du front était significativement plus basse avec CWI qu'avec CON et SPRAY après l'immersion dans l'eau et après l'échauffement ( $p = 0,001 - 0,04$ ). Elle a continué d'être moins élevée avec CWI qu'avec CON

pendant les 2 premiers kilomètres de course ( $p=0,001-0,03$ ). Par contre, SPRAY a résulté d'une température frontale plus basse pendant toute l'épreuve ( $p = 0,001 - 0,04$ ). Après l'immersion dans l'eau seulement, la température des mains, du dos, des mollets et la température moyenne de la peau étaient moins élevées avec CWI comparé aux deux autres méthodes ( $p<0,01$ ). Par contre la température moyenne de la peau était plus basse après l'immersion et ceci jusqu'à la fin de l'épreuve ( $p\leq 0,01$ ).

Yeo et al. (64) ont calculé la température corporelle en utilisant la température gastro-intestinale ( $T_{GI}$ ). Cette mesure est valable pour 11 participants sur 12 car un des participants a excrété la pile télémétrique avant l'épreuve (tableau 18).

**Tableau 18 : température gastro-intestinale pré- et post-run**

Méthodes	$T_{GI}$ (°c)	$T_{GI}$ (°c)
Ingérés avant la course	Pré-run après WU	Post-run
Glace pilée (ICE)	37,4 +/- 0,3°C	40,2 +/- 0,6°C*
Boisson de sport (CON)	37,4 +/- 0,3°C	39,8 +/- 0,4°C

\* $p=0,005$

Pendant les 5 minutes de repos avant l'ingestion de glace pilée ou de boisson, il n'y avait aucune différence au niveau de  $T_{GI}$ . A la fin de la phase d'ingestion, la réduction était plus efficace avec ICE (0,5 +/- 0,2°C) qu'avec CON (0,1 +/- 0,1°C). Après l'échauffement et avant le début de la course,  $T_{GI}$  était similaire entre les ICE et CON, et l'est restée jusqu'à 15<sup>ème</sup> minute de course. Ensuite,  $T_{GI}$  a augmenté de manière plus importante avec ICE (39,5 +/- 0,7°C) comparé à CON (39,1 +/- 0,6°C) ( $p<0,01$ ). A la fin de l'épreuve,  $T_{GI}$  demeurait plus élevée avec ICE (cf. Tableau ci-dessus).

### 8.2.5 Fréquence cardiaque

**Tableau 19 : Relevé des fréquences cardiaques avant/pendant et après la course**

Etudes	Méthodes	HR (bpm) Pré-run	Pendant	Post-run
E	Collier (CC)	91 +/- 24	10'162 +/- 13 15' 167 +/- 13	181 +/- 6 *
	Sans collier (NC)	82 +/- 15	10' 158 +/- 16 15' 162 +/- 14	178 +/- 9
F	Gilet (V)	111 +/- 20*	182 +/- 11*	Similaire (195 +/- 12)
	T-shirt (C)	122 +/- 22	185 +/- 11	
G	Gilet (PC)	80,7 +/- 10,9*	pp	Pas de différence significative
	Warm-up (WU)	116,2 +/- 10,4		
	Contrôle (C)	87,9 +/- 13,7		
H	CWI	pp mais similaire	169 +/- 10	Pas de différence significative
	SPRAY		173 +/- 11	
	CON		171 +/- 9	
I	Glace pilée (ICE)	68 +/- 8	pp mais similaire	184 +/- 11
	Boisson de sport (CON)	65 +/- 12		182 +/- 7

\* $p<0,05$  / pp = pas précisé

Arngrissmon et al. (62) démontre que HR est significativement plus haute avec V comparé en début de course et jusqu'à 1,6 km (tableau 19). Ensuite la différence n'est plus significative.

Dans l'étude G, HRmax a été atteinte avec PC (191 +/- 8,7 bpm). Jusqu'à 30 minutes d'épreuve HR était toujours plus basse avec PC comparé à WU ( $p<0,01$ ) mais ne l'était plus après 35 minutes. Après WU, durant les 25 premières minutes d'épreuve HR était significativement plus élevée comparé à C ( $p<0,001$ ). Après 35 minutes la différence n'était plus significative.

### 8.2.6 Paramètres biologiques

Dans l'étude F, le lactate sanguin était seulement mesuré à la fin de l'épreuve et avait atteint en moyenne 6mmol/l et la différence entre les deux conditions n'était pas significative.

Dans l'étude G, les chercheurs ont démontré qu'il n'y avait pas de différence significative au niveau de la concentration en lactate entre les conditions. Ils ont observé une tendance à un taux de concentration plus bas après WU comparé à PC et C. Des différences significatives ont été reportées seulement au début de l'épreuve (5 minutes) entre PC (2,79 +/- 0,6 mmol/l) et C (3,56 +/- 1 mmol/l) ( $p<0,01$ ) et entre WU (2,82 +/- 1,1 mmol/l) et C ( $p<0,05$ ). Il n'y avait pas de différence significative entre PC et WU.

Dans l'étude H, la différence des mesures de lactate sanguin n'est pas significative à 2,5 et 5 kilomètres. La concentration sanguine en prolactine a augmenté entre "avant et après" l'épreuve dans chaque condition ( $p<0,05$ ) mais il n'y avait pas de différence entre les conditions.

### 8.2.7 Ressenti et perception

Les sensations et perceptions pendant les tests ont été évaluées dans les études E, F, H et I.

Dans l'étude de Tyler et Sunderland (61), RPE était similaire entre les deux conditions. La sensation thermale du cou (TS<sub>neck</sub>), évalué sur une échelle de 0 à 8, était significativement plus basse avec CC (5,3 +/- 1,3) qu'avec NC (7,7 +/- 0,4) ( $p=0,01$ ). Les participants se sentaient plus rafraîchis avec l'application du collier pendant et à la fin de l'épreuve ( $p=0,006$ ). Par contre, il n'y avait pas de différence au niveau de la sensation thermale du reste du corps entre les deux conditions, à la fin de la course.

Dans l'étude F, sur la base des évaluations du confort thermique, les coureurs se sont sentis plus rafraîchis après 30 minutes de WU avec V, un sentiment qui a persisté encore au début de la course de 5 km. Même si RPE tendait à être plus bas avec V comparé à C (0,5 - 0,7) pendant les 3,2 premiers kilomètres, la différence n'était pas significative. Les valeurs sont similaires pour les deux conditions à la fin de l'épreuve.

Stevens et al (31) ont mesuré RPE sur une échelle de 0 à 10 (0 = rest et 10 = maximum) et la sensation thermal avec "Young's 17-point category ratio scale" (0 = insupportablement froid et 8 = insupportablement chaud). Ils ont également évalué le confort gastro-intestinal avec une échelle de 0 = imperceptible et 4 = très inconfortable). La sensation thermale était évaluée plus basse pour les interventions CWI (5,8 +/- 0,8) et SPRAY (5,8 +/- 0,7) comparées à CON (6,0 +/- 0,6), ce qui est significatif ( $p=0,01$  et  $p=0,04$ ). RPE et le confort digestif étaient similaires entre les trois conditions.

L'étude I ne montrait aucune différence pour RPE entre les deux conditions. L'évaluation de la sensation thermique était également similaire avant l'ingestion de glace pilée ou de boisson à température ambiante. La sensation thermale a été évaluée plus basse après 35 minutes après l'ingestion et a persisté jusqu'à la fin de cette période ( $p=0,001$ ). Elle était toujours plus basse avec l'intervention ICE comparée à CON jusqu'au premier kilomètre de course ( $p=0,05$ ) et ensuite la différence n'était plus significative.

## 9 Discussion

Nous avons décidé de séparer la discussion en deux parties : l'hydratation et le rafraîchissement. En effet, il est impossible de lier les deux sujets puisque jusqu'à aujourd'hui, la littérature ne recense aucune étude traitant l'effet de l'hydratation et du rafraîchissement ensemble sur la performance chez les coureurs d'endurance. A la fin de la discussion, nous proposerons un protocole concret avec des recommandations liant hydratation et rafraîchissement basé sur les résultats de ce présent travail et recherches parallèles.

### ***Qualité des études***

Les articles retenus pour la revue de littérature sur l'hydratation ont tous été validés par la grille qualité de l'AND (annexe I). Les 4 études ont été menées par les mêmes auteurs principaux. Ainsi, elles suivent toutes une rigueur méthodologique similaire. Cependant, aucune étude ne précisait le lieu du recrutement des sujets ou comment l'annonce a été publiée. Seule Stearns et al. (60) précisait que les sujets provenaient soit d'une équipe de cross-country ou qui avait été membre d'une équipe de l'Université. Bien que Casa et al. (58) s'était basé sur la même intervention, ces informations n'y figuraient pas dans l'article. L'étude de Stearns et al. mentionnait également un financement de Gatorade Sports Science Institute, nous questionnant quant à la neutralité totale de l'article (38). Les 4 études utilisaient des outils validés pour mesurer les outcomes.

En ce qui concerne le rafraîchissement, tous les articles ont été validés par la grille qualité de l'AND (annexe I). Le but de l'étude était toujours clairement expliqué.

Les critères d'inclusion et d'exclusion n'étaient pas explicitement précisés, excepté dans l'étude de Stevens et al. (31) Qui a mentionné les critères d'inclusion et d'exclusion. Les sujets devaient avoir complété un minimum de 10 courses de 5km durant les deux dernières années avec leurs temps de course les plus récents, entre 18 et 22 minutes. Les sujets ne devaient pas présenter de contre-indication à l'exercice physique et pour contrôler cela, ils ont complété un questionnaire de santé.

Le lieu de recrutement était précisé dans chaque étude. Généralement, les participants étaient recrutés dans des clubs de course à pied de moyenne à longue distance ou de triathlon, excepté pour l'étude de Christopher et al. Qui n'a pas précisé le lieu de recrutement. Pour les interventions, l'aveuglement était impossible, car elles reposaient sur l'utilisation d'une méthode de rafraîchissement comparée à pas de rafraîchissement. Cependant, les participants étant leur propre contrôle, expérimentaient les interventions dans un ordre contrebancé.

Les outils utilisés pour les outcomes sont toujours présentés en détail et sont valides.

### **Hydratation :**

Dans les 4 articles retenus pour répondre à la question de recherche n°1, seules les épreuves à intensité maximale des études B, C et D pouvaient être directement interprétées pour la performance de temps. Les épreuves à intensité modérée servaient quant à elles à étudier les réponses physiologiques de la déshydratation.

### ***Performance***

Les résultats démontraient que dans un environnement chaud, débuter avec un état euhydraté et s'hydrater pendant la course permettaient une meilleure performance de temps que de débuter avec un état déshydraté et avec une restriction hydrique pendant la course (B et D). Cependant, si tous les athlètes étaient euhydratés en début de course, les résultats suggéraient qu'il n'y avait aucune

différence de performance de temps entre boire « ad libitum » et un protocole d'hydratation individualisé selon le taux de transpiration du coureur.

Les résultats étaient difficilement comparables et généralisables, car un nombre restreint d'essais cliniques répondaient à l'équation de recherche et les protocoles employés ne reflétaient pas la réalité. Ceci était le cas pour les études A, B et D où les sujets ont couru 12 km en faisant une pause de 4 min tous les 4 km. De plus, les sujets étaient déshydratés dès le début de la course, or il aurait été plus intéressant de connaître l'impact de la déshydratation induite par l'effort en débutant avec un état euhydraté, car les athlètes sont généralement hydratés en début de course (9). L'étude C avait néanmoins un protocole pertinent permettant de comparer « ad libitum », ce qui est actuellement recommandé aux coureurs, et la théorie stipulant de remplacer les pertes hydriques grâce à un protocole individualisé (IR). Bien que IR ait remplacé une plus grande partie des pertes (64% vs 30%), Lopez et al. (59) ont décrit que les athlètes n'étaient pas accoutumés à boire autant, ce qui expliquait pourquoi IR n'a pas remplacé la totalité des pertes hydriques. Néanmoins, il serait possible d'entraîner l'intestin afin d'augmenter la vidange gastrique selon Murray (65), ce qui constitue une piste pour améliorer la tolérance à l'hydratation et ainsi optimiser l'état d'hydratation pendant la course.

### ***Température corporelle***

Selon Tan et Lee (47), une température corporelle élevée lors d'exercice diminuerait la performance et serait étroitement en lien avec l'état d'hydratation. Les résultats dans le présent travail démontrent que la température corporelle était plus élevée dans tous les groupes déshydratés à partir du 12<sup>e</sup> km, sauf pour le groupe déshydraté à intensité modérée de l'étude C où une différence était notable dès le 8<sup>e</sup> km. Ceci indique que plus l'organisme est déshydraté, plus la température corporelle augmente. De plus, sur la base de l'évolution de la température au cours des épreuves, il est possible que l'écart se soit creusé davantage si l'épreuve s'était poursuivie. Il est néanmoins imprudent d'affirmer que cette température plus élevée chez les groupes déshydratés soit responsable d'un temps de course plus long, car d'autres facteurs sont impliqués, tels que la fréquence cardiaque, les ressentis de l'athlète, ou encore les réserves de glycogène musculaire. Les résultats de l'étude C viennent contester cette hypothèse, car malgré un état de déshydratation plus important en fin de course dans le groupe AL, la température corporelle était similaire entre AL et IR, sans différence de temps de course. Il y avait néanmoins une tendance où AL avait 0.3°C de plus que IR en fin de course, émettant l'hypothèse que si la course s'était poursuivie après les 20 km, la différence de température aurait peut-être été statistiquement significative. Une autre question demeure quant à la performance de temps dans l'étude C. Bien qu'il n'y ait pas de différence de temps sur les 20 km, nous pouvons observer que le temps de course des laps avait tendance à être plus court pour le groupe IR dès le 3<sup>e</sup> lap, avec une différence (non significative) augmentant lap après lap. Ceci émet la deuxième hypothèse que si la course s'était prolongée, le groupe IR aurait peut-être eu une meilleure performance significative. Ces 2 hypothèses émises pour l'étude C se rejoignent et suggèrent que la déshydratation induite par l'effort altère la performance lors des courses à longue distance > à 20 km.

Il est également intéressant de comparer les températures corporelles avec les sensations thermiques perçues par les athlètes. Etonnamment, il n'y a pas réellement de logique, car les sensations thermiques étaient similaires entre les groupes pour les études A et C, alors que dans cette première étude, il y avait une différence de température corporelle à la fin de course. En revanche, les sensations thermiques étaient davantage ressenties dans les groupes déshydratés de B et D, et ce aux mêmes moments où la différence de température était significative, excepté en post-run immédiat où les

groupes déshydratés à intensité maximale avaient une température corporelle plus élevée, mais une perception des sensations thermiques similaire au groupe hydraté.

### ***Fréquence cardiaque***

Selon Stearns et al. (60), la fréquence cardiaque est en lien avec l'état d'hydratation. Pour une même vitesse de course, la fréquence cardiaque d'un athlète déshydraté est plus élevée que celle d'un athlète euhydraté ou moins déshydraté. L'étude A démontre que lorsque les deux groupes courent à une fréquence cardiaque similaire, le groupe déshydraté est moins performant. Les groupes à intensité modérée de l'étude B dont le but était de faire courir les athlètes à la même vitesse dans les 2 interventions, reporte que les athlètes déshydratés avaient une fréquence cardiaque plus élevée à partir du 8<sup>e</sup> km. Ces résultats appuient l'hypothèse que les groupes déshydratés en début de course atteindraient la fatigue avant les groupes hydratés, car la fréquence cardiaque est plus élevée. La déshydratation demanderait donc un plus grand effort pour maintenir la même cadence qu'un état hydraté. Les résultats des groupes à intensité maximale de B et D viennent également soutenir ceci. Les athlètes avaient dans les 2 groupes un rythme cardiaque élevé qui était similaire, cependant la performance de temps était moindre pour le groupe déshydraté. Toutefois, dans l'étude C, aucune différence de rythme cardiaque n'était notable entre AL et IR, bien que AL ait terminé l'épreuve avec un état d'hydratation inférieur à IR. L'hypothèse précédente semble donc ne pas s'appliquer si les athlètes sont euhydratés en début de course, du moins pour une course de 20 km.

### ***Sensations et perceptions***

Burke et Deakin (9) expliquent que la tolérance à l'effort est diminuée lorsque la température corporelle est élevée. En partant du postulat où la déshydratation augmente la température corporelle, la déshydratation diminuerait la tolérance à l'effort (33). Le taux de fatigue perçue (RPE) ainsi que la sensation de soif étaient plus élevés dans tous les groupes déshydratés. En théorie, ces ressentis peuvent constituer une gêne chez les athlètes, diminuant potentiellement la performance (12). Néanmoins, pour une course de 12 km, le mental d'un athlète peut outrepasser cette gêne car l'envie de gagner est supérieure. Cependant, nous pouvons nous questionner si cette gêne peut prendre le dessus pour les courses à plus longue distance, dans quel cas ces sensations impacteraient la performance. L'étude C ne relevait pas de différence de RPE malgré que AL soit plus déshydraté. Par contre, la sensation de soif augmentait au cours de la course dans ce dernier groupe tandis que IR ressentait une soif constante et moins importante.

Pour tous ces facteurs pouvant potentiellement altérer la performance, il est difficile de connaître lesquels réduisent réellement la performance et lesquels n'ont aucun effet, voire un effet négligeable. Ces phénomènes se produisent en même temps et il est, à l'heure d'aujourd'hui, impossible de les isoler. De plus, ces résultats peuvent être biaisés par des facteurs de confusion : la température des liquides ingérés, le vent, des méthodes de cooling, l'acclimatation à la chaleur, et bien d'autres facteurs. Par conséquent, il est impossible de tirer des conclusions pour chaque facteur avec cette revue de littérature.

### **Rafraîchissement :**

En ce qui concerne la question de recherche n°2, les résultats des 5 articles retenus démontrent une efficacité significative des méthodes de precooling et de percooling comparé au contrôle.

### **Performance**

La performance était toujours meilleure avec les interventions de cooling, que ce soit au niveau du nombre de kilomètres parcourus jusqu'à l'épuisement ou le temps nécessaire aux athlètes pour effectuer un nombre de kilomètres imposés.

Les résultats de performance étaient difficilement comparables entre les différentes études analysées. En effet, la performance n'était pas évaluée de la même manière pour chaque étude. Ceci représente un biais dans l'analyse des résultats, car il est impossible de savoir si les athlètes avec la condition contrôle (sans cooling) auraient mieux performé s'ils avaient couru jusqu'à l'épuisement (F, H, I) au lieu d'un nombre de kilomètres donné. Au sein d'une même étude, la comparaison entre l'intervention et la condition contrôle était parfois non pertinente. Ückert et Joch (63) comparent trois conditions: durant 20 minutes avant l'épreuve, un groupe a bénéficié d'une méthode de precooling, un groupe s'échauffait et le groupe contrôle n'a suivi aucune préparation particulière. Ces différentes conditions biaisaient les résultats, car il est impossible de vérifier les effets du precooling sur la performance si celui-ci est comparé à un échauffement et à un groupe contrôle. De plus, en réalité, lors de la préparation à une course, les athlètes s'échauffent, ce qui rend les méthodes non réalisables sur le terrain. Dans l'étude de Stevens et al (31), les chercheurs comparent une méthode de precooling, une méthode de percooling et une condition contrôle. Chaque groupe s'est échauffé pendant 10 minutes et il y avait un laps de temps de 20 minutes entre le precooling (immersion dans l'eau) et le début de la course (dont 10 minutes d'échauffement) afin de reproduire au mieux la réalité (le temps de sortir de l'eau, de s'habiller, etc.). Cette étude est plus cohérente que la précédente, car tous les groupes se sont échauffés de la même manière. Cependant, nous relevons qu'il aurait été plus intéressant d'intégrer un 4<sup>e</sup> groupe avec le precooling et le percooling, afin de voir si le mix des méthodes est plus efficace que l'une ou l'autre séparément. Dans une méta-analyse datant de 2015 (66), les chercheurs ont affirmé que selon une étude effectuée sur des cyclistes (67), la combinaison du precooling avec le percooling améliorerait davantage la performance comparée au precooling ou percooling de manière individuelle. Puisqu'il s'agit d'une autre discipline, ces résultats ne sont pas totalement applicables à la course à pied, mais suggère l'hypothèse que la combinaison des deux méthodes de cooling aurait un impact positif sur la performance de course à pied d'endurance.

### **Température corporelle**

Les études sur le precooling ont montré une diminution de la température corporelle avec les interventions durant l'exercice physique. La différence de température est moins significative ou disparaît à la fin des épreuves entre les deux groupes. La diminution de la température est corrélée avec un délai plus long avant l'arrêt de l'exercice (61, 63) ou une diminution de temps pour une distance donnée (F, H, I).

Selon Stevens et al. (68), une augmentation de la température corporelle aurait un effet négatif sur la performance physique. Les méthodes de precooling et percooling ont pour but de faire baisser la température corporelle des athlètes et de permettre un stockage de chaleur plus élevé. Cependant, lors de l'analyse des résultats des articles, nous avons pu constater que ça n'était pas toujours le cas. Tyler CJ et al. Démontre que le groupe CC termine la course avec une température corporelle (rectale) plus élevée que le groupe NC. Cependant, la température cutanée prise au niveau du cou est restée

plus basse avec CC durant toute l'épreuve, malgré une différence moins importante à la fin de la course. Ceci est expliqué par le fait que le cou est proche du centre de régulation de la température. Dans l'étude de Arngrimsson et al., les  $T_{re}$ ,  $T_{es}$ ,  $T_{sk}$  et  $T_c$  étaient plus basse avec V comparé à C en début de course, mais n'étaient plus significativement différentes à la fin. Malgré cela, le groupe V a exécuté une meilleure performance que le groupe C. Cela est peut-être expliqué par le fait que le precooling baisse la température corporelle avant la course et ainsi un meilleur stockage de la chaleur est possible pendant l'épreuve avant que la température n'atteigne un degré critique qui amènerait à la fatigue, soit 40°C (3).

Yeo et al. (64) ont reporté une température gastro-intestinale moins élevée chez ICE comparé à CON en début de course. Cependant, à la fin de l'épreuve, la  $T_{GI}$  était significativement plus élevée avec ICE. ICE a donc permis aux athlètes de supporter une température corporelle plus élevée durant la course. Par contre, dans l'étude de Stevens et al.  $T_{re}$  et la température moyenne du corps sont plus basses après CWI que CON et SPRAY jusqu'à la fin de l'épreuve, tandis que SPRAY n'a pas d'impact sur ces paramètres. Ceci est expliqué par une meilleure thermorégulation et une baisse de l'effort cardiovasculaire grâce à un meilleur retour veineux après CWI (69). La température frontale est également plus basse après CWI comparé CON mais SPRAY a permis de maintenir une température frontale plus basse durant toute l'épreuve. Le SPRAY aurait un effet de cooling sur le cerveau modifiant la circulation sanguine cérébrale, ce qui altérerait la réponse neuro-endocrine et par conséquent, une diminution de la perception de la fatigue (31). Cette hypothèse se base sur un probable feedback afférent (nerf sensitif) des thermorécepteurs donnant un signal d'une température réduite et/ou d'une fatigue centrale atténuée permettant une meilleure activation musculaire, soit une meilleure performance (31). Toutefois, notre travail n'a pas permis d'élucider cette hypothèse.

### ***Fréquence cardiaque***

Les résultats de nos études nous montrent que les méthodes de cooling ont peu ou pas d'effet sur la fréquence cardiaque (HR). Dans l'étude de Arngrimsson et al. (62), la HR est significativement plus élevée au début et pendant la course pour le groupe intervention (port du gilet) comparé au groupe contrôle. L'étude de Tyler et Sunderland (61) nous démontre également une HR plus élevée avec l'intervention, mais à la fin de la course. Toutes les autres études ne montrent aucune différence de HR entre les conditions.

### ***Sensations et perceptions***

La sensation thermique était toujours plus basse après les interventions (precooling) et au début de la course. Cette sensation diminuait durant l'épreuve, mais est restée plus basse jusqu'à la fin pour l'étude avec le port du collier de rafraîchissement. RPE était similaire entre les interventions et le contrôle dans les quatre études ayant analysé ce paramètre. Dans l'étude de Tyler et Sunderland (61), les deux groupes ont obtenu une perception de l'effort (RPE) et une sensation thermale du corps identiques. Le groupe CC a fini la course avec une température rectale et une fréquence cardiaque plus élevée que le groupe NC, à la fin de la course. Par contre, la sensation thermale au niveau du coup était plus basse avec CC et donc l'hypothèse est que rafraîchir la région du cou permettrait aux coureurs de supporter un plus grand niveau de contraintes thermiques et de performer plus longtemps dans un environnement chaud, malgré une température rectale et une HR plus élevée. Cela démontre que l'amélioration de la performance n'est pas entièrement due à la réduction de la température corporelle et que le fait de rafraîchir la région du cou altérerait la perception de l'état actuel du corps

(température corporelle). Rafraîchir la région du cou masque peut-être la réalité de l'état du corps, ce qui retarde l'apparition de la fatigue et la fin volontaire de l'effort.

### ***Méthode de rafraîchissement mixte (mixed-cooling methods)***

Dans le cadre de référence, nous avons expliqué que la méthode de rafraîchissement mixte paraît être la plus efficace actuellement, mais nous n'avions pas d'article utilisant cette intervention. Il nous paraît essentiel d'en discuter afin de proposer des perspectives pour les recherches futures (chapitre 10 : perceptives).

L'étude de Stevens et al. (31) a étudié l'immersion dans l'eau (precooling), la spray facial (percooling) mais pas les deux méthodes ensemble. Selon une méta-analyse de 2015 (66), la combinaison de plusieurs méthodes de rafraîchissement aurait un meilleur impact sur la performance qu'une méthode isolée. Un essai contrôlé randomisé (68) a comparé des méthodes de rafraîchissement mixtes chez des coureurs entraînés sur une distance de 3km dans un environnement chaud. Les chercheurs ont comparé des méthodes de precooling (PER), des méthodes de percooling (MID), un mix des deux de toutes les méthodes (ALL) et une condition contrôle (CON) (pas de méthode). Les résultats montrent une meilleure performance (temps de course plus rapide) avec MID et ALL mais pas avec PRE comparé à CON. Cette étude démontre que dans des conditions chaudes, les athlètes devraient prioriser les méthodes de rafraîchissement durant la course plutôt qu'avant. Cependant, les résultats de nos études justifient les effets des méthodes de precooling. Il serait intéressant d'étudier les effets de plusieurs méthodes (pre- et percooling) sur une course de plus longue distance.

### **Biais et limites :**

Dans tous les articles que nous avons étudiés, l'échantillon était toujours très petit (maximum 20 participants) et donc difficilement généralisables.

De plus, les caractéristiques de la population sont très peu décrites. Tous les participants sont dits "bien entraînés" mais nous ne savons pas précisément quels entraînements ils suivent ou quelles sont leurs performances habituelles. Malgré qu'ils soient tous des athlètes entraînés, ils ne sont tout de même pas comparables aux athlètes d'élite des grandes compétitions. Selon « the contrasting perspective » (5), plus un athlète est entraîné, plus il tolère les effets de la déshydratation par des mécanismes qui ne sont pas encore élucidés. Ainsi, les résultats obtenus dans ce présent travail sont difficilement transposables à ces athlètes. Il est donc important pour un(e) diététicien(ne) qu'il(elle) nuance ses conseils lorsqu'il(elle) consulte un athlète de haut niveau.

Un autre biais de nos études est l'impossibilité de masquer les interventions (d'hydratation ou de cooling) afin de savoir si celles-ci auraient un effet placebo ou non. Cependant excepté pour l'étude de Stevens et al. (31), toutes les études ont opté pour un design de cross-over. Ainsi, tous les athlètes ont expérimenté les différentes conditions dans le but de limiter l'effet placebo.

Une autre limite importante concerne la distance des courses imposée. Nous ignorons comment la déshydratation aurait impacté la performance au-delà de cette distance. Les résultats portant sur l'hydratation du présent travail concernent donc uniquement les courses de 20 km maximum, laissant en suspens la question "est-ce que le corps mettrait en place un mécanisme d'adaptation au cours d'une longue distance ?". Il en va de même pour les études sur le rafraîchissement. Nous ne savons pas si les effets positifs des interventions de precooling ou percooling auraient eu des effets si les épreuves avaient duré plus d'une heure ou plus de 10 km.



En outre, les études E et G demandaient aux participants de courir jusqu'à l'épuisement ou hyperthermie. Cette méthode n'est pas des plus pertinentes pour connaître la performance de temps car elle ne reflète pas la réalité d'une compétition. En effet, lors de cette dernière, les athlètes adaptent leur vitesse selon la distance de la course.

### **Protocole :**

Ce protocole d'hydratation et de rafraîchissement a pour but d'informer les athlètes bien entraînés ainsi que leur coach sur les comportements à adopter lors de compétition de course à pied de < 20km dans un environnement chaud (> 26°C).

Ce protocole est basé sur les résultats du présent travail, les guidelines de l'ACSM 2016 (6) et de Racinais et al (2).

HYDRATATION	RAFRAÎCHISSEMENT
<b>Avant la compétition</b>	
<p>L'athlète a connaissance des risques de la déshydratation et de la surhydratation durant l'exercice sur la santé et la performance.</p> <p>Commencer la compétition avec un état euhydraté :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Boire suffisamment les jours précédents ainsi que le jour J mais sans excès.</li><li>- Adopter une alimentation équilibrée les jours précédents et le jour J, riche en hydrates de carbone (5-7 g/kg/j si 1h d'exercice/j ou 6-10 g/kg/j si 1 à 3h d'exercice/j) et contenant du sodium.</li><li>- Boire 5 à 10 ml/kg de poids corporel dans les 2 à 4h avant l'exercice.</li></ul>	<p>Differentes méthodes de precooling sont envisageables selon les préférences de l'athlète et les possibilités pratiques du terrain.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Immersion du corps entier dans l'eau froide entre 22 et 30°C durant 30 minutes.</li><li>- Immersion d'une partie du corps (jambes en général) pendant 30 minutes à une température entre 10-18°C. (attention, avec cette méthode un temps de réchauffement des muscles avant la compétition doit être programmé).</li><li>- Ingestion de glace pilée : pas de recommandation précise quant aux grammes de glace à ingérée (8g/ kg de poids semble efficace).</li><li>- Port d'un gilet de rafraîchissement : réduction de la température de la peau sans réduire la température musculaire. Le gilet peut être porté pendant l'échauffement.</li></ul>
<b>Pendant la compétition</b>	
<p>Une hydratation ad libitum (selon le désir de l'athlète) permet normalement à l'athlète de s'hydrater à intervalles réguliers et éviter les inconforts digestifs, tout en préservant un état d'hydratation acceptable.</p> <p>Nous recommandons néanmoins de tester cette méthode lors d'un entraînement de 20 km et de calculer la perte de poids (poids pré-run – poids post-run) :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Si perte de poids &lt; 3.1% : opter pour une hydratation ad libitum.</li><li>- Si perte de poids &gt; 3.1% : opter pour un protocole d'hydratation individualisé.</li><li>- Si prise de poids : opter pour un protocole d'hydratation individualisé.</li></ul> <p>Un protocole d'hydratation individualisé se base sur le taux de transpiration de l'athlète dont l'équation est :</p>	<p>Les méthodes doivent être testées au préalable afin de choisir quelle(s) méthode(s) est la plus adaptée :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Application d'un spray facial à intervalles réguliers (aux stands de ravitaillements ou l'athlète peut transporter une bouteille dans une ceinture par exemple).</li><li>- Port d'un collier de rafraîchissement (attention la température ressentie est faussée dû à l'emplacement du collier proche de l'hypothalamus).</li><li>- Port d'un gilet de rafraîchissement : réduction de la température de la peau et de la fatigue cardiovasculaire.</li></ul>

$$\frac{\text{Poids prérun} - \text{poids postrun} + \text{fluides consommés} - \text{urine}}{\text{temps}}$$

(poids en kg, fluides et urine en L, temps en heures)

Un protocole d'hydratation tient également compte de la tolérance digestive de l'athlète et des stands de ravitaillement. Il ne permet pas automatiquement de pallier à 100% des pertes hydriques, mais de limiter celles-ci et de donner des repères à l'athlète. Il est recommandé de tester le protocole avant la compétition pour que l'athlète s'y habitue. Si l'athlète ne tolère que des petites quantités de fluide, il est possible d'entraîner l'intestin à recevoir de plus grandes quantités de fluide en augmentant petit à petit les quantités au fil des entraînements et de commencer l'exercice en ayant déjà une petite quantité d'eau dans l'estomac.

Si la course dure < 1h, seule l'eau est suffisante.  
Si la course dure > 1h, la boisson devrait être composée d'eau, d'HC (30 à 60 g/h, glucose-fructose) et de sodium (0.5 – 0.7 g/L), soit 1.25 à 1.75 g de sel (NaCl).  
Si la course dure > 2h30, la quantité d'HC doit être ajustée à 90 g/h.  
Nous recommandons également de consommer des boissons à une température froide (< 22°C) et aromatisées selon les préférences de l'athlète.

### Après la compétition

La réhydratation post-exercice comprend le remplacement de 100-150% des pertes hydriques pendant l'exercice durant l'heure qui suit. La boisson contient de l'eau, des HC et de sel. Il est également possible d'apporter les sources d'HC et de sel sous forme solide.

Nous n'avons pas étudié le post-cooling dans notre étude.

## 10 Perspectives

Ce travail nous a permis de comparer les différents protocoles et recommandations sur l'hydratation lors d'un effort d'endurance et de comprendre quelles conditions assurent un état d'hydratation optimal. Au travers des articles sélectionnés et de lectures parallèles, nous avons également comparé plusieurs méthodes de cooling et leur potentielle efficacité. De nombreuses recherches sur les méthodes de pre- et percooling ont été faites pour d'autres sports, tels que le cyclisme, mais très peu pour la course à pied d'endurance chez les sportifs entraînés et/ou les athlètes d'élite. La création d'un protocole unissant l'hydratation et le rafraîchissement a permis de rassembler les connaissances accumulées durant la rédaction de notre travail. Cependant, la littérature sur laquelle il se base est limitée et mériterait de nouvelles études pour affiner les résultats. Nous proposons donc les perspectives suivantes :

- Mener des essais cliniques randomisés sur les interventions d'hydratation et les méthodes de rafraîchissement sur des courses de plus longue distance (>20km).
- Etudier les effets de plusieurs protocoles d'hydratation (ad libitum, individualisé, selon la soif et sans apports) avec un état euhydraté en début de course.
- Etudier les effets des méthodes de cooling mixte (pre- et percooling ensemble) comparé au precooling (seul), au percooling (seul) et une condition contrôle (sans intervention) chez les athlètes de course à pied d'endurance.
- Approfondir les recherches sur les différents moyens de percooling et leurs effets.
- Lier les méthodes de rafraîchissement efficaces (méthode mixte) avec un état d'hydratation optimal/ sous-optimal afin d'étudier les deux phénomènes ensemble.
- Décrire davantage la population lors des études, principalement au niveau de leur niveau d'entraînement hebdomadaire et leurs performances habituelles lors des compétitions.

## 11 Conclusion

L'objectif premier de notre travail était de savoir quel est l'impact de l'hydratation et du rafraîchissement sur la performance d'endurance. Pour répondre à la question, l'étude a été divisée en deux questions de recherche :

- Quel est l'impact de l'hydratation avant et/ou pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite ?
- Quel est l'impact du rafraîchissement avant et/ou pendant l'effort sur la performance physique d'endurance chez les coureurs d'élite ?

Les données de ce présent travail permettent d'affirmer que commencer l'exercice avec un état de déshydratation impacte négativement la performance. Cependant, l'impact de la déshydratation induite par l'exercice chez des athlètes euhydratés en début de course reste flou. Aucune différence significative n'existe entre un protocole d'hydratation individualisé selon le taux de transpiration de l'athlète et boire ad libitum lors d'une course de 20 km. La restriction hydrique pendant l'exercice en partant d'un état euhydraté en début de course n'a pas été étudiée. Par conséquent, le manque de données ne permet pas de tirer une conclusion claire sur l'impact de la déshydratation induit par l'exercice sur la performance. Néanmoins, l'analyse des effets de la déshydratation sur la température corporelle, la fréquence cardiaque et les ressentis de l'athlète soutient l'hypothèse que plus la déshydratation est importante chez les athlètes bien entraînés, plus la performance est diminuée. En outre, les résultats émettent l'hypothèse que la déshydratation induite par l'exercice impacte le temps de course pour les épreuves de longue distance supérieures à 20 km.

Selon les résultats des études analysées, le rafraîchissement a un impact sur la performance lors de grande chaleur. La température corporelle (rectale) à la fin de la course est, en général, plus élevée avec l'intervention precooling que le groupe contrôle (sans precooling). Le precooling baisse la température corporelle avant la course, ce qui permet un meilleur stockage de la chaleur et les athlètes tolèrent une plus grande contrainte thermique. De ce fait, à la fin de la course la température corporelle est plus élevée. Le percooling a moins été étudié jusqu'à présent, mais les chercheurs y portent de plus en plus d'intérêt. En effet, le precooling a un impact au début de la course mais les effets s'estompent rapidement. C'est pourquoi il est intéressant d'investiguer le percooling qui pourrait prendre « le relais » du precooling. Les études démontrent que le meilleur moyen de rafraîchissement est les méthodes liant precooling et percooling, mais ne concernent pas les coureurs d'élite d'endurance.

Il serait donc nécessaire de reproduire le même genre d'étude sur une plus grande distance (>20km) pour confirmer ou non les bénéfices du rafraîchissement avant et pendant l'effort.

En conclusion, même si la littérature et les études proposent des recommandations concernant l'hydratation et démontrent des résultats positifs quant au rafraîchissement, il est primordial d'individualiser les méthodes utilisées. Chaque athlète devrait adapter son hydratation et les moyens de rafraîchissement qui lui conviennent en les expérimentant préalablement, durant un entraînement par exemple.

## 12 Remerciements

Nous tenons à remercier les différentes personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous remercions vivement Raphaël Reinert pour son suivi régulier, ses remarques légitimes et ses encouragements.

Un grand merci également à Maaike Kruseman et Isabelle Carrard pour leurs conseils avisés. Nous sommes finalement reconnaissants envers Léonie Mantegani et Erry Amadio pour leur travail de relecture et leur soutien.

### 13 Liste de références bibliographiques

1. Bongers CCWG, Hopman MTE, Eijsvogels TMH. Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temp Multidiscip Biomed J.* 2017;4(1):60–78.
2. Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, et al. Consensus recommendations on training and competing in the heat: Training and competing in the heat. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 2015;25:6–19.
3. Hyperthermie maligne d'effort ou coup de chaleur [En ligne]. IRBMS. 2017 [mise à jour le 14.06.2017 ; consulté le 19 juin 2017]. Disponible: <https://www.irbms.com/hyperthermie/>
4. Salathé C, Pellaton C, Vallotton L, Coronado M, Liaudet L. Le coup de chaleur d'exercice. *Rev Med* [En ligne]. 2012 [consulté le 19 juin 2017]. Disponible: <https://www.revmed.ch/contentrevmed/download/113521/1117364>
5. Mettler S, Mannhart C. Hydration, drinking and exercise performance. *SSMS* [En ligne]. 2017 [consulté le 25 juillet 2017]; 65 (1): 16–21. Disponible: [https://www.sgsm.ch/fileadmin/user\\_upload/Zeitschrift/65-2017-1/1-2017\\_3\\_Mettler.pdf](https://www.sgsm.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/65-2017-1/1-2017_3_Mettler.pdf)
6. American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):709–31.
7. Fudge BW, Easton C, Kingsmore D, Kiplamai FK, Onywera VO, Westerterp KR, et al. Elite Kenyan endurance runners are hydrated day-to-day with ad libitum fluid intake. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(6):1171–9.
8. American College of Sports Medicine, Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(3):556–72.
9. Burke L, Deakin V. Clinical Sports Nutrition, 4th Edition. North Ryde, NSW: McGraw-Hill Medical; 2010.
10. EFSA. Rapport annuel 2010 [En ligne]. 2011 [consulté le 24 avril 2017]. Disponible: [http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate\\_publications/files/ar10fr%2C0.pdf](http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/ar10fr%2C0.pdf)
11. H4H. Eau et hydratation : Bases physiologiques chez l'Adulte [En ligne]. S.D. [consulté le 24 avril 2017]. Disponible: <http://www.h4hinitiative.com/fr/book/print/805>
12. Meyer F, Szygula Z, Wilk B. Fluid Balance, Hydration, and Athletic Performance. Boca Raton: CRC Press; 2015.
13. Godin-Ribuot D. Les compartiments liquidiens de l'organisme [En ligne]. 2012. [consulté le 24 avril 2017]. Disponible: [http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble\\_1112/godin\\_ribuot\\_diane/godin\\_ribuot\\_diane\\_p02/godin\\_ribuot\\_diane\\_p02.pdf](http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/godin_ribuot_diane/godin_ribuot_diane_p02/godin_ribuot_diane_p02.pdf)
14. Faure E. Eau et santé [En ligne]. S.d.[consulté le 24 avril 2017]. Disponible: <http://www.caducee.net/Fiches-techniques/eau.asp>
15. Médecin Santé Société. Équilibre hydrique dans l'organisme [En ligne]. 2012 [consulté le 24

- avril 2017]. Disponible: <http://medvarie.net/page/equilibre-hydrique-dans-lorganisme/>
16. Benelam B, Wyness L. Hydration and health: a review. *Nutr Bull.* 1. 2010;35(1):3–25.
  17. Décombaz J. La soif. SGSM [En ligne] 2004 [consulté le 30 avril 2017]; 52 (4): 166–169.j  
Disponible: [https://www.ssms.ch/fileadmin/user\\_upload/Zeitschrift/52-2004-4/7-2004-4.pdf](https://www.ssms.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/52-2004-4/7-2004-4.pdf)
  18. Feraille E. Physiologie rénale. S.d.[consulté le 26 avril 2017].
  19. CHUV. Hormones et composants du système rénine-angiotensine-aldostérone (RAAS) [En ligne]. Lausanne [mise à jour 2015; consulté le 30 avril 2017]. Disponible: [http://www.chuv.ch/nephrologie/nep\\_home/nep-professionnels-sante/nep-laboratoire/nep-hormones\\_et\\_composant\\_du\\_systeme\\_renine-angiotensine-aldosterone\\_raas\\_.htm](http://www.chuv.ch/nephrologie/nep_home/nep-professionnels-sante/nep-laboratoire/nep-hormones_et_composant_du_systeme_renine-angiotensine-aldosterone_raas_.htm)
  20. CHUV. Le système renine-angiotensine-aldosterone [En ligne]. Lausanne. S.d. [consulté le 30 avril 2017]. Disponible: <http://www.chuv.ch/nephrologie/nep-systeme-renine-angiotensine-aldosterone.pdf>
  21. Perry S. The Neural Regulation of Thirst [En ligne]. 2008 [mise à jour 2008; consulté le 30 avril 2017]. Disponible: <http://www.brainfacts.org/brain-basics/neural-network-function/articles/2008/the-neural-regulation-of-thirst/>
  22. European Hydration Institute. Effects of climate and environment on water needs [En ligne]. S.d. [consulté le 5 mai 2017]. Plus disponible.
  23. Biologie de la peau. La thermorégulation [En ligne]. 2013 [consulté le 15 avril 2017].  
Disponible: <https://biologiedelapeau.fr/spip.php?article75>
  24. Chen T-I, Tsai P-H, Lin J-H, Lee N-Y, Liang MT. Effect of short-term heat acclimation on endurance time and skin blood flow in trained athletes. *Open Access J Sports Med.* 2013;4:161–70.
  25. Nutrition and Athletic Performance: *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(3):543–68.
  26. Lycée Emily Brontë. Définition de l'humidité [En ligne]. S.d.[consulté le 7 mai 2017]. Disponible: <http://tpe-vigilanceethumidite.e-monsite.com/pages/content/i-l-humidite/a-definition-de-l-humidite.html>
  27. ClimaMaison. Humidité : définition [En ligne]. S.d.[consulté le 7 mai 2017]. Disponible: <http://www.climamaison.com/lexique/humidite.htm>
  28. OMS. Activité physique [En ligne]. 2017 [consulté le 8 mai 2017]. Disponible: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/fr/>
  29. Hecketsweiler B, Hecketsweiler P. Voyage en biochimie: circuits en biochimie humaine, nutritionnelle et métabolique. Paris: Elsevier; 2009.
  30. Courbebaisse M. L'eau, un nutriment essentiel. *Cah Nutr Diététique.* 2015;50:S5–12.
  31. Stevens CJ, Kittel A, Sculley DV, Callister R, Taylor L, Dascombe BJ. Running performance in the heat is improved by similar magnitude with pre-exercise cold-water immersion and mid-exercise facial water spray. *J Sports Sci.* 2017;35(8):798–805.
  32. INSPQ. Vagues de chaleur [En ligne]. 2010 [consulté le 8 mai 2017]. Disponible: <http://www.monclimatmasante.qc.ca/vagues-de-chaleur.aspx>

33. Nutrition and Athletic Performance: Medicine & Science in Sports & Exercise. 2016;48(3):543–68.
34. Sawka MN, Cheuvront SN, Kenefick RW. Hypohydration and Human Performance: Impact of Environment and Physiological Mechanisms. *Sports Med Auckl Nz*. 2015;45(Suppl 1):51–60.
35. Goulet EDB. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2011;45(14):1149–56.
36. Zatopek. Comment boire suffisamment : comment ne pas boire trop!. 2016; 15.
37. Zouhal H, Groussard C, Minter G, Vincent S, Cretual A, Gratas-Delamarche A, et al. Inverse relationship between percentage body weight change and finishing time in 643 forty-two-kilometre marathon runners. *Br J Sports Med*. 2010;bjspor74641.
38. Cohen D. The truth about sports drinks. *BMJ*. 2012;345:e4737.
39. Gary Jenks null. Prevention of heat injuries during distance running. A position statement from the American College of Sports Medicine. *J Sports Med*. 1975;3(4):194–6.
40. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(1):i–vii.
41. Noakes T, IMMAD. Fluid replacement during marathon running. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. 2003;13(5):309–18.
42. Noakes TD. Drinking guidelines for exercise: what evidence is there that athletes should drink « as much as tolerable », « to replace the weight lost during exercise » or « ad libitum »? *J Sports Sci*. 2007;25(7):781–96.
43. Almond CS, Shin AY, Fortescue EB, Mannix RC, Wypij D, Binstadt BA, et al. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *New England Journal of Medicine*. 2005;352(15):1550–1556.
44. Vuagniaux A, Vollenweider P. Approche diagnostique de l'hyponatrémie. *Revue médicale suisse*. 2010;(269):2074.
45. Athle. Manuel d'organisation des courses hors stade 2013-2014 [En ligne]. 2014 [consulté le 14 juin 2017]. Disponible: [http://www.athle.fr/Reglement/manuel\\_organisation\\_hs2014.pdf](http://www.athle.fr/Reglement/manuel_organisation_hs2014.pdf)
46. IAAF. Les Règles des compétitions 2016-2017 [En ligne]. 2017 [consulté le 14 juin 2017]. Disponible: <https://www.iaaf.org/search/?q=règles+des+compétitions+2016-2017>
47. Tan PMS, Lee JKW. The role of fluid temperature and form on endurance performance in the heat: Fluid temperature and form on endurance. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25:39–51.
48. Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate » [En ligne]. Washington : National Academies Press; 2005 [consulté le 18 mai 2017]. Disponible: <https://www.nap.edu/read/10925/chapter/1>
49. Siegel R, Maté J, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *J Sports Sci*. 2012;30(2):155–65.

50. Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L. Precooling methods and their effects on athletic performance : a systematic review and practical applications. *Sports Med Auckl NZ*. 2013;43(3):207-25.
51. Castle PC, Macdonald AL, Philp A, Webborn A, Watt PW, Maxwell NS. Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985*. 2006;100(4):1377-84.
52. Morrison SA, Cheung S, Cotter JD. Importance of Airflow for Physiologic and Ergogenic Effects of Precooling. *J Athl Train*. 2014;49(5):632-9.
53. Jones PR, Barton C, Morrissey D, Maffulli N, Hemmings S. Pre-cooling for endurance exercise performance in the heat: a systematic review. *BMC Med*. 2012;10:166.
54. Tyler CJ, Sunderland C. Neck cooling and running performance in the heat: single versus repeated application. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(12):2388-95.
55. Duffield R, Green R, Castle P, Maxwell N. Precooling can prevent the reduction of self-paced exercise intensity in the heat. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(3):577-84.
56. Ross MLR, Garvican LA, Jeacocke NA, Laursen PB, Abbiss CR, Martin DT, et al. Novel precooling strategy enhances time trial cycling in the heat. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(1):123-33.
57. Lopez RM, Casa DJ, Jensen KA, DeMartini JK, Pagnotta KD, Ruiz RC, et al. Examining the Influence of Hydration Status on Physiological Responses and Running Speed During Trail Running in the Heat With Controlled Exercise Intensity: J Strength Cond Res. 2011;25(11):2944-54.
58. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS, McDermott BP, Walker Yeargin S, et al. Influence of Hydration on Physiological Function and Performance During Trail Running in the Heat. *J Athl Train*. 2010;45(2):147-56.
59. Lopez RM, Casa DJ, Jensen KA, Stearns RL, DeMartini JK, Pagnotta KD, et al. Comparison of Two Fluid Replacement Protocols During a 20-km Trail Running Race in the Heat. *J Strength Cond Res*. 2016;30(9):2609-16.
60. Stearns RL, Casa DJ, Lopez RM, McDermott BP, Ganio MS, Decher NR, et al. Influence of hydration status on pacing during trail running in the heat. *J Strength Cond Res*. 2009;23(9):2533-41.
61. Tyler CJ, Sunderland C. Cooling the neck region during exercise in the heat. *J Athl Train*. 2011;46(1):61-8.
62. Arngrímsson SA, Petitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, Cureton KJ. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985*. 2004;96(5):1867-74.
63. Uckert S, Joch W. Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *Br J Sports Med*. 2007;41(6):380-4.
64. Yeo ZW, Fan PWP, Nio AQX, Byrne C, Lee JKW. Ice slurry on outdoor running performance in heat. *Int J Sports Med*. 2012;33(11):859-66.

65. Murray R. Training the gut for competition. *Curr Sports Med Rep.* 2006;5(3):161–4.
66. Bongers CCWG, Thijssen DHJ, Veltmeijer MTW, Hopman MTE, Eijsvogels TMH. Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 2015;49(6):377–84.
67. Hasegawa H, Takatori T, Komura T, Yamasaki M. Combined effects of pre-cooling and water ingestion on thermoregulation and physical capacity during exercise in a hot environment. *J Sports Sci.* 2006;24(1):3–9.
68. Stevens CJ, Bennett KJM, Sculley DV, Callister R, Taylor L, Dascombe BJ. A Comparison of Mixed-Method Cooling Interventions on Preloaded Running Performance in the Heat. *J Strength Cond Res.* 2017;31(3):620–9.
69. Lee DT, Haymes EM. Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* 1995;79(6):1971–6.

## 14 Annexes

- Annexe I** Grille d'analyse qualité de l'Academy of Nutrition et Diététique (AND)
- Annexe II** Tableau de synthèse des caractéristiques des études sur l'hydratation
- Annexe III** Tableau de synthèse des caractéristiques des études sur le rafraîchissement
- Annexe IV** Grille de lecture descriptive de la Haute Ecole de Santé de Genève, filière Nutrition et Diététique
- Annexe V** Tableau de synthèse des résultats pour l'hydratation
- Annexe VI** Tableau de synthèse des résultats pour le rafraîchissement

**Annexe I : Grille d'analyse qualité de l'Academy of Nutrition et Diététique (AND)**

**Analyse qualité d'articles de RECHERCHE<sup>1</sup>**

**Résumé descriptif**

Référence	
Devis d'étude	
Niveau de qualité	<input type="checkbox"/> + (Positif) <input type="checkbox"/> - (Négatif) <input type="checkbox"/> ⓧ (Neutre)
But de la recherche	
Critères d'inclusion	
Critères d'exclusion	
Description du protocole de l'étude	Recrutement : Design : Aveuglement (si applicable) : Intervention (si applicable) : Analyses statistiques :
Recueil de données	Moments de mesure : Variables dépendantes : Variables indépendantes : Autres variables en lien :
Description de l'échantillon étudié	N initial sujets: ..... (..... Hommes ; ..... Femmes) N final analysé : ..... (Taux de retrait : ..... ) Age (moyenne ; groupes ; etc.): Origine : Autres caractéristiques démographiques : Données anthropométriques : Lieu de recrutement :

<sup>1</sup> Traduction libre de Worksheet template and Quality criteria checklist : Primary Research.

Academy of Nutrition and Dietetics, Evidence Analysis Library®. <http://www.andel.org/evidence-analysis-manual> (accédé le 18 janvier 2017)

Résumé des résultats	Constatations principales :  Constatations secondaires :
Conclusion des auteurs	
Commentaires	
Source de financement	

### Analyse qualité

Symboles	Légende
+	Positif : Indique que l'article a abordé clairement les critères d'inclusion et d'exclusion, les biais, la généralisabilité, le recueil et l'analyse des données.
-	Négatif : Indique que les éléments ci-dessus n'ont pas été abordés de manière suffisante.
⊗	Neutre : Indique que l'article n'est ni particulièrement robuste ni particulièrement faible.

### Checklist

Questions de pertinence	
1. En cas de résultat positif de l'intervention étudiée, est-ce que sa mise en application résulterait en une amélioration pour le groupe cible ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O N PP NA
2. Est-ce que l'outcome ou le thème étudié (variable dépendante) est important du point de vue du groupe cible ?	O N PP NA
3. Est-ce que l'intervention ou la procédure (variable indépendante) ou le thème de l'étude est une préoccupation fréquente en pratique diététique ?	O N PP NA
4. Est-ce que l'intervention ou la procédure est réalisable/faisable ? (Non applicable pour certaines études épidémiologiques).	O N PP NA

Oui=O ; Non=N ; Peu de précisions=PP ; Ne s'applique pas=NA

Questions de validité	
<b>1. Est-ce que la question de recherche a été clairement posée ?</b>	O-N-PP-NA
1.1 Est-ce que l'intervention ou la procédure (variable indépendante) a été identifiée ?	O-N-PP-NA
1.2 Est-ce que les variables de résultat (outcome, variables dépendantes) ont été clairement indiquées ?	O-N-PP-NA
1.3 Est-ce que la population cible et le cadre de l'étude ont été spécifiés ?	O-N-PP-NA
<b>2. Est-ce que la sélection des sujets de l'étude était exempte de biais ?</b>	O-N-PP-NA
2.1 Est-ce que les critères d'inclusion et d'exclusion étaient spécifiés (facteurs de risque, stade de la maladie, critères de diagnostic, comorbidités, etc.) et avec suffisamment de détails, sans omettre ceux essentiels pour l'étude ?	O-N-PP-NA
2.2 Est-ce que les critères ont été appliqués de manière identique dans tous les groupes étudiés ?	O-N-PP-NA
2.3 Est-ce que les caractéristiques de santé, les caractéristiques sociodémographiques et les autres caractéristiques des sujets sont décrites?	O-N-PP-NA
2.4 Est-ce que les sujets peuvent être considérés comme un échantillon représentatif de la population cible?	O-N-PP-NA
<b>3. Est-ce que les groupes étudiés étaient comparables?</b>	O-N-PP-NA
3.1 Est-ce que la méthode de répartition des sujets dans les groupes était décrite et non biaisée ? En cas d'essai contrôlé randomisé, est-ce que la méthode de randomisation était explicitée ?	O-N-PP-NA
3.2 Est-ce qu'au début de l'étude la distribution des caractéristiques (stade de la maladie, facteurs pronostiques ou sociodémographiques) était similaire dans les groupes de l'étude ?	O-N-PP-NA
3.3 Est-ce que les sujets du groupe contrôle étaient inclus en même temps que les autres sujet d'étude ? (Suivi en parallèle préféré au suivi rétrospectif)	O-N-PP-NA
3.4 S'il s'agit d'une étude de cohorte ou transversale, est-ce que les groupes étaient comparables en termes de facteurs de confusion et est-ce que les différences préexistantes étaient prises en compte lors des analyses statistiques ? (ajustement, p.ex.).	O-N-PP-NA
3.5 S'il s'agit d'une étude cas-témoin, est-ce que les facteurs de confusion potentiels étaient similaires chez les cas et les témoins? (s'il s'agit d'une étude de cas ou si les sujets étaient leur propre contrôle [cross-over] ce critère n'est pas applicable ; idem dans certaines études transversales).	O-N-PP-NA
3.6 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce qu'il y avait une comparaison indépendante faite en aveugle avec un <i>Gold standard</i> ?	O-N-PP-NA

<p><b>4. Est-ce que la gestion des <u>retraits</u> (sujets ayant arrêté l'étude volontairement ou non) a été décrite ?</b></p> <p>4.1 Est-ce que les méthodes de suivi des sujets ont été décrites et étaient-elles identiques pour tous les groupes ?</p> <p>4.2 Est-ce que le nombre de retraits et les motifs (abandons, perdus de vue, etc.) ou le taux de réponse (études transversales) étaient décrits pour chaque groupe ? (Le taux de suivi pour une étude robuste est de 80%).</p> <p>4.3 Est-ce que tous les sujets inclus dans l'échantillon de départ ont été pris en compte dans l'analyse?</p> <p>4.4 Est-ce que les raisons de retrait étaient similaires dans tous les groupes ?</p> <p>4.5 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique: est-ce que la décision d'effectuer le test de référence (gold standard) n'était pas influencée par les résultats du test étudié (nouveau test) ?</p>	O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA
<p><b>5. Est-ce que des <u>méthodes en aveugle</u> ont-été utilisées pour empêcher les biais ?</b></p> <p>5.1 S'il s'agit d'une étude d'intervention, est-ce que les cliniciens et les investigateurs étaient aveugles concernant l'attribution des groupes ?</p> <p>5.2 Est-ce que les personnes chargées de recueillir les données étaient aveugles concernant l'évaluation des résultats? (<i>Si le résultat était évalué par un test objectif, p.ex. une valeur biologique, ce critère est d'emblée acquis.</i>)</p> <p>5.3 S'il s'agit d'une étude de cohorte ou d'une étude transversale, est-ce que les mesures de résultat et de facteurs de risque des sujets ont été effectuées à l'aveugle ?</p> <p>5.4 S'il s'agit d'une étude cas-témoins, est-ce que la définition d'un cas était explicite et son attribution au groupe « cas » non-influencée par le fait qu'il ait été exposé ou non au facteur étudié ?</p> <p>5.5 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce que les résultats du test étaient traités en aveugle, relativement à l'histoire du patient et aux résultats d'autres tests ?</p>	O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA
<p><b>6. Est-ce que <u>l'intervention</u>, les plans de traitement, les facteurs d'exposition ou la procédure, ainsi que les comparaisons ont été décrites en détail?</b></p> <p>6.1 S'il s'agit d'un essai randomisé contrôlé ou d'une autre étude d'intervention, est-ce que les protocoles étaient décrits pour chacun des plans de traitement étudiés ?</p> <p>6.2 S'il s'agit d'une étude d'observation, est-ce que les interventions, le cadre de l'étude et les professionnels impliqués étaient décrits?</p> <p>6.3 Est-ce que l'intensité et la durée de l'intervention ou du facteur d'exposition étaient suffisantes pour produire un effet significatif?</p> <p>6.4 Est-ce que l'ampleur de l'exposition et, le cas échéant, la compliance du sujet, était mesurée?</p>	O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA O-N-PP-NA

6.5 Est-ce que les co-interventions (traitements auxiliaires, autres thérapies, etc.) étaient décrites?	O-N-PP-NA
6.6 Est-ce que les traitements supplémentaires ou non planifiés étaient décrits?	O-N-PP-NA
6.7 Est-ce que les données relatives aux questions, 6.4, 6.5, et 6.6 étaient évaluées de la même manière pour tous les groupes ?	O-N-PP-NA
6.8 S'il s'agit d'une étude visant à évaluer un test diagnostique, est-ce que la manière d'effectuer les tests et leur reproduction étaient suffisamment décrites ?	O-N-PP-NA
<b>7. Est-ce que les <u>variables de résultat</u> étaient clairement définies et les <u>mesures valides et fiables</u>?</b>	O-N-PP-NA
7.1 Est-ce que les critères de résultats (endpoints) primaires et secondaires étaient décrits et pertinents pour répondre à la question ?	O-N-PP-NA
7.2 Est-ce que les mesures nutritionnelles étaient appropriées pour étudier la question et les résultats d'intérêt ?	O-N-PP-NA
7.3 Est-ce que la période de suivi était suffisamment longue pour que les résultats puissent se produire ?	O-N-PP-NA
7.4 Est-ce que les observations et les mesures étaient basées sur des instruments, tests ou procédures de recueil de données standardisés, valides et fiables?	O-N-PP-NA
7.5 Est-ce que la mesure de l'effet était d'un niveau de précision approprié ?	O-N-PP-NA
7.6 Est-ce que d'autres facteurs pouvant influencer les résultats étaient pris en compte?	O-N-PP-NA
7.7 Est-ce que les mesures étaient conduites de façon systématique dans chacun des groupes?	O-N-PP-NA
<b>8. Est-ce que les <u>analyses statistiques</u> étaient appropriées pour le design d'étude et pour le type de variables de résultat?</b>	O-N-PP-NA
8.1 Est-ce que les analyses statistiques étaient suffisamment décrites et les résultats rapportés de manière adéquate ?	O-N-PP-NA
8.2 Est-ce que les tests statistiques utilisés étaient corrects et est-ce que les hypothèses des tests étaient respectées ?	O-N-PP-NA
8.3 Est-ce que les résultats statistiques étaient rapportés avec les niveaux de signification ou les intervalles de confiance ?	O-N-PP-NA
8.4 Est-ce que l'analyse des résultats était effectuée pour l'ensemble des sujets en «intention de traiter» ? ( <i>le cas échéant, y avait-il une analyse des résultats pour les personnes les plus exposées ou une analyse dose-effet</i> ) ?	O-N-PP-NA
8.5 Est-ce que des ajustements pour les facteurs de confusion potentiels étaient faits de manière adéquate ? (analyses multivariées p.ex.)	O-N-PP-NA
8.6 Est-ce que la signification clinique ainsi que la signification statistique étaient mentionnées ?	O-N-PP-NA
	O-N-PP-NA

8.7 Si les résultats étaient négatifs, est-ce qu'un calcul de puissance permettait d'identifier une éventuelle erreur de type II ?	
<b>9. Est-ce que <u>les conclusions étaient étayées par les résultats et tenaient compte des biais et des limites</u> ?</b>	O-N-PP-NA
9.1 Est-ce qu'il y a une discussion des résultats ?	O-N-PP-NA
9.2 Est-ce que les biais et les limites de l'étude sont identifiés et discutés ?	O-N-PP-NA
<b>10. Est-ce qu'un biais dû au financement ou au sponsoring de l'étude est peu probable ?</b>	O-N-PP-NA
10.1 Est-ce que les sources de financement et les affiliations des investigateurs sont mentionnées ?	O-N-PP-NA
10.2 Est-ce qu'il n'y avait pas de conflit d'intérêt apparent ?	O-N-PP-NA

### Cotation

#### POSITIF (+)

*Si la majorité des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Oui », y compris les critères 2, 3, 6 et 7 ainsi qu'au moins une réponse « Oui » à une autre question, l'article devrait être désigné par le symbole plus (+).*

#### NEGATIF (-)

*Si la plupart ( $\geq 6/10$ ) des réponses aux questions de validité ci-dessus sont « Non », l'article devrait être désigné par le symbole moins (-).*

#### NEUTRE (⊖)

*Si les réponses aux questions de validité 2, 3, 6 et 7 n'indiquent pas que l'étude est particulièrement robuste, l'article devrait être désigné par le symbole neutre (⊖).*

**Annexe II : Tableau de synthèse des caractéristiques des études sur l'hydratation**

Etude		Population : caractéristiques avant l'intervention			Intervention		
Date Auteurs	Design	N H/F	Age moyen (ans)	Description	Description intervention	Description contrôle	Wash-out
2011 Lopez et al. (57)	RCT	Total : 14 ♂ : 7 ♀ : 7	30 ± 10	Coureurs entraînés et expérimentés, en bonne santé, qui ont couru au moins 30 min/j 4x/sem à une intensité modérée durant les 3 derniers mois.	<u>Groupe DHY :</u> Déshydraté au début de course. Restriction hydrique (liquide et solides riches en eau) 22h avant la course et pendant la course.	<u>Groupe HY :</u> Euhydraté au début de la course. Puis à 4 km et 8 km ingestion de 400 ml d'eau.	1 session de familiarisation de 2 semaines avant les 2 épreuves. 2 laps de 4km dont le parcours était dans un parc local constitué de graviers, branches et racines d'arbres. 1 session de 60 min de course ou 90 min de jogging et marche le jour avant les 2 épreuves.
2010 Casa et al. (58)	RCT	Total : 18 Race trial : 17 ♂ : 9 ♀ : 8  Submaximal trial : 17 ♂ : 10 ♀ : 7	27 ± 7	Coureurs entraînés et expérimentés, en bonne santé, qui ont couru au moins 30 min/j 4x/sem à une intensité modérée durant les 3 derniers mois.	<u>Groupe DYR :</u> Déshydraté au début de la course. Restriction hydrique (liquide et solides riches en eau) 22h avant la course et pendant la course. Intensité maximale.  <u>Groupe DYS :</u> Déshydraté au début de la course. Restriction hydrique (liquide et solides riches en eau) 22h avant la course et pendant la course. Intensité submaximale et contrôlée.	<u>Groupe HYR :</u> Euhydraté au début de la course. Puis à 4 km et 8km ingestion de 400 ml d'eau. Intensité d'une course.  <u>Groupe HYS :</u> Euhydraté au début de la course. Puis à 4 km et 8 km ingestion de 400 ml d'eau. Intensité submaximale et contrôlée.	2 sessions de courses de familiarisation, 2 à 4 semaines avant l'intervention. 1 session = 4 km de course constitué de 75% d'un trail, 25% de chemin difficile. Le parcours avait beaucoup de collines et 1 montée raide. Les coureurs ont couru pour 1 lap de 4 km avec une intensité maximale pour pouvoir répartir les coureurs en groupes de 4 (et 1 de 5) selon leur performance pour l'intervention.
2016 Lopez et al. (59)	RCT	Total : 13 ♂ : 8 ♀ : 5	39 ± 14	Coureurs entraînés et expérimentés, en bonne santé, qui ont couru au moins 30 min/j 4x/sem à une intensité modérée durant les 3 derniers mois.	<u>Groupe IR :</u> Euhydraté en début de course. Consommation d'eau durant la course selon le taux de transpiration individuel à chaque 2 km.	<u>Groupe AL (groupe d'intervention aussi) :</u> Euhydraté en début de course. 9 points de ravitaillement (chaque 2km) avec des bouteilles d'eau assignées. Consommation d'eau comme ils le désirent.	2 sessions de familiarisation durant les 2 sem avant la 1 <sup>ère</sup> course. Session 1 : 2x 4km avec un moniteur à rythme cardiaque. Session 2 : 4km d'échauffement puis 4km à intensité max. Estimation du taux de transpiration individuelle et formation de groupes en regroupant les athlètes de même niveau. 30 jours entre les 2 épreuves.
2009 Stearns et al. (60)	RCT	Total : 17 ♂ : 9 ♀ : 8	27 ± 7 ♂ : 28 ± 9 ♀ : 26.8 ± 4	Coureurs entraînés en bonne santé, qui ont couru au moins 30 min/j 4x/sem à une intensité modérée durant les 3 derniers mois. 3 ans d'expérience de course au min.	<u>Groupe DYR :</u> Déshydraté au début de la course. Restriction hydrique (liquide et solides riches en eau) 22h avant la course et pendant la course.	<u>Groupe HYR :</u> Euhydraté en début de course. Puis, à 4 km et 8 km ingestion de 400 ml d'eau.	2 sessions de 4 km de familiarisation du parcours entre 2 à 4 sem avant la 1 <sup>ère</sup> épreuve. Répartition des sujets en 3 groupes de 4 et 1 de 5 selon leur temps de course pour les épreuves.  1 session de 60 min de course ou 90 min de jogging et marche le jour avant les 2 épreuves.

**Annexe III : Tableau de synthèse des caractéristiques des études sur le rafraîchissement**

Etude		Population : caractéristiques avant l'intervention			Intervention		
Date Auteurs	Design	N ♂ et ♀	Age moyen (ans)	Description	Description intervention	Description contrôle	Wash-out
2011 Tyler et Sunderland (61)	RCT	Total : 8 ♂ : 8 ♀ : 0	26 ± 2	Entraînés à l'exercice d'endurance, non acclimatés. Recrutés volontairement dans clubs de course à pied et triathlon. Les sujets ont servi de leur propre contrôle.	Port d'un collier de rafraîchissement (CC) pendant l'épreuve.  L'ordre des 2 épreuves (CC et NC) ont été randomisés et contrebalancés.	Pas de collier (NC) pendant l'épreuve  Comparaison de FAM1 et FAM2, de FAM2 et NC et de NC et CC.	2 session d'épreuves familiarisation (FAM1/FAM2: sans collier) suivies de 2 épreuves expérimentales  7 jours entre chaque épreuve.
2004 Arngrimsson et al. (62)	RCT	Total : 17 ♂ : 9 ♀ : 8	♂ : 23,4 ♀ : 22,1	Etudiants en bonne santé, compétiteurs, dans les clubs de course de moyenne et longue distance. Les sujets ont servi de leur propre contrôle.	Port d'un gilet de rafraîchissement avec des poches de glace, pendant l'échauffement (V).  L'ordre des 2 épreuves (CC et NC) ont été randomisés et contrebalancés.	Port d'un t-shirt basique pendant l'échauffement (C).  Epreuves au même moment de la journée pour minimiser les effets du rythme circadien sur HR et la température corporelle.	2 jours au minimum entre les deux épreuves.
2007 Ückert et Joch (63)	RCT	Total : 20 ♂ : 20 ♀ : 0	25,6 ± 3,5	Etudiants en éducation physique à l'université de Muenster, DE, pratiquant des sports de grande endurance et des sports de force à un haut niveau.	<b>Warm-up (WU test):</b> 5' de course sur le tapis à un rythme auto-adjusté, suivis de 15' à 70% de HRmax individuel (déterminé durant la session de familiarisation).  <b>Veste de rafraîchissement ou cooling vest, avec des poches de glace (PC test):</b> port du gilet de rafraîchissement en position assise (repos). Ensuite, les sujets enlèvent les gilets et commencent l'épreuve.	<b>Control (C test):</b> 20' sans préparation particulière..	Session de familiarisation. 3 épreuves, avec 5 jours d'intervalle entre chaque épreuve.
2017 Stevens et al. (31)	RCT	Total : 9 ♂ : 9 ♀ : 0	30 ± 12	Coureurs volontaires entraînés acclimatés à la chaleur. Ils ont couru au minimum 10 courses de 5 km dans	<b>CWI :</b> 30 min dans de l'eau à 23-24°C, assis dans une baignoire et immergé jusqu'au milieu du	<b>CON :</b> 30 min assis sur une table de massage en même temps que le CWI.	Tous les participants ont couru dehors au minimum 4x/semaine pendant 4 semaines durant l'été australien avant de commencer l'étude.

				les 2 dernières années dont le temps des dernières courses était entre 18 et 22 minutes.	<p>sternum, indication de ne pas toucher le visage ou la tête.</p> <p><u>SPRAY :</u> 30 min assis sur une table de massage en même temps que CWI. Pendant la course, 3 sprays (22°C) à chaque km (à partir du 0.2 km), soit 15 sprays au total.</p> <p>Les 2 groupes ont bu 7.5 mL/kg (563 ± 68 mL) de boissons sportives à 22°C (Gatorade) pendant les 30 min. Puis après les 30 min, 10 min d'échauffement avant l'épreuve (4 min jogging, 1 min marche, 4 min de course, 1 min marche). Sauf pour le CWI où il y a eu 20 min entre la fin du precooling et le début de l'épreuve pour simuler la réalité.</p> <p>Les 2 groupes ont consommé 25 mL d'eau tiède (22°C) à 2 et 4 km (50 mL au total).</p>	<p>Le groupe a bu 7.5 mL/kg (563 ± 68 mL) de boissons sportives à 22°C (Gatorade). Puis après les 30 min, 10 min d'échauffement avant l'épreuve. Le groupe a consommé 25 mL d'eau tiède (22°C) à 2 et 4 km (50 mL en tout).</p>	Ils ont également couru 3x 5 km à leur rythme sur le tapis de cours non-motorisé dans les 6 mois qui ont précédé l'étude.
2012 Yeo et al. (64)	RCT	Total : 12 ♂ : 8 ♀ : 4	23 ± 2,2	Ils représentent leur institution respective ou des clubs de courses à pied (compétition). La plupart d'entre eux ont participé au moins à une course compétitive de 10 km six mois avant l'étude.	<p>Sur une piste de course extérieure de 400 m:</p> <p>Ingestion de glace pillée : 8g/kg de poids durant avant l'épreuve (-1,4°C; ICE)</p>	<p>Sur une piste de course extérieure de 400 m:</p> <p>Ingestion de boisson de sport (6,7 d'hydrate de carbone, 21 mmol/L de Na et 11mmol/L de CL/ 100ml) à température ambiante: 8g/kg de poids (30,0°C; CON)</p>	1 session de familiarisation avant les deux épreuves et minimum 1 semaine entre les deux épreuves.

**Annexe IV : La grille de lecture descriptive de la Haute Ecole de Santé de Genève, filière Nutrition et Diététique**

**Grille de lecture descriptive**

Quelle est la question posée par les auteurs ?	1. Quelle est la question de recherche ? (PICO) 2. Est-elle bien argumentée et justifiée ? (explicitez brièvement) 3. Une hypothèse est-elle formulée explicitement? 4. Quelle est-elle ?
Quel type d'étude a été effectué ?	5. Quel est le design de l'étude ? 6. La récolte de données était-elle longitudinale, transversale ? Rétrospective ou prospective ? 7. Y a-t-il eu une comparaison entre groupes ? Si oui, lesquels ?
Quelles sont les méthodes utilisées ?	8. De quelle population les sujets sont-ils issus ? 9. Quels sont les principaux critères d'inclusion et d'exclusion ? 10. Comment les sujets ont-ils été sélectionnés ? 11. Y a-t-il un risque de biais de sélection ? 12. Quelles sont les variables étudiées ? 13. Les outils de mesure sont-ils valides, fiables ? 14. Quelles sont les principales analyses statistiques effectuées ?
Quels sont les résultats de l'étude ?	15. Quels sont les principaux résultats ? Et que signifient-ils concrètement ? 16. Répondent-ils aux objectifs ? 17. Les tableaux et graphiques sont-ils pertinents, clairement légendés ?
Puis-je appliquer ces résultats à ma pratique ? Analyse personnelle	18. Quels sont les éléments importants de la discussion ? 19. Les auteurs présentent-ils les limites et les biais ? En manque-t-il ?? 20. La revue de littérature est-elle pertinente ? 21. La conclusion est-elle logique ? Découle-t-elle des résultats de l'étude ? 22. Selon vous, les résultats sont-ils plausibles ? En lien avec ce que vous connaissez ? 23. Que pensez-vous de cette étude ? Appliqueriez-vous les résultats ?

**Annexe V : Tableau de synthèse des résultats pour l'hydratation**

Date Auteurs	Mesure des outcomes						Stat	Résultats intervention vs contrôle	Note AND +/-
	Temps	Distance	Déshydratation ou perte de poids corporé	T°C	Paramètres biologiques	Ressenti et perception			
2011 Lopez et al. (57)	Temps de course relevé après chaque lap.	12 km imposé. 3 laps de 4km avec 4 min de pause entre les laps.	Mesure du poids avant et après la course avec une balance.  Comparaison à un poids moyen euhydraté sur 3 jours avant la course.	Ingestion d'une pilule mesurant la $T_{GI}$ . Mesure de la $T_{GI}$ en pré-run, pendant les pauses (chaque 4 min) et en post-run immédiat et 30 min post-run.	Collecte d'urine en pré- et post-run.  Mesure du lactate sanguin en post-run.  HR mesuré tous les 800m, durant les pauses et en post-run immédiat.	Sensation de soif, sensations thermiques, état d'hydratation perçue, taux de fatigue perçue relevés en pré-run, pendant les pauses et en post-run.	Moyenne écart type $P<0.05$ Mesures répétées de variance (condition x time) T-test SPSS	<u>Performance</u> : Meilleur temps de course pour HY.  <u>Etat d'hydratation</u> : Perte de poids + élevée pour DHY en pré-run et post-run.  <u>Température</u> : $T_{GI}$ supérieure pour DHY dès le 8 <sup>ème</sup> km.	+
2010 Casa et al. (58)	Temps de course relevé après chaque lap.	12 km imposé. 3 laps de 4km avec 4 min de pause entre les laps.	Mesure du poids avant et après la course avec une balance.  Comparaison à un poids moyen euhydraté sur 3 jours avant la course.	Ingestion d'une pilule mesurant la $T_{GI}$ . Mesure de la $T_{GI}$ en pré-run, pendant les pauses (chaque 4 min) et en post-run immédiat, 10 et 20 min post-run.	Collecte d'urine en pré-run et post-run, voire durant les pauses si besoin.  Mesure du lactate sanguin en post-run.  HR mesuré en pré-run, 4 km, 8 km et en post-run immédiat, 10 et 20 min post-run.	Sensation de soif, sensations thermiques, état d'hydratation perçue, taux de fatigue perçue relevés en pré-run, à 4km et 8 km et en post-run.	Moyenne écart type $P<0.05$ Mesures répétées de variance (condition x time) SPSS	<u>Performance</u> : HYS vs DYS : Pas de différence dans le temps total. HYR vs DYR : HYR plus rapide à tous les laps et au temps total.  <u>Etat d'hydratation</u> Perte de poids + élevée pour DYR et DYS en pré-run et post-run.  <u>Température</u> : HYS vs DYS : $T_{GI}$ plus élevée pour DYS dès le 2 <sup>ème</sup> lap. HYR vs DYR : $T_{GI}$ plus élevée pour DYR en post-run immédiat seulement.	+
2016 Lopez et al. (59)	Temps de course relevé à chaque km.	20 km imposé. 5 x un parcours de 4 km.	Mesure du poids avant et après la course avec une balance.	Ingestion d'une pilule mesurant la $T_{GI}$ . Mesure de la $T_{GI}$ en pré-run, à chaque 4 km, en post-run	Collecte d'urine en pré-run et post-run.  HR avant épreuve, à chaque km, après	Sensation de soif, sensations thermiques, taux de fatigue perçue relevés en pré-run et en post-run.	Moyenne écart type $P<0.05$ Mesures répétées ANOVA multi variée	<u>Performance</u> : Pas de $\Delta$ de temps de course. Vitesse ↗ dans le temps pour les 2 groupes. IR : tendance à courir + vite que AL mais pas significatif.	+

				immédiat, 10 et 30 min post-run.	épreuve immédiat, 10 et 30 min après épreuve.		(condition x time) Test du chi <sup>2</sup> SPSS	<u>Etat d'hydratation :</u> Perte de poids AL $\geq$ que IR. AL a bu moins que IR.  <u>Température :</u> $T_{GI}$ : $\geq$ 1.76°C entre pré-run et post-run pour les 2 groupes. Pas de $\Delta$ entre les groupes mais tendance pour AL d'avoir une $T_{GI}$ 0.3°C supérieure à IR à 30 min post-run.	
2009 Stearns et al. (60)	Temps de course relevé après chaque lap.	12 km imposé. 3 laps de 4km avec 4 min de pause entre les laps.	Mesure du poids avant et après la course avec une balance.  Comparaison à un poids moyen euhydraté sur 3 jours avant la course.	Ingestion d'une pilule mesurant la $T_{GI}$ . Mesure de la $T_{GI}$ en pré-run, pendant les pauses (chaque 4 min) et en post-run immédiat, 10 et 20 min post-run.	Collecte d'urine en pré-run, à 4 km et 8 km si besoin et post-run  HR pré-run, 4 et 8 km, post-run immédiat, 10 et 20 min post-run.	Perception de la soif et des sensations thermiques en pré-run, à 4 km et 8 km, post-run immédiat et 20 min post-run. RPE en pré-run, à 4 km et 8 km et post-run immédiat.	Moyenne écart type P<0.05 Mesures répétées ANOVA multi variée (condition x time) T-test Correlation bivariée de Pearson Test du chi <sup>2</sup> SPSS	<u>Performance :</u> HYR a fait un meilleur temps de course totale et pour laps 2 et 3.  <u>Etat d'hydratation :</u> DHR a une perte de poids + élevée entre pré-run et post-run. Couleur de l'urine, Usg et Uosm sont + petits pour HYR.  <u>Température :</u> DHR a une $T_{GI}$ plus élevée.	+

**Annexe VI : Tableau de synthèse des résultats pour le rafraîchissement**

Date Auteurs	Mesure des outcomes							Stat	Résultats intervention vs contrôle	Note AND +/-/-
	Temps	Distance	T°C	VO <sub>2</sub> max	Paramètres biologiques	Ressenti et perception	Autres ?			
2011 Tyler et Sunderland (61)	Temps d'exercice jusqu'à la fatigue d'épuisement mesuré à chaque épreuve.	-	Chambre environnementale : 32,2+/- 0,2°C  Température rectal (Tre) : sonde rectale Température moyenne de la peau du cou (Tsk) : 4 thermomètres Mesures toutes les 5', à la fin de l'épreuve	70% de la VO2max imposé, calculé avant les épreuves	HR : moniteur, mesuré toutes les 5' et à la fin de l'épreuve.	Évaluation de l'effort perçu (RPE), <b>Sensation thermique (TS) et sensation thermique de la cou (TS<sub>neck</sub>)</b> , mesurée sur une échelle de 9 points (4 = confortable) <b>Feeling (plaisir / mécontentement)</b> , mesuré avec une échelle de 11 points (-5 à 5, 0 = neutre).  Mesurés toutes les 5' et à la fin de l'épreuve.	Poids avant épreuve, après l'épreuve.  <b>Taux de transpiration consommatoire</b> calculés selon le poids gagné ou perdu à la fin de l'épreuve.	Moyenne écart-type P<0,05 Test t pour RPE, taux transpiration, conso hydrique Mesures répétées ANOVAs pour T <sub>re</sub> , Tsk, mesures perceptions. Si différence non significative : post hoc Tukey Comparaisons multiples : Bonferroni Taille des effets : Cohen d.	<u>Le temps de course :</u> Plus long pour CC que NC.  <u>T<sub>sk</sub></u> : CC < NC. Différence plus significative à 5' qu'à la fin de l'épreuve. <u>T<sub>re</sub></u> : CC > NC. <u>HR</u> : CC > NC.  <u>RPE</u> : Idem pour CC et NC. <u>TS, TS<sub>skin</sub></u> : CC réduit TS, les participants se sentent + rafraîchis mais pas de Δ à la fin de l'épreuve. <u>TS<sub>neck</sub></u> : plus basse à la fin de l'épreuve pour CC. <u>Feeling</u> : Idem pour CC et NC.	+
2004 Arngrimsson et al. (62)	38 min warm-up	5 km de course	Chambre environnementale : 32°C 50% humidité  <u>Mesure de la température du corps (rectal T<sub>re</sub>) et œsophagiennes (T<sub>es</sub>) et mesure de la température de la</u>	Calcul avant l'épreuve , à 1,6 km, à 3,2 km et à 5km.	Mesure de l'urine avant la course.  <u>HR</u> : électrodes autour de la poitrine, mesuré toutes les 5' pdt les 25 premières ' et toutes les ' pour la fin du	RPE, TS : Mesurés au repos, après 30' de WU, avant la course, à 1,6/ 3,2 et 5km.	<u>Poids et composition corporelle</u> : mesurés avant et après la course.	Moyenne écart-type P<0,05 T-test pour les échantillons indépendant Mesures répétées avec ANOVA	<u>Temps de course</u> : Moins long avec V. 12 coureurs plus rapide avec V et 5 plus rapide avec C. L'amélioration de la performance apparaît au milieu et fin de l'épreuve.  <u>Tsk</u> : plus basse avec V que C pdt WU et au début de l'épreuve mais pas de Δ pdt l'épreuve.	+

			<u>peau (<math>T_{sk}</math>) (dans le dos, cuisse et avant-bras):</u> Mesurées toutes les 5' pdt les 25 premières ' et toutes les ' pour la fin du warm-up (WU) et l'épreuve.		warm-up (WU) et l'épreuve.  <u>Lactate sanguin (BL)</u> : pris au doigt, mesuré après la course.				<u><math>T_{re}, T_{es}</math></u> : $\Delta$ entre V et C augmente progressivement pdt WU. Pas de $\Delta$ à la fin de la course.  <u>Stockage chaleur (S)</u> : plus bas pdt WU et au début de la course, avec V. $\nearrow$ plus rapide avec V jusqu'à la fin.  <u>TS</u> : se sentent + rafraîchis après 30' de WU et au début de la course avec V. WU semble + facile à 30' avec V que C.  <u>RPE</u> : pas de $\Delta$ significative.	
2007 Ückert et Joch (63)	20' WU ou PC avant l'épreuve, pour interventions	Jusqu'à épuisement	Chambre environnementale : 30-32°C 50% humidité  <u>T corporelle (TC)</u> : Tympanique, mesurée durant la période de repos (avant l'épreuve) et toutes les 2' pdt l'épreuve.  <u>T de la peau (Ts)</u> : mesurée pdt les 5' de repos.	PP	<u>HR</u> : récepteurs et émetteurs ajustés et démarrés dans les mêmes conditions et mesurée pdt 5' repos et toutes les 5' pdt l'épreuve.  <u>BL</u> : mesuré après 5' d'épreuve et toutes les 10' (15, 25 35'..) et à la fin de l'épreuve.	PP	Poids, taille : Mesurés avant l'épreuve.	Moyenne écart-type P<0,05 Si comparaisons : Post hoc	<u>Temps de course</u> : Plus long avec PC que WU et plus long avec C que WU. <b>1)PC 2) C 3) WU</b>  <u>HR</u> : Baisse avec PC et $\nearrow$ avec WU pendant la préparation thermique (TPP), Début de l'épreuve, HR plus bas après PC que WU ou C. Jusqu'à 30', HR plus bas avec PC qu'avec WU et après 35' pas de différence. <u>TC</u> : $\nearrow$ plus importante avec WU qu'avec PC et C pdt TPP. Entre PC et C, $\Delta$ au début de l'épreuve et presque identique à la fin. <u>Ts</u> : réduit avec PC et $\nearrow$ avec WU pdt TPP. $\nearrow$ plus haute pour WU que C et PC (le plus bas). A la fin de l'épreuve, pas de $\Delta$ entre WU et C et PC et C. $\Delta$ entre PC et WU dont Ts est plus haute.	+
2017 Stevens et al. (31)	Temps relevé tout au long de la course.	5 km imposé	Environnement : Chambre à 33°C et 34% humidité.  <u>Température corporelle (TC)</u> : Rectal ( $T_{re}$ ) : mesurée en continu avec une	Analyse de gaz durant les derniers 300m de chaque km en excluant	<u>HR</u> : en continu avec une montre-capteur. <u>BL</u> : prise de sang capillaire au doigt à 2.5 km et 5 km puis analysé avec un appareil.	<u>RPE, ST, inconfort digestif</u> : Mesurés à chaque km pdt l'épreuve à partir de 0,8km.	<u>Activation musculaire</u> : mesurée avec des électrodes.  <u>Taux de transpiration</u> : estimé avec une équation.	Moyenne écart-type P<0,05 Analyse des différences sur une base de probabilité d'excéder un <i>small effect size (ES)</i> à 0.2.	<u>Performance</u> : Meilleur temps de course pour CWI et SPRAY que CON : ES = trivial to small. Pas de $\Delta$ significative entre CWI et SPRAY. Course plus rapide par km de 0 à 2 km pour SPRAY et de 1 à 4 km pour CWI.  <u>Température</u> :	+

			<p>sonde à 10 cm du sphincter anal.</p> <p>Cutanée moyenne (<math>T_{MS}</math>) : calculée selon une équation de plusieurs T du corps <u><math>T</math> frontale (<math>T_f</math>)</u> : mesurée par un patch cutané sur le front.</p> <p>Pour tous les groupes, les T ont été mesurées avant CWI, 4 min post CWI, après WU et après l'épreuve.</p> <p>Excepté pour <math>T_R</math> et <math>T_F</math> qui ont aussi été prises à chaque km de l'épreuve.</p> <p>Température moyenne corporelle (<math>T_{MB}</math>) selon équation comprenant <math>T_R</math> et <math>T_{MS}</math>.</p>	<p>les 10<sup>ères</sup> de chaque mesure.</p>	<p><u>Prolactine</u> : prise de sang veineux antécubital avant l'échauffement et en post-run immédiat.</p>			<p>IC à 90%.</p> <p>Des descripteurs qualitatifs pour la magnitude de différences entre les conditions sont utilisés : trivial (&lt; 0.2), small (0.2 – 0.6), moderate (0.6 – 1.2), large (1.2 – 2.0), very large (&gt;2.0)</p>	<p><math>T_R</math> : inférieure chez CWI après l'immersion et jusqu'en fin de l'épreuve y compris.</p> <p><math>T_F</math> : inférieure chez CWI après l'immersion et après WU puis reste inférieure à celle du CON jusqu'aux 2<sup>ème</sup> km. <math>T_F</math> SPRAY devient inférieure comparé à CWI et CON durant toute l'épreuve.</p> <p><math>T_{MS}</math> : inférieure chez CWI comparé aux 2 autres groupes en post-immersion seulement.</p> <p><math>T_{MB}</math> : plus bas chez CWI de post-immersion à la fin de l'épreuve.</p> <p><u>ST</u> : plus bas pour CWI et SPRAY comparé à CON. ES: small to moderate.</p> <p><u>RPE</u> : Pas de Δ entre les groupes</p> <p><u>Inconfort digestif</u> : idem entre les groupes</p>	
2012 Yeo et al. (64)	15 min WU	10 km de course	<p>Environnement : 28,2+/-0,8°C.</p> <p><u><math>T^o</math> gastro-intestinale (<math>T_{gi}</math>)</u> : avec pilule télémétrique ingérable, mesurée en continu et calculée à intervalle de 5min.</p>	<p><u>Consommation d'<math>O_2</math> (<math>VO_2</math>)</u> : Running economy test</p> <p><u>Capacité aérobie max (<math>VO_2</math> peak)</u> : mesurés dans un laboratoire avec air conditionné.</p>	<p><u>HR</u> : avec moniteur HR, mesuré en continu pdt l'épreuve et calculée à intervalle de 5min.</p>	<p><u>RPE</u> : reporté tous les 400m en commencé à 0,6km.</p> <p><u>ST</u> : mesurée avant l'épreuve.</p> <p>Les mesures sont reportées grâce à des échelles.</p>	<p><u>Taille</u> : Mesuré à 0,1cm près</p> <p><u>Poids</u> : mesuré à 0,01kg près</p> <p><u>Etat hydratation</u> : avec un test urinaire.</p> <p><u>Equilibre hydrique</u> : mesuré en pesant les bouteilles avant et après l'épreuve, le poids du corps après l'épreuve et le volume urinaire.</p> <p><u>Taux de transpiration</u> :</p>	<p>Moyenne écart-type</p> <p><math>P&lt;0,05</math></p> <p>Shapiro-Wilk test</p> <p>Données qui ne suivent pas une distribution normale : Wilcoxon matched-pair signed rank test</p> <p>Mesures répétées : ANOVA</p> <p>Si F-ratio significatif : Student's t-test avec ajustement : Bonferroni</p>	<p><u>Temps de course</u> : Plus long avec ICE qu'avec CON : 11 coureurs ont mieux performé avec ICE.</p> <p><u><math>VO_2</math></u> : + haute capacité aérobique maximale avec ICE qu'avec CON entre 8,6 et 9,6 km mais pas de Δ pour le reste de l'épreuve.</p> <p><u><math>T_{gi}</math></u> : Pas de Δ entre ICE et CON pdt les 5' de repos avant l'ingestion de glace pilée. Après l'ingestion, <math>T_{gi}</math> baisse plus avec ICE. <math>T_{gi}</math> est similaire entre ICE et CON après WU et avant début de l'épreuve et reste identique jusqu'à la 15<sup>ème</sup> min de course. Ensuite, elle devient plus élevée jusqu'à la fin de la course avec ICE comparé avec CON.</p> <p><u>HR</u> : Pas de Δ au début et pdt l'épreuve</p> <p><u>Taux de transpiration/ balance hydrique</u> : La consommation de liquide est similaire pour les 2 groupes (Ad libitum) et le volume urinaire est identique à la fin de l'épreuve. Le taux de transpiration et la perte de poids est également identique.</p>	+

						Poids avant/après épreuve, liquide ingéré et uriné.		RPE : Pas de Δ durant l'épreuve. ST : Plus basse jusqu'à 1km de course avec ICE et ensuite pas de Δ.	
--	--	--	--	--	--	---	--	---	--

rapport.Gratuit.Com

