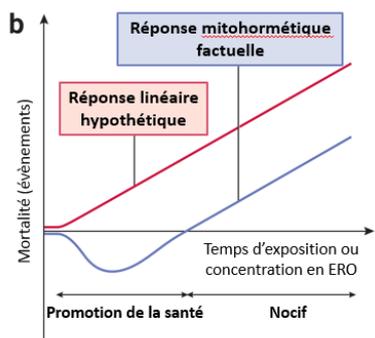


## Le principe d'hormèse



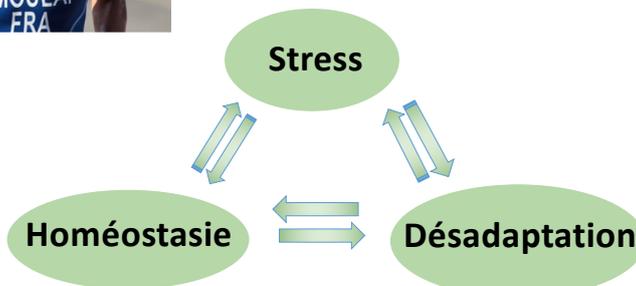
Ristow, Michael. « Unraveling the Truth about Antioxidants: Mitohormesis Explains ROS-Induced Health Benefits ». *Nature Medicine* 20, n° 7 (juillet 2014): 709-11. <https://doi.org/10.1038/nm.3624>.



1

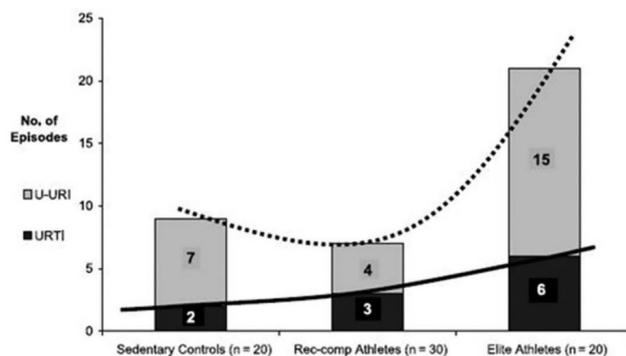
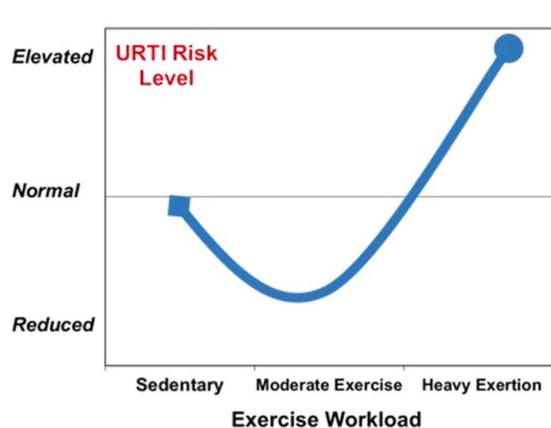
## Doit-on se stresser pour évoluer ?

« **Optimisation** de toutes les fonctions physiologiques ayant répondu favorablement aux adaptations attendues de l'entraînement »



2

## Immunité et activité physique



**Figure 2** — Episodes of U-URI and URTI during 5 months' surveillance of recreational versus elite athletes compared with sedentary controls.

Castell, Lindy M., David C. Nieman, Stéphane Bermon, et Peter Peeling. « Exercise-Induced Illness and Inflammation: Can Immunonutrition and Iron Help? » *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29, n° 2 (1 mars 2019): 181-88. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0283>.

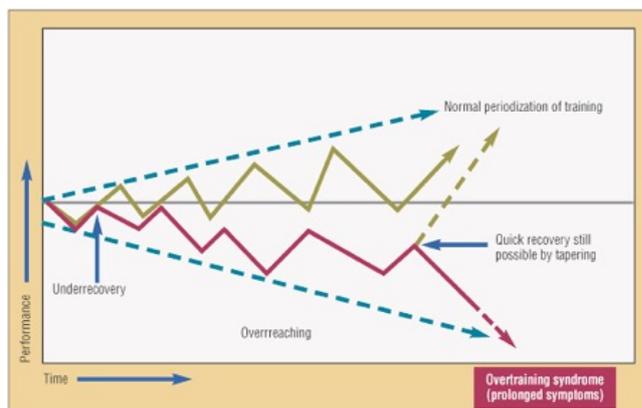


3



4

## De l'homéostasie à la désadaptation...



D'après Hawley C and Schoene R., *Overtraining syndrome. The physician and sportsmedicine* – June 2003 - 31 (6).

**Des effets bénéfiques quel que soit le niveau de pratique grâce à la capacité de maintien de l'homéostasie**



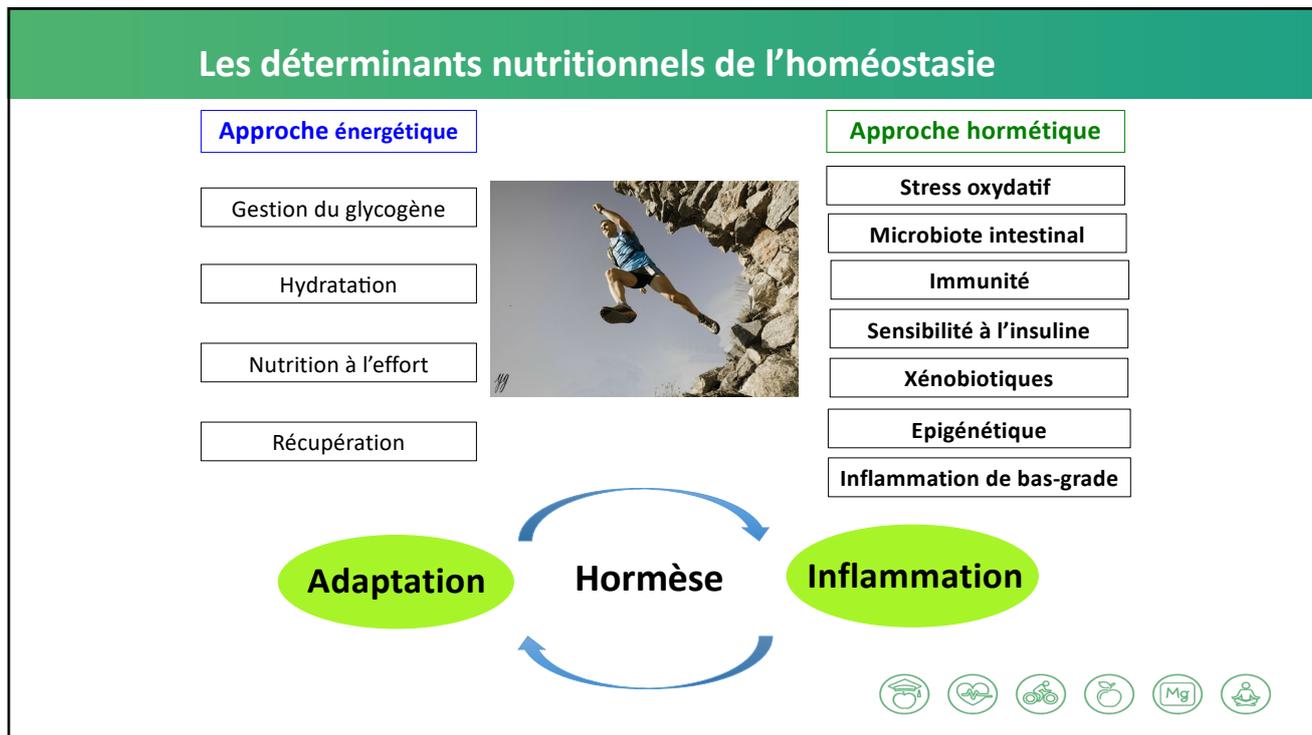
5

## Conséquences de l'activité physique sur les paramètres nutritionnels

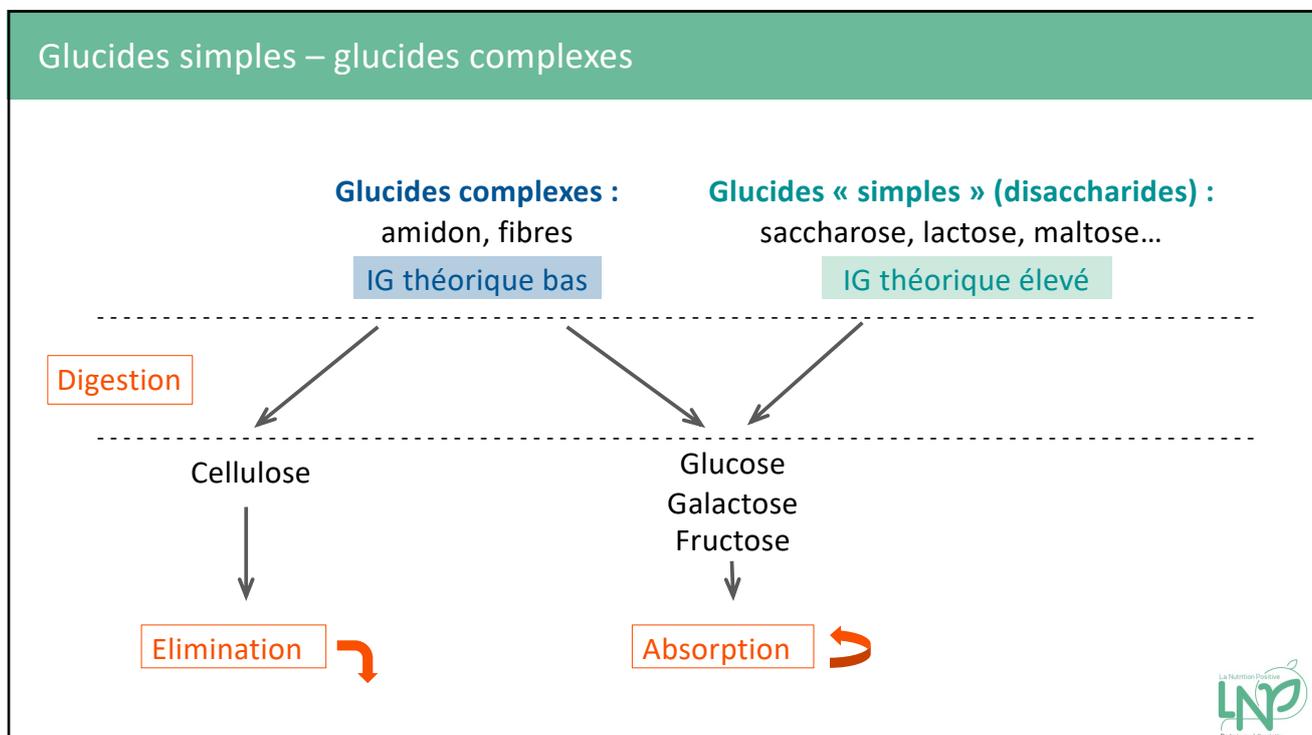
- Déplétion des stocks de glycogène
- Surconsommation en oligo-éléments et cofacteurs enzymatiques
- Altération du statut protéique et en acides aminés fonctionnels
- Déshydratation et perturbations hydro-électrolytiques
- Production de charges acides
- Modifications des balances cytokiniques et des exerkines
- Stress oxydatif majoré



6

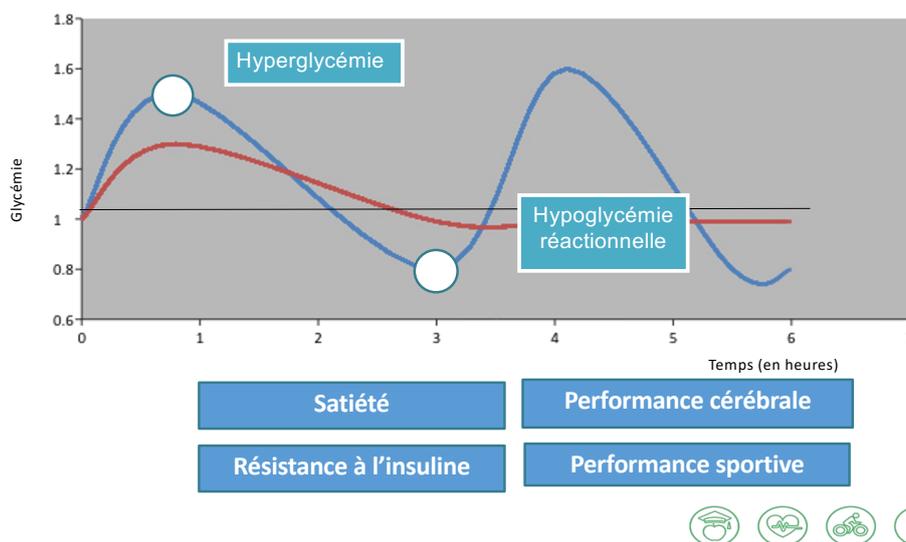


7



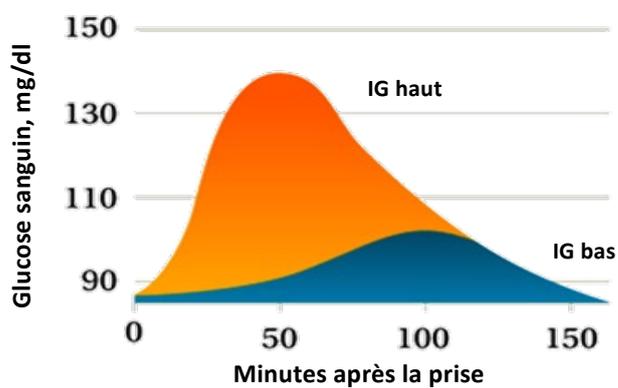
8

## Glucides et réponse insulinique



9

## L'index glycémique



### Facteurs de variation :

- Nature biochimique du glucide
- Origine des produits amylacés
- Traitement industriel
- Cuisson
- Présence de fibres, de phytates
- Modes de consommation et de conservation



10

## Index glycémique: quelques exemples

ALIMENTS	IG	ALIMENTS	IG
Glucose	100	Spaghettis blancs bien cuits	55
Pommes de terre cuites au four	95	Riz basmati long	50
Pain blanc	85	Banane verte	45
Corn Flakes	85	Spaghetti al dente	40
Riz à cuisson rapide	85	Riz sauvage	35
Soda	70	Haricots verts	30
Saccharose (sucre blanc)	70	Lentilles	25
Pommes de terre vapeur ou à l'eau	65	Chocolat noir (> 85 % de cacao)	20
Banane mure	60	Sirop d'agave	15



11

## La charge glycémique (CG)

$$CG = \frac{IG \times \text{quantité de glucides d'une portion d'aliments (g)}}{100}$$

La charge glycémique (CG) permet de **corrélér l'IG d'un aliment à la quantité consommée** par portion moyenne. Elle apporte ainsi une **vision plus réaliste de l'impact de la consommation d'un aliment sur la glycémie**.

Charge Glycémique élevée (>20)

Charge Glycémique modérée (11 à 19)

Charge Glycémique faible (<10)

Exemples :

Aliment	Index glycémique	Portion	Quantité glucides	Charge Glycémique
Corn flakes	82	30 g	25 g	$(82 \times 25) / 100 = 20,5$
Lentilles	25	250 g	31 g	$(25 \times 31) / 100 = 7,75$



12

CHARGE GLYCÉMIQUE FORTE > 20					CHARGE GLYCÉMIQUE FAIBLE < 10				
ALIMENT	CG	TAILLE PORTION	% GLUCIDES	IG	ALIMENT	CG	TAILLE PORTION	% GLUCIDES	IG
Pop-corn sans sucre	42,2	80	62	85	Ananas	9,7	150	11	59
Pomme de terre (au four)	38	200	20	95	Melon	9,1	200	7	65
Riz gluant (précuit)	36,8	150	23	98	Lentilles vertes (cuites)	7,7	150	17	30
Riz cuisson rapide	33,9	150	26	87	Haricots blancs	7,1	150	14	34
Riz long blanc (cuit)	30,5	150	29	70	Pêche	6,9	150	11	42
Semoule (cuite)	29,7	150	36	55	Amarante (grains)	6,8	30	65	35
Galettes de riz	27,2	40	80	85	Petits pois (frais)	6,6	200	8	41
Pomme de terre cuite à l'eau	26,6	200	19	70	Pomme	6,3	150	11	38
Farine de maïs	26,6	50	76	70	Sirop d'érable	5,4	15	67	54
Baguette courante	25,7	60	57	75	Cerise	5,3	150	14	25
Spaghetti bien cuit (blanc)	25,4	150	26	65	Orange	5	150	8	42
Riz sauvage (cuit)	24,8	150	29	57	Carotte cuite	4,7	200	5	47
Biodé (moyenne)	23,6	330	11	65	Poudre chocolatée sucrée	4,6	10	80	58
Purée de pommes de terre	23,2	200	14	85	Betterave cuite	4,5	100	7	64
Tapoca (cuit)	22,7	30	89	85	Pruneau	4,2	20	52	40
Biscotte	22,5	40	75	75	Kiwi	3,8	80	9	53
Farine semi-complète (blé)	22,4	50	69	65	Lait 1/2 écrémé	3,8	250	5	30
Riz basmati complet	21,8	150	25	58	Saccharose (sucré)	3,5	5	100	70
Pain au chocolat	21,8	70	48	65	Flocon d'avoine (cuit)	3,5	50	12	59
Châtaigne	21,1	150	26	54	Sucre roux	3,4	5	97	70
Céréales du petit déjeuner (corn flakes)	20,4	30	83	82	Haricot vert	3	200	5	30
Farine complète (blé)	20,1	50	67	60	Betterave crue	2,7	100	9	30
CHARGE GLYCÉMIQUE MOYENNE 10-19									
ALIMENT	CG	TAILLE PORTION	% GLUCIDES	IG	Chocolat noir (70% cacao) <th>2,3</th> <th>30</th> <th>33</th> <th>23</th>	2,3	30	33	23
Pâtes complètes (blé)	19,8	150	24	55	Lait de soja	2,1	100	7	30
Pain complet (froment)	19,5	60	50	65	Farine de soja	2	50	16	25
Croissant	19,2	70	41	67	Lait d'amande	1,8	100	6	30
Spaghetti blanc al dente	18,9	150	28	45	Céleri rave (cru)	1,7	80	6	35
Banane bien mûre	18,5	125	23	65	Noix de cajou	1,5	30	22	22
Patate douce (cuite au four)	14,7	200	16	46	Carotte crue	1	100	6	16
Pain de mie (blanc)	14,5	40	49	74	Chou-fleur (cuit)	0,9	200	3	15
Farine d'épeautre intégrale	14,2	50	63	45	Tomates (crues)	0,6	100	2	30
Banane (peu mûre)	13,7	125	21	52	Épinards (cuits)	0,6	200	2	15
Miel	13,1	30	81	54	Cacahuètes, noix, pistaches	0,5	30	10	15
Jus d'orange pressé, sans sucre	13	250	10	52	Tofu	0,3	100	2	15
Raisins secs	12,9	30	66	65	Amandes	0,05	30	1	15
Pain de seigle	12,7	60	47	45					
Brioche	12,1	40	48	63					
Confiture	11,9	30	60	66					
Raisin	11,1	150	14	53					
Quinoa (cuit)	11	150	21	35					
Fèves cuites	10,7	150	11	65					
Haricots rouges (cuits)	10,7	150	14	51					
Pois chiches (cuits)	10,4	150	21	33					
Dattes séchées	10,4	30	63	55					

[www.sante-et-nutrition.com](http://www.sante-et-nutrition.com)  
[www.evonutri.fr](http://www.evonutri.fr)

13

## Les glucides : en pratique dans l'assiette au quotidien

### LIMITER

- Les aliments à index insulémique élevé, surtout au petit-déjeuner.
- La consommation d'aliments à index insulémique élevé en dehors des repas (hors collation de fin d'après-midi)
- Les produits céréaliers raffinés (non complets), et/ou extrudés (biscottes, céréales croustillantes, galettes de riz soufflé, biscuits apéritifs, etc.).
- Les fruits en jus, même sans sucre ajouté.
- Les amidons transformés (ex. purée en flocons)
- La consommation d'édulcorants (idéalement à supprimer).

### FAVORISER

- Les fibres à chaque repas.
- Les aliments glucidiques à faible charge glycémique : légumineuses, produits céréaliers complets, végétaux.
- La consommation de protéines au petit déjeuner.
- L'association d'aliments glucidiques à des fibres, des protéines et des lipides bien choisis.
- Le pain de qualité (levain 100%, variété ancienne).
- Les fruits entiers (maintien de la matrice fibreuse).
- Les aliments les plus bruts, les moins transformés.
- Une bonne mastication.

14

## La fenêtre métabolique

### La reconstitution du glycogène dépend :

- De la chronologie d'apport
- De la nature et des quantités de glucides consommés
- De l'état d'entraînement de l'athlète
- De l'association de protéines aux glucides et de la nature des acides aminés fonctionnels associés



15

## La fenêtre métabolique

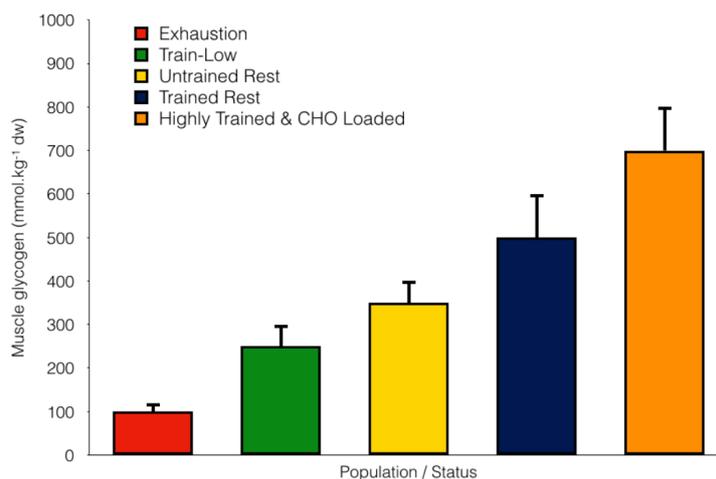
 **nutrients**



Review

### Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations

Mark A. Hearris, Kelly M. Hammond, J. Marc Fell and James P. Morton \*



Hearris MA, Hammond KM, Fell JM, Morton JP. Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations. *Nutrients*. 2018;10(3):298. Published 2018 Mar 2. doi:10.3390/nu10030298



16

## Priorité à l'oxydation des lipides

### Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans

BENTE KIENS AND ERIK A. RICHTER  
Copenhagen Muscle Research Centre, August Krogh Institute,  
University of Copenhagen, DK-2100 Copenhagen, Denmark

### Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise

TRACY J. HORTON, MICHAEL J. PAGLIASSOTTI, KAREN HOBBS, AND JAMES O. HILL  
Center for Human Nutrition, Department of Pediatrics,  
University of Colorado Health Sciences Center, Denver, Colorado 80262

Représente environ 60% du métabolisme oxydatif quel que soit le niveau d'apport en glucides

Horton T.J., Pagliassotti M.J., Hobbs K., Hill J.O. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J. Appl. Physiol.* 1998;85:1823–1832. doi: 10.1152/jappl.1998.85.5.1823  
Kiens B., Richter E.A. Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans. *Am. J. Physiol.* 1998;275:E332–E337. doi: 10.1152/ajpendo.1998.275.2.E332



17

## La fenêtre métabolique : une période biphasique

### Première phase :

- Augmentation rapide de la resynthèse du glycogène, indépendamment des concentrations d'insuline, **pendant 30 à 60 minutes** après l'exercice.
- Diminue rapidement en l'absence de prise de glucides.
- Doublement du nombre de GLUT4 avant de revenir progressivement à la valeur avant-effort au bout de 2h.
- Lorsque l'apport en glucides a lieu toutes les 15 à 30 minutes, sur une durée de 6h, le taux de resynthèse du glycogène musculaire est environ 40% plus élevé qu'en cas de prises toutes les 2 h mais peu de données disponibles sur l'impact réel de la fréquence de consommation (taux de synthèse semblable après 24h quelle que soit la fréquence d'apports).

### Seconde phase :

- Rendement environ 80% inférieur.
- Dépendante de l'insuline, des quantités de glucides consommés et de la teneur résiduelle en glycogène musculaire.
- Dure **environ 48h**.
- Plafond à environ 8 g/kg poids corporel/j (soit environ 600g/j).

Jentjens R., Jeukendrup A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* 2003;33:117–144. doi: 10.2165/00007256-200333020-00004.  
Goodyear, L. J., Hirshman, M. F., King, P. A., Horton, E. D., Thompson, C. M., & Horton, E. S. (1990). *Skeletal muscle plasma membrane glucose transport and glucose transporters after exercise. Journal of Applied Physiology*, 68(1), 193–198. doi:10.1152/jappl.1990.68.1.193  
Cartee GD, Young DA, Sleeper MD, Zierath J, Wallberg-Henriksson H, Holloszy JO. Prolonged increase in insulin-stimulated glucose transport in muscle after exercise. *Am J Physiol.* 1989 Apr;256(4 Pt 1):E494-9. doi: 10.1152/ajpendo.1989.256.4.E494. PMID: 2650561.  
Alghannam AF, Gonzalez JT, Betts JA. Restoration of Muscle Glycogen and Functional Capacity: Role of Post-Exercise Carbohydrate and Protein Co-Ingestion. *Nutrients.* 2018;10(2):253. Published 2018 Feb 23. doi:10.3390/nu10020253



18

**Influence of Post-Exercise Carbohydrate-Protein Ingestion on Muscle Glycogen Metabolism in Recovery and Subsequent Running Exercise**  
 in International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism

- Comparaison entre une boisson consommée lors de la récupération composée de :
  - 0,8 g glucides/kg poids corporel/h + 0,4g de protéines/kg poids corporel h
  - Ou 1,2g glucides/kg poids corporel/h
- L'ingestion de la solution CHO-P accélère la synthèse de glycogène musculaire durant la récupération à court terme, tout autant que la solution de CHO. L'ajout de protéines n'a pas altéré l'utilisation de glycogène musculaire ni augmenté la fatigue durant l'effort suivant.
- **Apport glucidique maximal : 1,2g / kg poids corporel / h**
- **Apport protéique complémentaire : 0,2 à 0,4 g/kg/h** (efficace essentiellement en cas d'apport modéré de glucides)

Alghannam, A. F., Jedrzejewski, D., Bilzon, J., Thompson, D., Tsintzas, K., & Betts, J. A. (2016). Influence of Post-Exercise Carbohydrate-Protein Ingestion on Muscle Glycogen Metabolism in Recovery and Subsequent Running Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(6), 572–580. doi:10.1123/ijsem.2016-0021

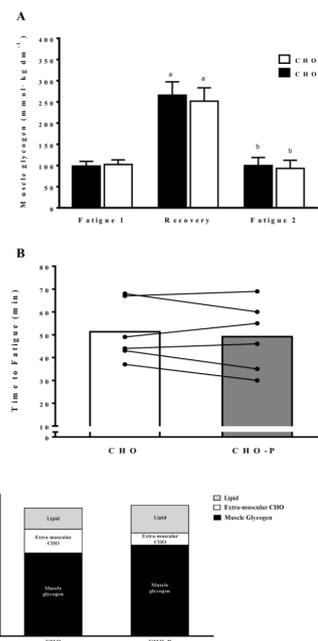


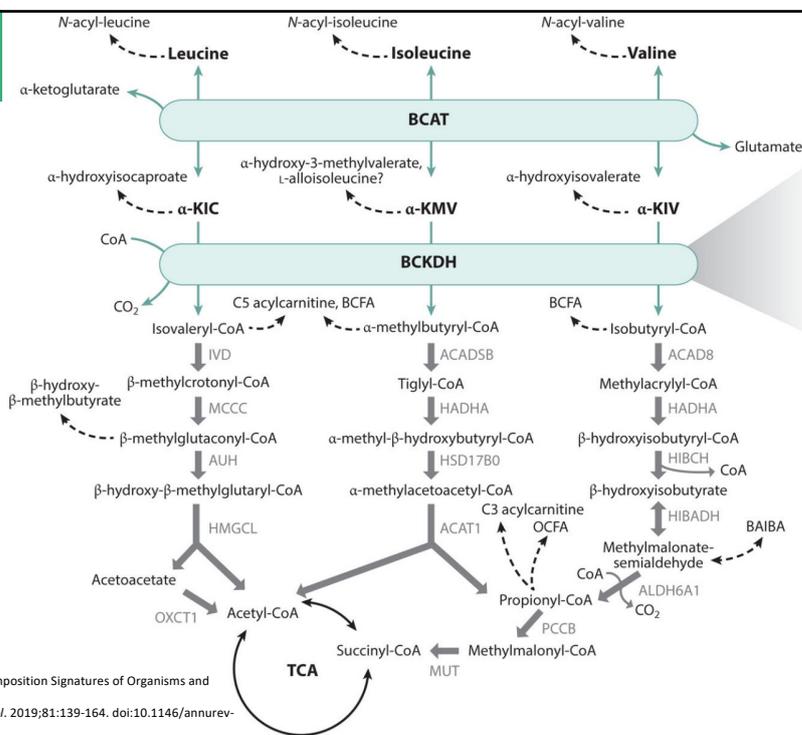
Figure 5. The contribution of muscle glycogen, extra-muscular carbohydrate (CHO) and lipids to total substrate metabolism (kJ·min<sup>-1</sup>) during Run-2 with CHO or CHO-P.

19

**Les BCAA**

- Environ 35% des acides aminés essentiels des mammifères<sup>1</sup>.
- Leur métabolisme est avant tout musculaire, contrairement à la majorité des autres acides aminés essentiels (foie).
- **Acides aminés précurseurs d'intermédiaires du cycle de Krebs** via l'Acétyl-CoA et le Succinyl-CoA<sup>2</sup>.
- **Modulateurs de l'activité de mTOR (leucine)**
- Acides aminés entrant en compétition d'assimilation avec le tryptophane.

1. Moura, Alexandra, Michael A. Savageau, et Rui Alves. « Relative Amino Acid Composition Signatures of Organisms and Environments ». *PLOS ONE* 8, n° 10 (25 octobre 2013): e77319  
 2. Neinast M, Murashige D, Arany Z. Branched Chain Amino Acids. *Annu Rev Physiol*. 2019;81:139-164. doi:10.1146/annurev-physiol-020518-114455



20

## Mais il faut... un bain protéique avant tout

Wolfe, Journal of the International Society of Sports Nutrition (2017) 14:30  
DOI 10.1186/s12970-017-0184-9

Journal of the International  
Society of Sports Nutrition

REVIEW

Open Access

Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality?



Robert R. Wolfe

- **Les effets des BCAA sont dépendants de la disponibilité et du pool en acides aminés essentiels** => l'effet anabolique de la Leucine est donc tributaire de la présence de protéines et en particulier du pool dans les autres acides aminés essentiels, véritable facteur limitant de la synthèse protéique (environ 70% d'entre eux sont réincorporés dans le turn-over protéique, donc non disponible pour de l'anabolisme).
- **La présence de L-leucine seule active l'oxydation de l'ensemble des BCAA.**
- **L'ajout de valine et d'isoleucine (mais aussi de phénylalanine) diminue la capacité d'internalisation de la Leucine, donc son efficacité intramusculaire.**

Wolfe, Robert R. « Branched-chain amino acids and muscle protein synthesis in humans: myth or reality? » *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 14, n° 1 (22 août 2017): 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0184-9>.



21

## La fenêtre métabolique : en pratique

### Apport glucido-protéique :

- Consommation régulière de glucides pendant 4 à 6 heures (théoriquement 1 à 1,2 g/kg/h (vs 0,3g/kg/h en cas de recherche de prise de masse)
- Protéines (20g) avec ratio élevé en BCAA et leucine, prise à répéter si possible
- Boire à sa soif : boisson de récupération, eau sodée bicarbonatée
- Solides selon tolérance digestive : banane bien mure, fruits secs, compote, pâte de fruits, pâte d'amandes, etc.

### Repas de récupération :

- Légumes tolérés (crus bien tendres ou cuits) + huile « santé »
- Produits céréaliers ou légumineuses +/- protéines animales selon l'heure (déjeuner, dîner) et les apports précédents
- Eventuellement un produit laitier toléré
- Dessert glucidique

### Avant le coucher :

Selon l'effort (épreuve d'endurance, prise de masse, forte sollicitation musculaire) : poursuite de la prise glucidique et complément protéique



22

# Périodisation nutritionnelle

Sports Med (2018) 48:1031–1048  
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0867-7>



CURRENT OPINION

## Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis

Samuel G. Impsey<sup>1</sup> · Mark A. Hearnis<sup>1</sup> · Kelly M. Hammond<sup>1</sup> · Jonathan D. Bartlett<sup>2</sup> · Julien Louis<sup>3</sup> · Graeme L. Close<sup>3</sup> · James P. Morton<sup>1</sup>

### Revue de littérature (2018)

Programmer 30 à 50 % des séances d'entraînement avec une disponibilité réduite de glucides<sup>1</sup> (tous les 3 jours ou par cycle d'une semaine toutes les 3 semaines par exemple), train/low ou sleep/low :

- Module l'activation des voies de signalisation cellulaire aiguë (73 % sur 11 études)
- Favorise les adaptations oxydatives des muscles squelettiques induites par l'entraînement (78 % des 9 études)
- Pourrait améliorer les performances à l'effort (37 % des 11 études).

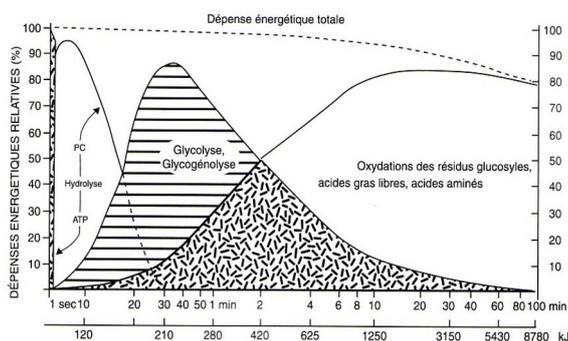
Impsey SG, Hearnis MA, Hammond KM, et al. Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sports Med.* 2018;48(5):1031-1048. doi:10.1007/s40279-018-0867-7.

**Table 2** Summary of key outcomes from train-low studies as categorized under the measures of cell signalling, gene expression, enzymatic changes and performance outcomes. Studies are presented according to those demonstrating positive changes, no change or negative changes

	Positive	No/equivalent change	Negative
Muscle (n = 25)			
Signalling (n = 11)	73% (n = 8) Steinberg et al. [21] Cochran et al. [22] Yeo et al. [23] Akerstrom et al. [27] Wojtaszewski et al. [36] Chan et al. [37] Bartlett et al. [38] Lane et al. [39]	27% (n = 3) Hammond et al. [43] Impsey et al. [48] Lee-Young et al. [49]	0%
Gene expression (n = 12)	75% (n = 9) Pilegaard et al. [15a, b] Pilegaard et al. [16] Steinberg et al. [21] Psilander et al. [24] Chan et al. [37] Bartlett et al. [38] Lane et al. [39] Impsey et al. [48]	25% (n = 3) Cochran et al. [22] Hammond et al. [43] Jensen et al. [54]	0%
Enzyme activity/protein content (n = 9)	78% (n = 7) Hansen et al. [9] Yeo et al. [17] Morton et al. [18] Hulston et al. [19] Van Prooyen et al. [30] De Bock et al. [31] Nybo et al. [32]	22% (n = 2) Cochran et al. [20] Gejl et al. [52]	0%
Physiological responses			
Lipid oxidation (n = 17)	47% (n = 8) Yeo et al. [17] Hulston et al. [19] Akerstrom et al. [27] Wojtaszewski et al. [36] Bartlett et al. [38] Lane et al. [39] Hammond et al. [43] Impsey et al. [48]	53% (n = 9) Pilegaard et al. [15a] Marquet et al. [40, 41] Van Prooyen et al. [30] De Bock et al. [31] Nybo et al. [32] Burke et al. [45] Lee-Young et al. [49] Gejl et al. [52]	0%
Efficiency/economy (n = 2)	50% (n = 1) Marquet et al. [40]	50% (n = 1) Burke et al. [45]	
Performance			
Exercise performance changes (n = 11)	37% (n = 4) Hansen et al. [9] Cochran et al. [20] Marquet et al. [40, 41]	63% (n = 7) Yeo et al. [17] Morton et al. [18] Hulston et al. [19] Van Prooyen et al. [30] Nybo et al. [32] Burke et al. [45] Gejl et al. [52]	0%

23

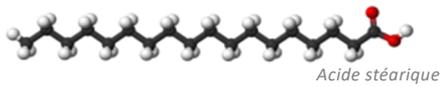
## Un rôle classique : pourvoyeur d'énergie



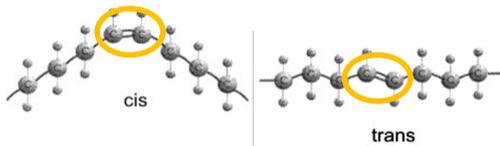
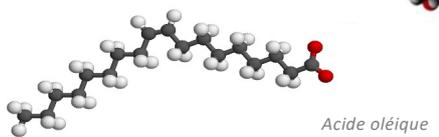
24

## Lipides et acides gras : nomenclature

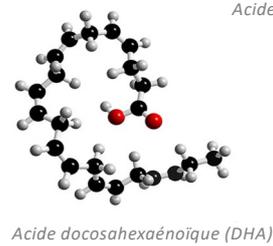
### Acides gras saturés



### Acides gras monoinsaturés

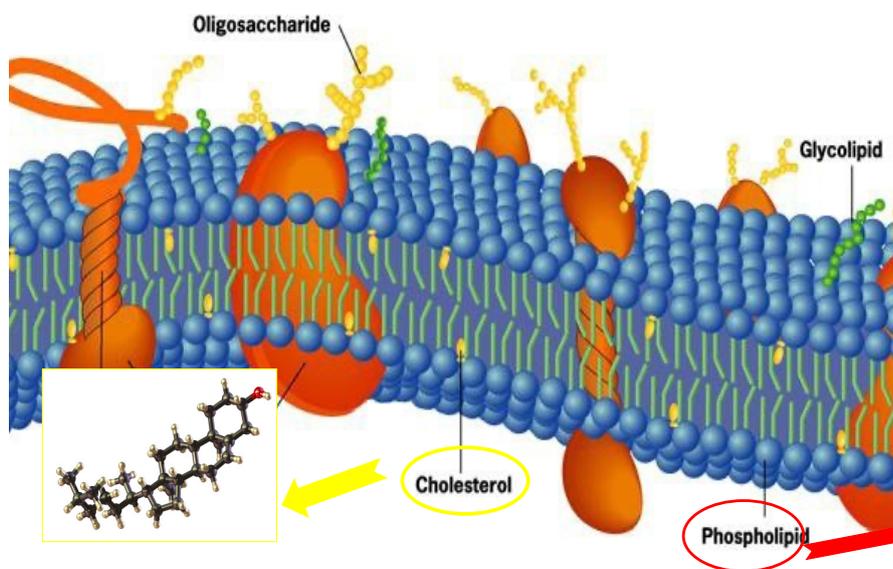


### Acides gras polyinsaturés



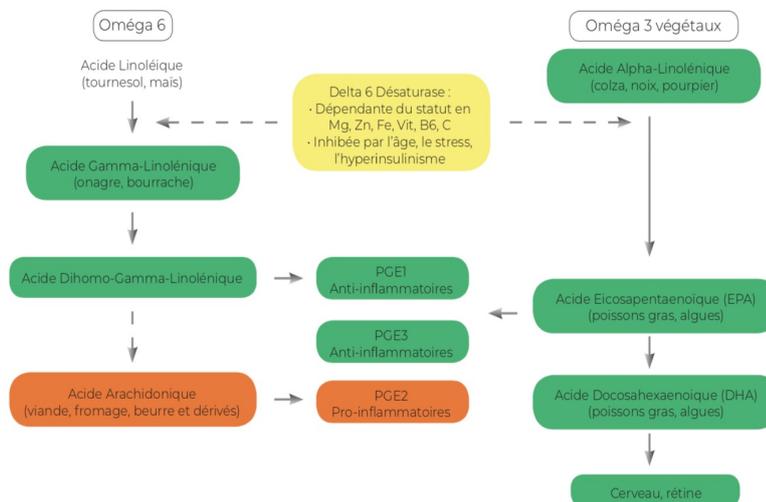
25

## Lipides et souplesse membranaire



26

## Acides gras poly-insaturés et prostaglandines



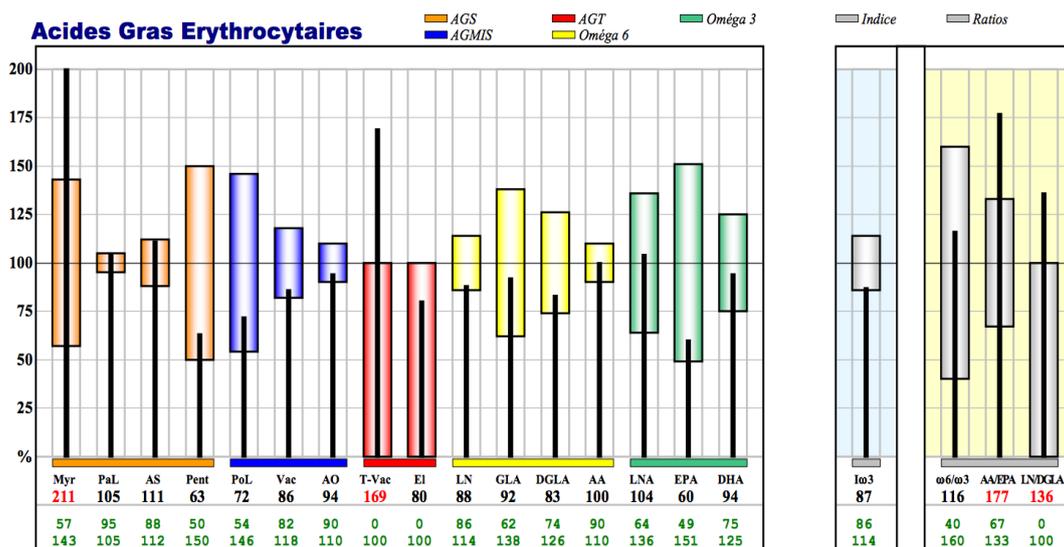
- Gerster, H. « Can Adults Adequately Convert Alpha-Linolenic Acid (18:3n-3) to Eicosapentaenoic Acid (20:5n-3) and Docosahexaenoic Acid (22:6n-3)? » *International Journal for Vitamin and Nutrition Research. Internationale Zeitschrift Für Vitamin- Und Ernährungsforschung. Journal International De Vitamologie Et De Nutrition* 68, n° 3 (1998): 159-73.
- Wood, K. E., A. Lau, E. Mantzioris, R. A. Gibson, C. E. Ramsden, et B. S. Muhlhauser. « A Low Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acid (n-6 PUFA) Diet Increases Omega-3 (n-3) Long Chain PUFA Status in Plasma Phospholipids in Humans ». *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids* 90, n° 4 (avril 2014): 133-38.



27

## Le profil en acides gras

### Acides Gras Erythrocytaires



28

## Les lipides : en pratique dans l'assiette

### LIMITER

- Apports excessifs en :
  - **Acides gras saturés à longue chaîne**
  - **Acides gras trans**
  - **Oméga 6 de type arachidonique**

*Ex : matières grasses laitières, viennoiseries et pâtisseries, biscuits, plats industriels, viandes issues d'élevages intensifs, etc.*
- **Acides gras polyinsaturés oxydés**
- **Fritures**

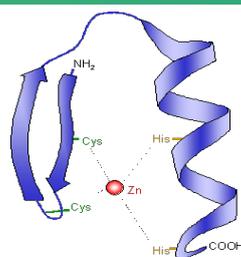
### FAVORISER

- **Les apports en acides gras oméga 3 :**
  - Minimum 1 cuillère à soupe d'huile d'olive et 1 à 2 de colza (noix, lin, cameline : attention à l'oxydation) : crue, d'origine biologique 1<sup>ère</sup> pression à froid
  - Des noix chaque jour (6 à 10)
  - 1 à 2 portions de petits poissons gras/semaine (harengs, maquereaux, sardines...)
  - Avocat : 1 à 2 fois/semaine (choix éthique ?)
- **Les produits de la filière Bleu-blanc-cœur**
- **Les cuissons à faible température**



29

## Les protéines



Structural	Fonctionnel	Energétique	Précurseurs de molécules azotées	Epigénétique
Protéines du cytosquelette Collagène, trame osseuse	Transport Signalisation : hormones, Leucine, Glycine, etc. Moteur (actine, myosine) Immunitaire (anticorps) Catalytique (enzymes)	Précurseur de l'Acétyl-CoA, intermédiaire du cycle de Krebs	Acides nucléiques, polyamines, neuromédiateurs, etc.	Transcription de l'ADN

30

## Les protéines et acides aminés : en pratique dans l'assiette

### LIMITER

- La consommation de viande (porc, bœuf, abats) à une fois par semaine voire tous les 10 jours.
- Les produits animaux issus d'élevage intensif.
- La consommation de gros poissons gras (saumon, thon frais) à une fois tous les 10 jours (maximum).
- La consommation de viandes grillées ou très dorées : production de corps de Maillard et perte de lysine.

### FAVORISER

- La consommation des produits d'origine animale au petit déjeuner et au déjeuner.
- La consommation d'aliments riches en protéines végétales au dîner (légumineuses et/ou céréales complètes).
- Les viandes issues d'élevages extensifs et/ou bio, voire Bleu Blanc Cœur.
- Des petits poissons gras (sardines, maquereaux) 1 à 2 fois par semaine.
- Les cuissons à basse température.
- La diversité des sources de protéines consommées.
- Une bonne mastication (première étape de la digestion).

Recherche d'anabolisme : consommer des protéines (avec glucides) en post effort et/ou en collation



31

## Concentrations en électrolytes

Electrolytes	Concentration (mmol/l)		
	Sueur	Plasma	Intracellulaire
<b>Sodium (+)</b>	20 - 80	130 - 155	10
<b>Potassium (+)</b>	4 - 8	3.2 - 5.5	150
Calcium (+)	0 - 1	2.1 - 2.9	0
Magnesium (+)	< 0.2	0.7 - 1.5	15
Chloride (-)	20 - 60	96 - 110	8
Bicarbonate (-)	0 - 35	23 - 28	10
Phosphate (-)	0.1 - 0.2	0.7 - 1.6	65
Sulfate (-)	0.1 - 2.0	0.3 - 0.9	10

Oxford Textbook of Sports Medicine, 1996



32

## Déshydratation à l'effort

### Hémoconcentration, souvent constatée lors d'exercices de longue durée et/ou pratiqués en ambiance chaude :

- Augmentation de la viscosité
- Diminution de la fonction d'épuration
- Altération des échanges thermiques avec le tissu cutané
- Difficulté à assurer la perfusion avec les muscles actifs
- Mauvais fonctionnement de la pompe cardiaque
- Augmentation de l'ischémie mésentérique

**Table 4** Physiological mechanisms potentially contributing to impaired exercise performance in warm-hot environments

System	Examples of mechanisms
Cardiovascular	Blood pressure, blood flow to brain and skeletal muscles, oxygen delivery and metabolite removal
Central nervous system and neurobiological	Cerebral metabolism, neurotransmitter levels, temperature
Peripheral muscular factors	Temperature, metabolic, afferent feedback
Psychological	Thermal comfort, rating of perceived exertion, motivation and expectations
Respiration	Hypocapnia, alkalosis, breathing sensations

Sawka, M.N., Cheuvront, S.N. & Kenefick, R.W. Hypohydration and Human Performance: Impact of Environment and Physiological Mechanisms. *Sports Med* 45, 51–60 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0395-7>



33

## Hyperhydratation à l'effort

- La teneur corporelle en eau diminue plus vite que la teneur corporelle en sodium => Augmentation de la natrémie.
- Les cellules vont alors absorber de l'eau afin de rétablir l'homéostasie => œdème cellulaire.
- Toute hyponatrémie est donc impossible, sauf si... :
  - Les apports sont supérieurs aux besoins
  - Les boissons sont insuffisamment dosées en sodium
  - Les pertes sodiques sont importantes
  - Inadaptation hormonale (maintien d'une sécrétion d'ADH trop importante) : effort > 60% VO<sub>2</sub>max, chaleur, lyse musculaire
- **Hyperhydratation (2%)** : œdèmes, crampes, nausées, vomissements, maux de tête, confusion, perte de connaissance, voire mort.
- 30% des triathlètes seraient concernés par un excès d'hydratation (marathon de Boston, 2002 : deux décès).
- Des athlètes souffrant de collapsus peuvent ne pas être plus déshydratés que les autres.

Hoffman MD, Stuempefle KJ. Is Sodium Supplementation Necessary to Avoid Dehydration During Prolonged Exercise in the Heat? *J Strength Cond Res*. 2016 Mar;30(3):615-20.

Almond CS, Shin AV, Fortescue EB, Mannix RC, Wypij D, Binstadt BA, Duncan CN, Olson DP, Salerno AE, Newburger JW, Greenes

Hoffman MD, Stuempefle KJ, Rogers IR, Weschler LB, Hew-Butler T. Hyponatremia in the 2009 161-km Western States Endurance Run. *Int J Sports Physiol Perform*. 2012 Mar;7(1):6-10.

Charley J, Cianca J, Divine J. Risk factors for exercise-associated hyponatremia in non-elite marathon runners. *Clin J Sport Med*. 2007 Nov;17(6):471-7.

Noakes TD. Waterlogged: the serious problem of overhydration in endurance sports. *Human Kinetics*, 2012.

Noakes TD, Sharwood K, Speedy D, Hew T, Reid S, Dugas J, et al. Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia: evidence from 2135 weighed competitive athletic performances. *Proc Natl Acad Sci* 2005;102:18550-5

Holtzhausen LM, Noakes TD, Kroning B, de Klerk M, Roberts M, Emsley R. Clinical and biochemical characteristics of collapsed ultra-marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1095-101.



34

## Risques d'hyperhydratation

- Effort de plus de 4 h.
- Sportifs lents prenant le temps de s'arrêter et de boire à tous les ravitaillements.
- Sportifs peu expérimentés, l'entraînement permettant de « mieux » transpirer et de diminuer les pertes en sodium par la transpiration.
- Sportifs de petit poids (une même quantité de boisson diluera plus rapidement).
- Femmes (poids plus bas, plus consciencieuses).
- Athlètes buvant plus de 1.5 l d'eau par heure.
- Prise d'anti-inflammatoires non stéroïdiens, aspirine, ibuprofène.
- Conditions environnementales (chaleur humide)
- Courses avec ravitaillements fréquents.

=> **Boire selon sa soif**

Costa, Ricardo J. S., Beat Knechtle, Mark Tarnopolsky, et Martin D. Hoffman. « Nutrition for Ultramarathon Running: Trail, Track, and Road ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29, n° 2 (1 mars 2019): 130-40.



35

## Principaux critères de choix d'une boisson énergétique

- **Palatabilité**
- **Osmolarité** : 270 à 330 mOsm/litre
- **Minéraux** : nature et quantités adaptées pour compenser les pertes sudorales
  - Na<sup>+</sup> : 20 mmol/l (460 mg/l) à 50 mmol/l (1150 mg/l)
  - Autres minéraux, intérêt minimes (Potassium, Magnésium (pertes jusqu'à 50mg/j), Zinc)
- **BCAA** : uniquement si prise >1g/h et effort > 6h
- **Energie à assimilation** progressive : maltodextrines, sucres rapides (dextrose, saccharose), fructose : 0,5 à 0,8 g / min.  
Ratio glucose:fructose 2:1

(1) De Ataide e Silva T, Di Cavalcanti Alves de Souza ME, de Amorim JF, Stathis CG, Leandro CG, Lima-Silva AE. Can carbohydrate mouth rinse improve performance during exercise? A systematic review. *Nutrients*. 2013 Dec 19;6(1):1-10.

(2) Jeukendrup AE. Oral carbohydrate rinse: placebo or beneficial? *Curr Sports Med Rep*. 2013 Jul-Aug;12(4):222-7.

(3) Stevens CJ, Thoseby B, Sculley DV, Callister R, Taylor L, Dascombe BJ. Running performance and thermal sensation in the heat are improved with menthol mouth rinse but not ice slurry ingestion. *Scand J Med Sci Sports*. 2016 Oct;26(10):1209-16.



36

## Nutrition et sports d'endurance

### Objectifs de l'alimentation au cours de la semaine précédant une compétition

- Optimisation des réserves de glycogène musculaire (600g, soit 2% des réserves énergétiques lipidiques)
- Maintien d'une hydratation adaptée
- Garantir un confort digestif
- Un athlète de 70 kg courant 80 km (10h) dépensera en moyenne 4845 kcal vs 9861 kcal sur une épreuve de 160 km (25h), soit  $277\text{--}395 \text{ Kcal}\cdot\text{h}^{-1}$  ou  $47.8\text{--}71.7 \text{ Kcal}\cdot\text{km}^{-1}$  (1). Les coureurs élités parviennent à consommer en moyenne 333 kcal/h (sur la base de 16 courses de 100 miles), alors que les coureurs consommant moins de 200 kcal/h avaient tendance à abandonner plus facilement<sup>2</sup>.

### Intérêt d'une périodisation de la stratégie nutritionnelle :

- **1ere phase (J-7 à J-5)** : déplétion partielle du glycogène musculaire
- **2eme phase (J-4 à J-2)** : surcompensation - hydratation
- **3eme phase (J-2 à J0)** : maintien des niveaux de glycogène et optimisation du confort digestif

1. Applegate EA. Nutritional considerations for ultraendurance performance. *Int J Sport Nutr.* 1991 Jun;1(2):118-26. doi: 10.1123/ijsn.1.2.118. PMID: 1844990.  
 2. Stellingwerff, Trent. « Competition Nutrition Practices of Elite Ultramarathon Runners ». *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 26, n° 1 (février 2016): 93-99. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0030>.



37

## Période précompétitive

### J-8 à J-5 (efforts d'une durée > 4h) : réduire modérément les réserves glycogéniques

- **Réduction des apports en glucides d'environ 1/3 : 4 g / kg poids corporel / j**  
 ⇒ Réduction des apports glucidiques au cours de chaque repas ou 1 repas protido-lipidique sans glucides :
  - Entrée à base de légumes ou protéines
  - Plat : protéines + légumes
  - Dessert : produit laitier toléré
- **Maintien du modèle alimentaire « Santé » :**
  - Huiles riches en AGPI (oméga 3)
  - Végétaux frais +++
  - Alimentation normoprotéique

### J-5 (dernier entraînement) : fenêtre métabolique



38

## Période précompétitive

### J-4 à J-2 : Optimiser son statut en glycogène tout en maintenant une alimentation Santé :

- Mise en réserve de 80 % du glycogène musculaire en 24h
- Augmentation des apports glucidiques d'un-tiers jusqu'à J-2
- Maintien des apports protéiques et lipidiques
- Importance de l'hydratation pour favoriser la mise en réserve du glycogène : boire au minimum 2 à 2,5L / jour.

### J-2 à J-1 : Retour à une alimentation normoglycémique et d'épargne intestinale

- A adapter en fonction de la sensibilité intestinale de l'athlète, voire envisager un régime pauvre en FODMAP (jusqu'à J-7)

Lait, graisses cuites, fruits et légumes à fibres dures ou irritantes : poivrons, oignons, choux, tomates avec peau, concombre, salsifis, ail, épices fortes...  
produits céréaliers complets, légumineuses



39

## Période précompétitive

### Exemple de repas de veille de course :

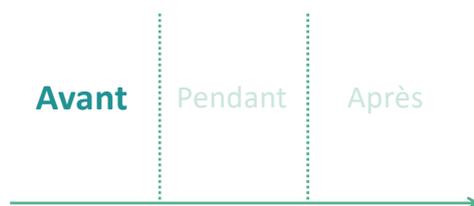
- **Légumes d'épargne intestinale**
- **Protéines animales** : 80 à 100g poisson, volaille
- **Produits céréaliers + corps gras cru**
- **Facultatif** : laitage fermenté toléré
- **Fruit** (épargne intestinale) et/ou dessert glucidique

#### Exemple :

- Carottes râpées aux noix, raisins et huile de colza
- Blanc de volaille, riz basmati et dès de courgettes épépinées
- Fruit bien mur toléré ou compote



40



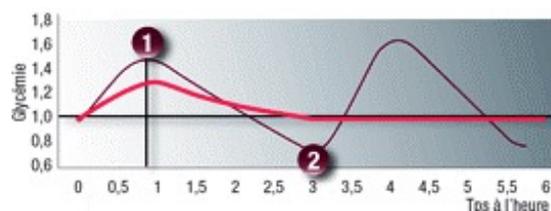
## L'alimentation avant l'effort



41

## Le jour de l'épreuve

- Assurer un confort digestif maximal
- Optimiser les apports hydro-électrolytiques et énergétiques sans variation importante de la glycémie
- Préserver l'intégrité musculaire



42

## Le repas avant-épreuve

### Objectifs :

- Compenser les dépenses énergétiques de la nuit
- Maintenir une hydratation optimale
- Optimiser le confort digestif
- Débuter la course sans sensation de faim

### Petit déjeuner classique (terminé 3h mini. avant l'effort) :

- Pain (campagne, de seigle, au levain) ou muesli : sans gluten ?
- Miel/beurre, purée d'amandes
- Selon habitudes alimentaires : 1 œuf coque, 1 yaourt végétal
- Facultatif : banane bien mûre ou compote

### Thé, infusion, eau



43

## La ration d'attente

### Objectifs :

- Maintenir le niveau de glycogène hépatique
- Eviter les sécrétions importantes d'insuline (diminution de la mobilisation des réserves de glycogène et de d'acides gras adipocytaires)

### En pratique :

- 6 à 8 ml / kg poids corporel (environ 500 ml) 2 à 3h avant le début de l'effort pour hydrater l'organism
- Un verre d'eau (150 à 300 ml) 15min avant le début de l'effort, voire la boisson de l'effort
- Caféine ?



44



## L'alimentation pendant l'effort



45

### Programme nutritionnel pour un 10 km

- **Approche dissociée** : aucune (vigilance sur les apports glucidiques)
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard (attention apports lipidiques)
- **Ration attente** : eau
- **Pendant la course** : aucun apport
- **Récupération** : modèle standard sans surcompensation glycogénique



46

## Programme nutritionnel pour un semi-marathon

- **Approche dissociée** : à partir de J-4
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard
- **Ration attente** : eau +/- fructose
- **Pendant la course** : +/- boisson énergétique si chrono > 1h30 (1 à 2 gorgées ou ½ pâte de fruits toutes les 30min)
- **Récupération** : modèle standard



47

## Programme nutritionnel pour un marathon

- **Approche dissociée** : complète
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard
- **Ration attente** : eau +/- fructose
- **Pendant la course** :
  - Boisson énergétique : prises régulières, à adapter selon la sensation de soif (+éventuellement 1 pâte de fruits à mi-course si effort > 4h)
  - Ou ½ pâte de fruits toutes les 30min + 1 à 2 gorgées d'eau au ravitaillement et si faible transpiration
- **Récupération** : modèle standard + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24h.



48

## Programme nutritionnel pour un trail

- **Approche dissociée** : complète
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard
- **Ration attente** : eau +/- fructose
- **Pendant la course** :
  - Boisson énergétique dès le début : prises régulières, à adapter selon la sensation de soif
  - Solide : 1 pâte de fruits ou ½ banane bien mûre ou ½ compote ou 1 barre amandes (selon tolérance) toutes les 35/40min avec 1 gorgée d'eau si effort > 4h.
- **Récupération** : modèle standard + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24h.



49

## Programme nutritionnel pour un Ultra-trail

- **Approche dissociée** : complète
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard avec petit déjeuner protéique
- **Ration attente** : eau
- **Pendant la course** :
  - Boisson énergétique (avec BCAA et 5 à 10% de protéines) : prises régulières, à adapter selon la sensation de soif (si besoin neutre ou salée pour alterner). Attention à la teneur en sodium.
  - Solide : toutes les 35/40min, 1 pâte de fruits ou ½ banane bien mûre ou ½ compote ou 1 barre d'amandes. Eventuellement ½ barre énergétique avec 10 à 15% de protéines (avec 1 gorgée d'eau) toutes les 2h.
  - Salé : 1 boulette de riz ou 30g patate douce ou pomme de terre avec max. 1 gorgée d'eau toutes les 3 à 4h. Noix de cajou salées : 3 à 4 max. selon sensibilité intestinale. Selon ravitaillement : potage, assiette de riz et max 30g jambon ou volaille.
  - Coca : uniquement en cas de besoin psychologique.
- **Récupération** : modèle standard + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24h.



50

## Programme nutritionnel pour un triathlon

- **Approche dissociée** : à partir de J-4 (uniquement M)
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard
- **Ration attente** : eau +/- fructose
- **Pendant la course** :
  - **S** : rien ou eau
  - **M** : Se rincer la bouche avec de l'eau dans le parc. boisson énergétique sur le vélo toutes les 15min ou pâte de fruits 5min avant transition vélo/CàP, eau en CàP selon chaleur
  - **L ou Half** : Se rincer la bouche avec de l'eau dans le parc. 1 à 2 gorgées de boisson énergétique dès le début du vélo toutes les 10min + 1 pâte de fruits ou amandes tous les 20 km (avec eau au ravitaillement). Eventuellement barre plus consistante à mi-parcours.
  - CàP : boisson énergétique toutes les 10min ou à défaut eau + pâte de fruits tous les 5km.
- **Récupération** : modèle standard (S ou M). Half ou L : + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24h.



51

## Programme nutritionnel pour un Ironman

- **Approche dissociée** : à partir de J-4
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard (2h avant le départ max.)
- **Ration attente** : eau
- **Pendant la course** :
  - **Natation** : rien (en théorie...)
  - **Vélo : dès le début**, boisson énergétique par prises régulières, à adapter selon la sensation de soif. Se rincer la bouche avec de l'eau dans le parc. Solides : pâte de fruits ou barre amandes ou compote tous les 15/20 km + barre plus consistante toutes les 2h (5-10% protéines, 40g) ou éventuellement à mi-course 1 sandwich adapté ou boulettes de riz ou morceaux pomme de terre salée.
  - + bidon d'eau ou utiliser les ravitaillements (attention insolation).
  - CàP : boisson énergétique ou à défaut eau (+ pâte de fruits tous les 5km).
- **Récupération** : modèle standard + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24 à 48h.



52

## Programme nutritionnel pour une épreuve cycliste

- **Approche dissociée** : complète (si durée > 4h, sinon à partir de J-5)
- **Optimisation du confort digestif de J-2 à J0** : selon sensibilité individuelle
- **Jour de l'épreuve** : modèle standard
- **Ration attente** : eau +/- fructose
- **Pendant la course** :
  - Boisson énergétique dès le début : 1 à 2 gorgées toutes les 10/15min (+ bidon eau)
  - Solide, si efforts > 3h : 1 pâte de fruits ou ½ banane bien mûre ou ½ compote ou 1 barre amandes (selon tolérance) toutes les 35/40min avec 1 gorgée d'eau.
  - Salé (efforts > 5h) : Eventuellement à mi-course 1 sandwich adapté ou boulettes de riz ou morceaux pomme de terre salée.
- **Récupération** : modèle standard + boisson récupération au coucher + protéines au petit déjeuner et hydratation pendant 24h.



53

## Principaux objectifs de la ration de récupération

- Restaurer le statut hydro-électrolytique et glycoligénique : profiter de la **fenêtre métabolique**
- Réduire les risques de blessures et optimiser la récupération musculaire
- Epargner le système digestif
- Tamponner les acides produits au cours de l'effort
- Contrôler l'inflammation
- Se faire plaisir !



54