

L'INTESTIN, MOTEUR CACHÉ DU PELOTON : SCIENCE ET PRATIQUE DU **GUT TRAINING**



RAMPAL Mathéo - OLAISOLA Alix - FLACHOT Émile - GUILLEMAND Victor
M2 EOPS - Nutrition - Rennes II

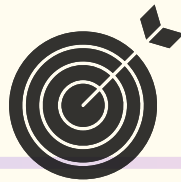
1. 1 - Mise en contexte

Sport à dominante **aérobie**

- Très gros **volume** d'entraînement (15-30h/semaine)
- Compétitions :
 - Sur plusieurs jours (Tour de France)
 - Sur un jour, effort >4h (Paris-Roubaix)
- **Nutrition omniprésente → Grosse demande de glucides**



1.2 - Une problématique :

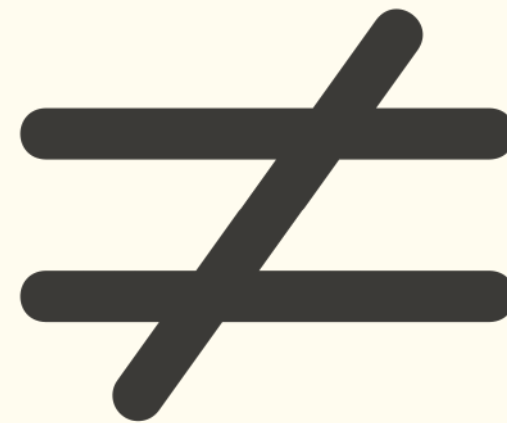


Théorie :

Apport de 60-90g+/**heure** de glucide
durant l'effort long (cyclisme)



Jekendrup, 2017



Pratique :

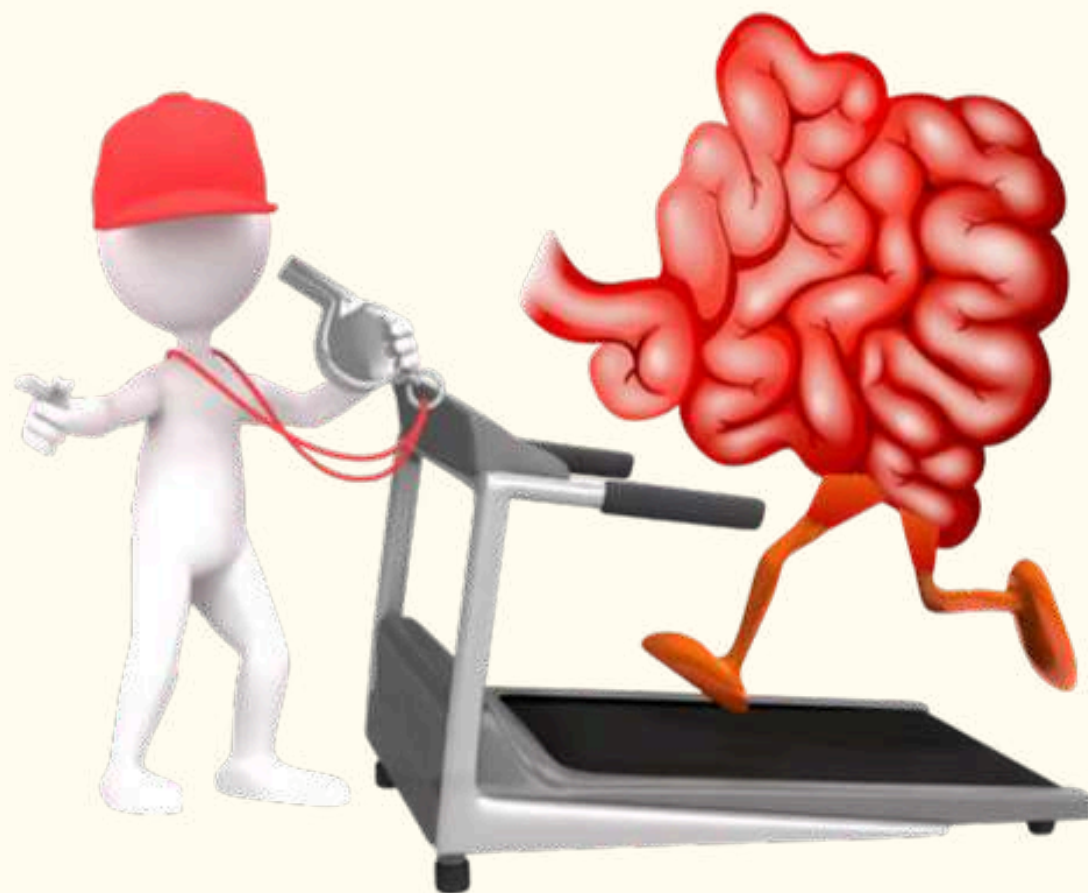
30 à 50% des athlètes d'endurance ->
troubles digestifs lors de l'exercice.



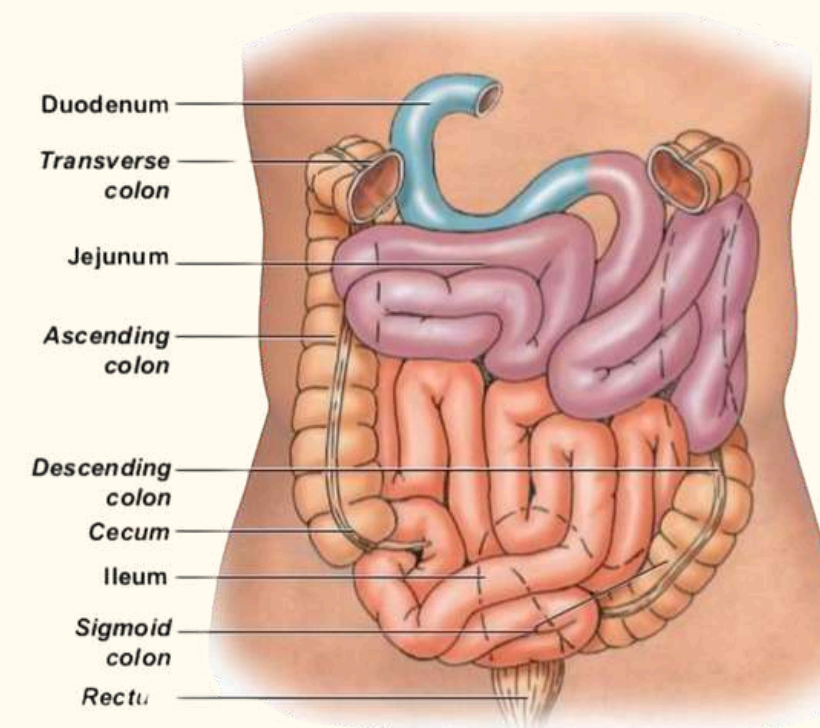
Oliveira & al, 2014

1. 3 - Notions importantes:

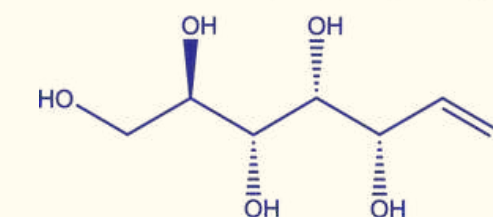
GUT TRAINING



- 1** Amélioration de la vidange gastrique
- 2** Amélioration de l'absorption intestinale
- 3** Amélioration du confort gastrique
- 4** Réduction des problèmes gastro-intestinaux (GI)



Glucose (C₆H₁₂O₆)



Jekendrup., Training the Gut for Athletes Sport Medicine 2017

1. 4 - Enjeux de la présentation:

1

Comprendre : Physiologie digestive à l'effort

2

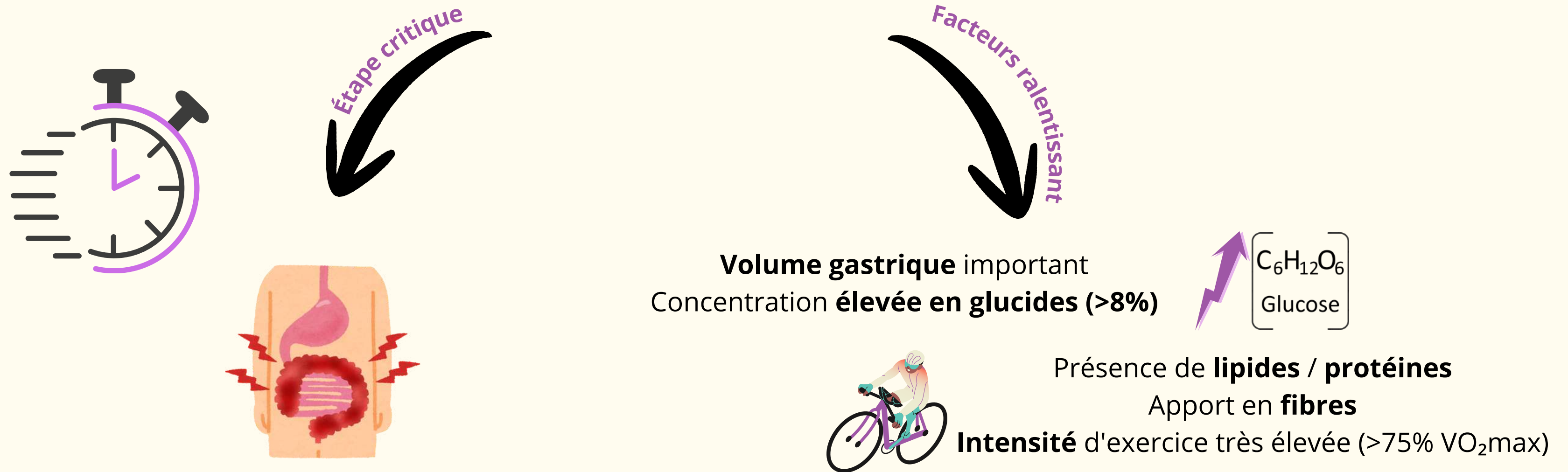
Comment : Adapter et entraîner le système digestif

3

Recommandations pratiques : Oui ? Non ? Quand ? Comment ?

2.1 Comment le corps utilise les glucides à l'effort

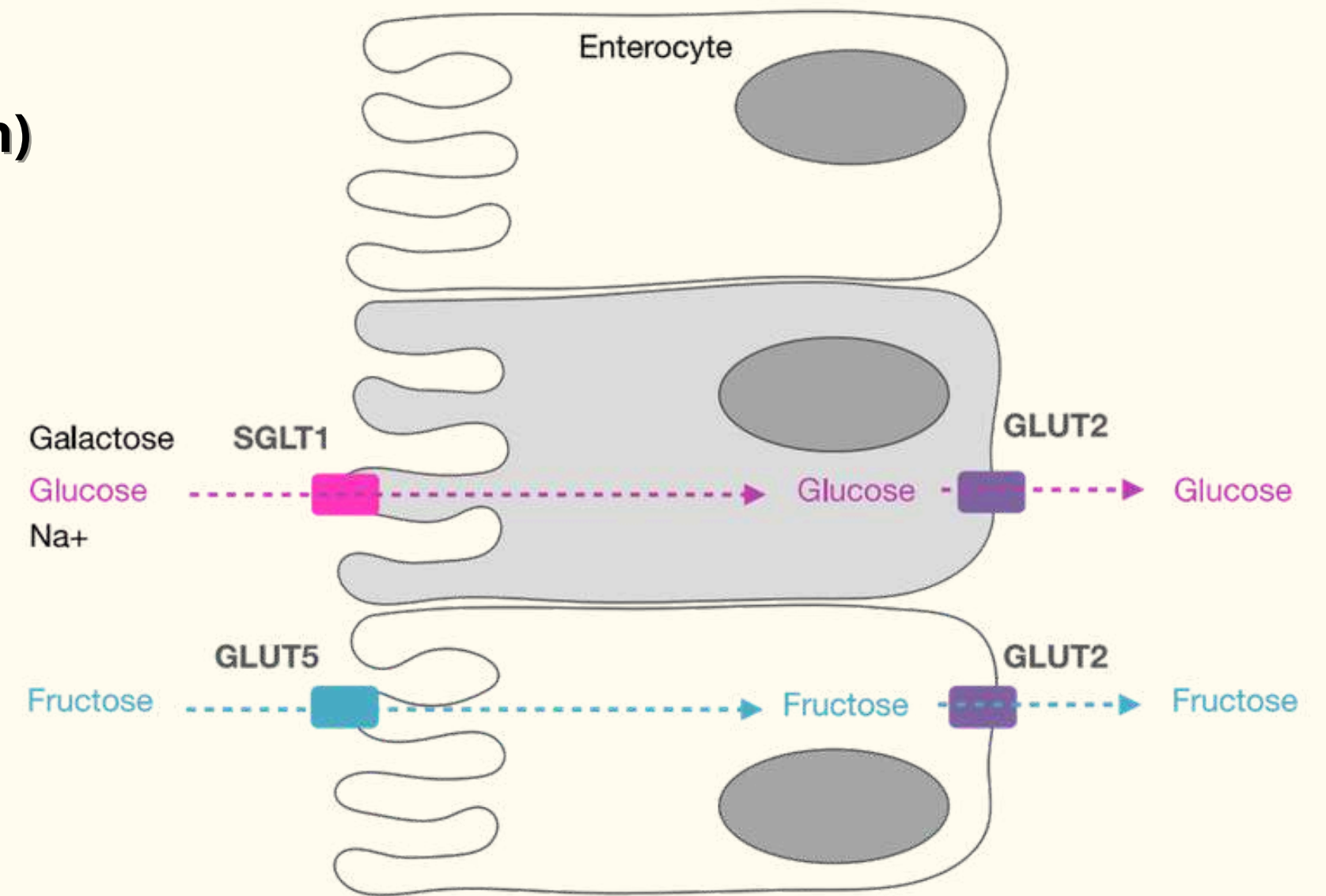
La vidange gastrique = processus par lequel les aliments/boissons ingérés quittent **l'estomac** pour entrer dans **l'intestin grêle**.



2.1 Comment le corps utilise les glucides à l'effort

- ① De la lumière intestinale (l'intérieur de l'intestin)
- ② L'entérocyte, entrée côté apical
- ③ Sortie côté basolatéral, pour rejoindre la circulation sanguine

Fig. Absorption du glucose et du fructose: Le glucose et le fructose passent de la lumière intestinale vers la circulation en traversant l'entérocyte via des transporteurs différents



Tiré de Asker E. Jeukendrup en 2017

2.1 Comment le corps utilise les glucides à l'effort

SGLT1

- **Principal** transporteur
- **60 g/h** pour le glucose seul
- transporteur du glucose dépendant du sodium

Dobbins RL et al., 2015

GLUT5

- Transporteur **spécifique** du **fructose**
- Permet l'augmentation des apports totaux **au-delà de 60 g/h**
- Vite **saturé** pour le fructose (donc 15-30/h)

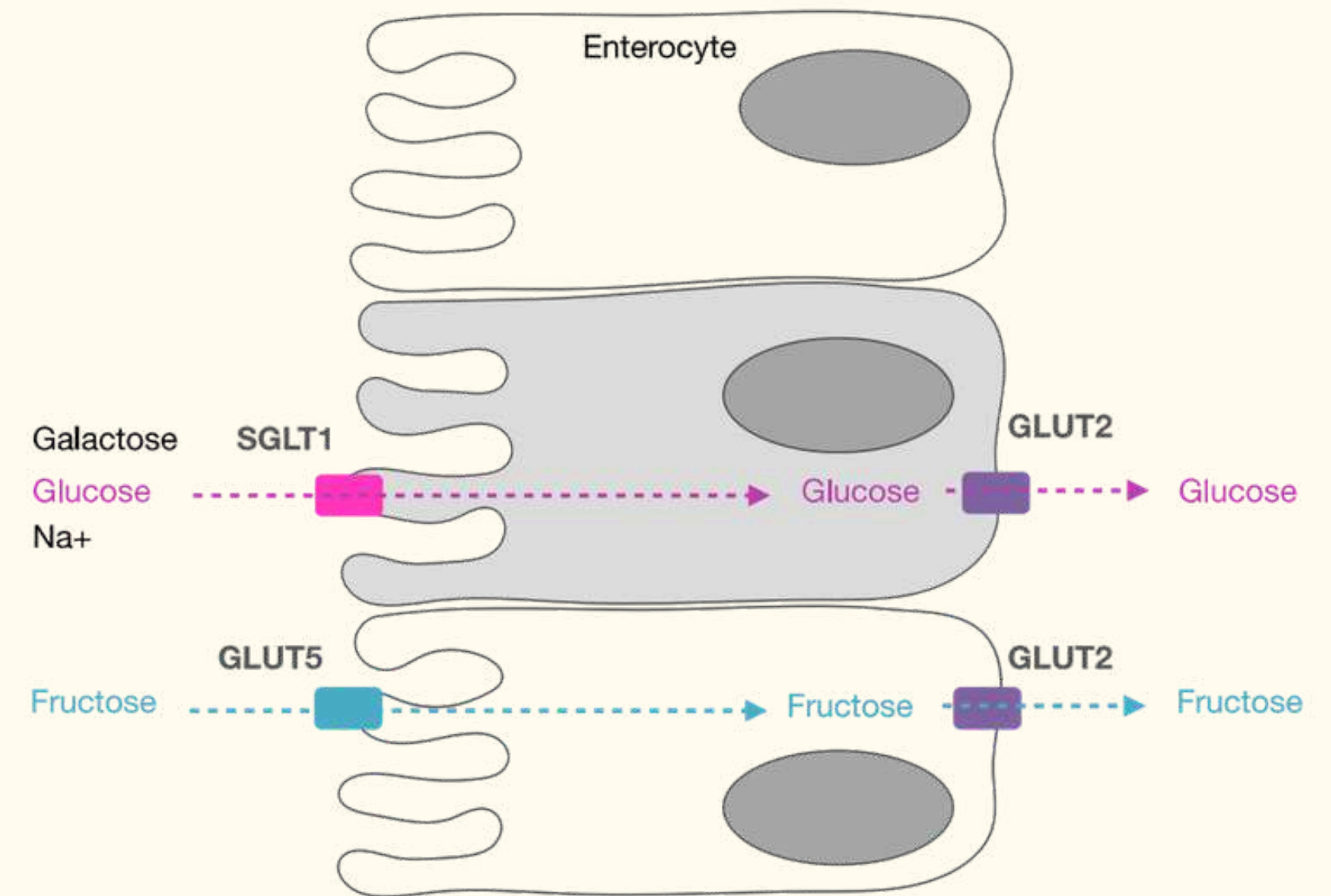
Jeukendrup, 2017

GLUT2

- Gradient de concentration est considérée comme **très élevée**.

Jeukendrup, 2017

Fig. Absorption du glucose et du fructose: Le glucose et le fructose passent de la lumière intestinale vers la circulation en traversant l'entérocyte via des transporteurs différents

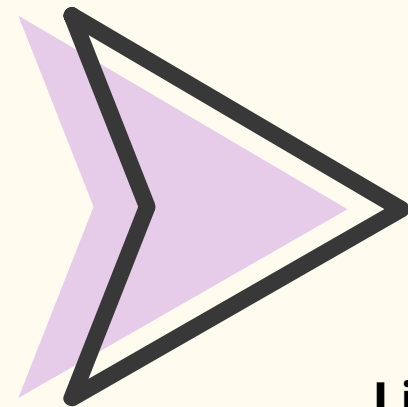


Tiré de Asker E. Jeukendrup en 2017

2.2 Pourquoi le cyclisme met à rude épreuve le système GI



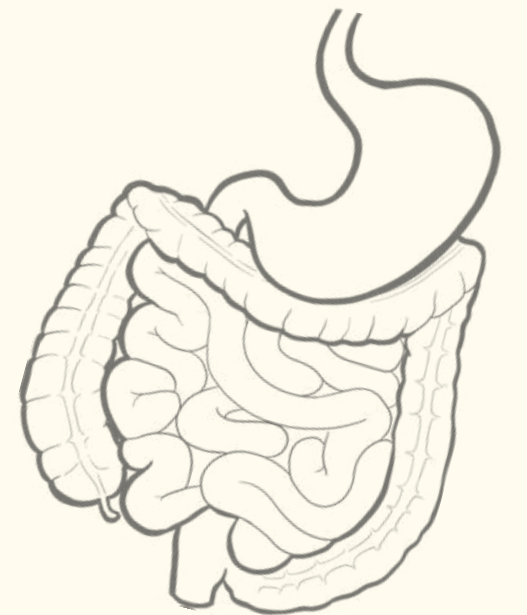
Redistribution du flux sanguin



Le flux sanguin splanchnique (viscéral) peut **diminuer de 60-80%**
Prado de Oliveira., 2014

Hypoperfusion relative voire d'ischémie intestinale
van Wijck et al., 2012

Liée la **vasoconstriction** splanchnique, médiée par le système nerveux sympathique qui redirige le sang vers les **muscles actifs**, le cœur et la peau
Rowell, 1974



2.2 Pourquoi le cyclisme met à rude épreuve le système GI

Déshydratation

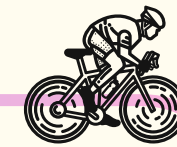
*Exercice intensité élevée = \uparrow Production de chaleur métabolique =
Transpiration importante (eau + électrolytes perdus) = Volume sanguin \downarrow*

Effet 1 : Réduction Débit Cardiaque



\downarrow Volume sanguin
 \downarrow Retour veineux
 \downarrow Débit cardiaque
= Organisme essaie compenser : \uparrow FC

Effet 2: GI est délaissé encore plus



Sang disponible \downarrow
Redistribution ++ vers muscles actifs
pour maintenir performance
Flux splanchnique \downarrow davantage

3.1 Les adaptations : La vidange gastrique

Design

- 7 volontaires
- 2 régimes (standard vs +440 g/j glucose)
- Mesure : vidange gastrique glucose/fructose

Résultats

- Vidange accélérée pour le régime haut en glucose :
 - Glucose T50 : 106 vs 82 min
 - Fructose T50 : 106 vs 73 min

**Vidange gastrique plus rapide après
supplémentation court terme en glucose**

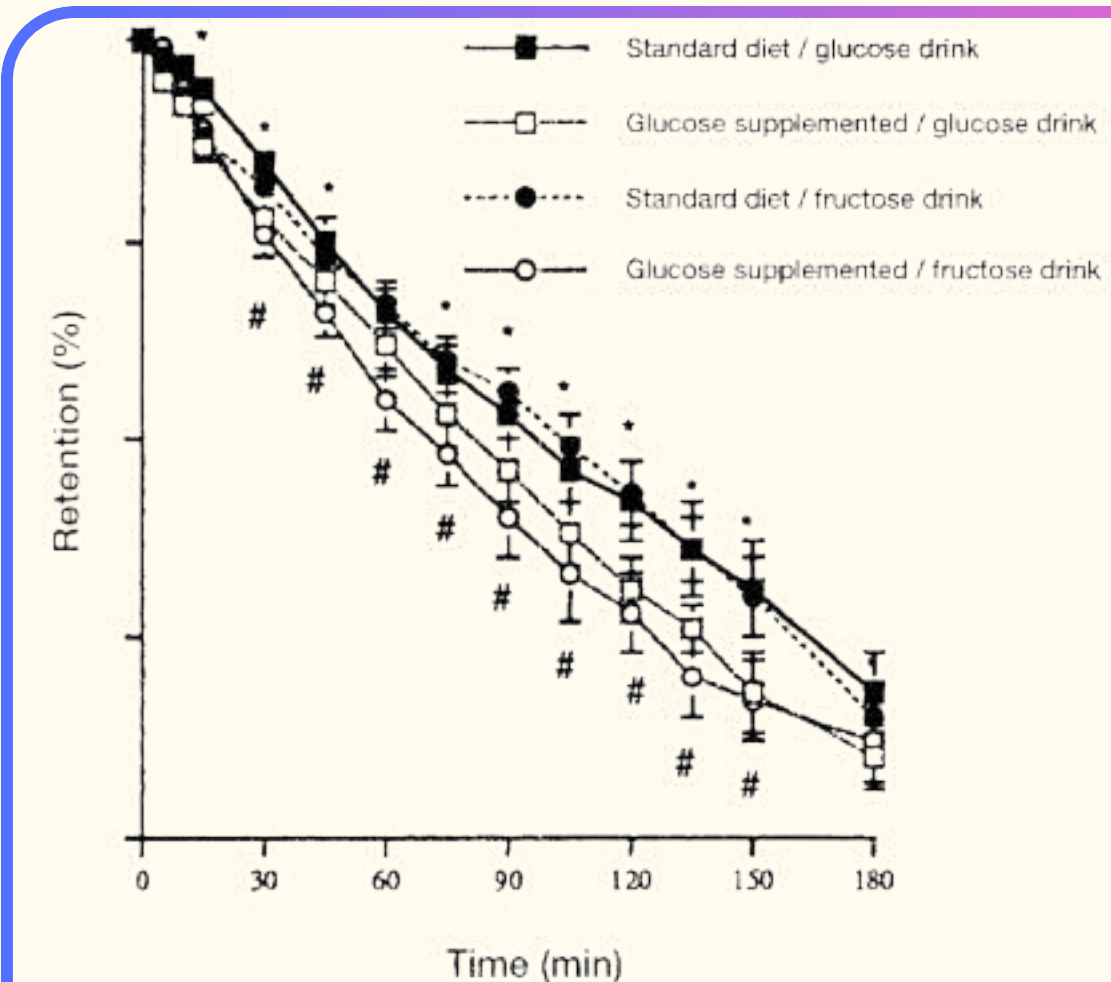


Fig. 1. Gastric emptying of 350 ml water containing 75 g of glucose or fructose measured on a 'standard' diet and during dietary supplementation with 440 g glucose/day. Gastric emptying of glucose and fructose were both faster ($p < 0.05$) on the glucose-supplemented diet. * $p < 0.05$ glucose vs glucose; # fructose vs fructose



3.2 Les adaptations : Les transporteurs

Design

- 16 cyclistes entraînés divisés en 2 groupes (8,5g/kg/j vs. 5,3g/kg/j)
- 28 jours d'intervention + entraînement (16h/semaine)

Résultats

- Test avant/après avec solution glucidique + traceurs isotopiques
- ↑ Oxydation des glucides exogènes dans le groupe "haut glucides"
→ +17%, $p < 0.01$



Upregulation des transporteurs SGLT1 ?

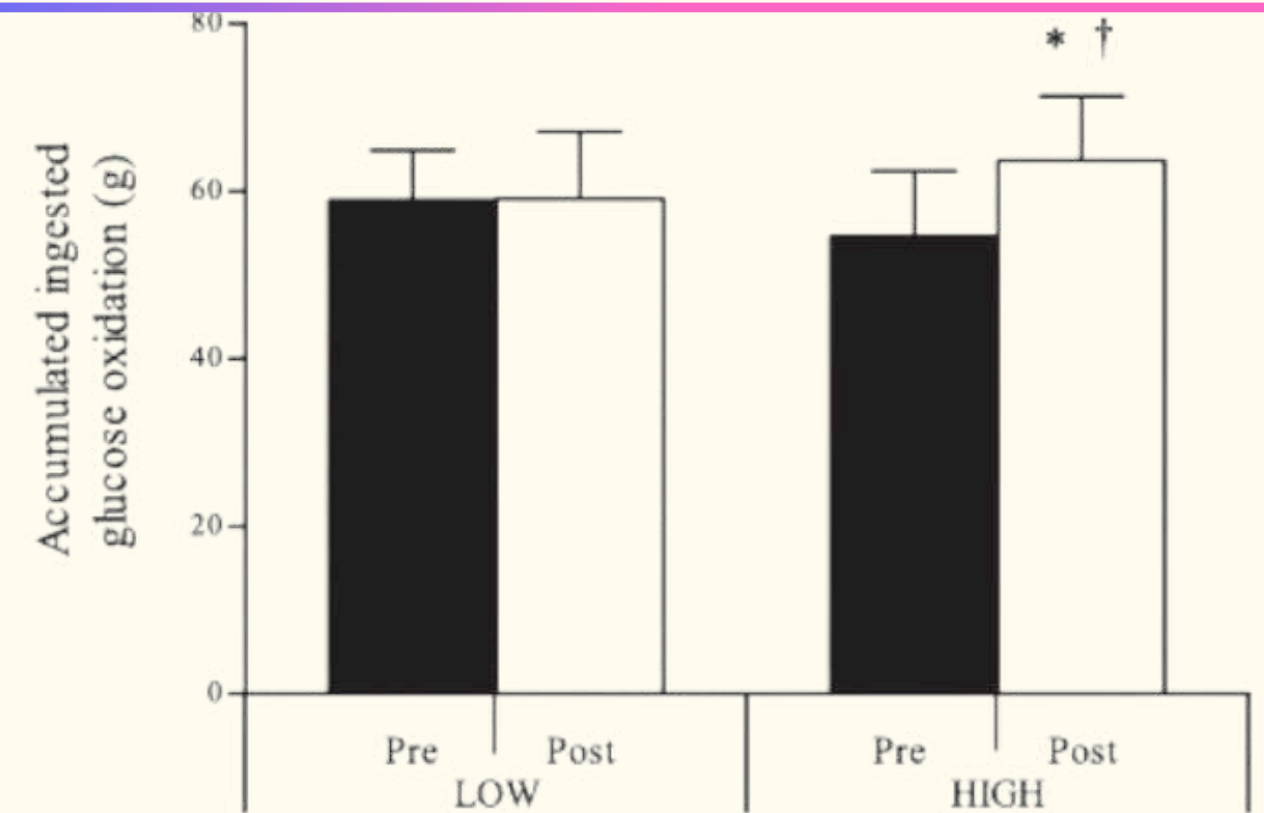


Fig. 4. Accumulated exogenous glucose oxidation before and after the 28-day diet and training intervention period. Values are means \pm SD. *Significantly different from before the intervention period ($P < 0.01$); †significantly different compared with Low group after training ($P < 0.05$).



3.2 Les adaptations : Les transporteurs

T1R2 et T1R3

Récepteurs sensibles au glucose

GLP et GIP

Se lient à leurs récepteur GLP-2R

cAMP

Augmentation de sa concentration

SGLT1 +++

Améliore l'absorption de glucose
exogène



Bien étudié chez l'animal encore peu chez l'homme !



A. Jeukendrup : Training the gut for athletes (2017)

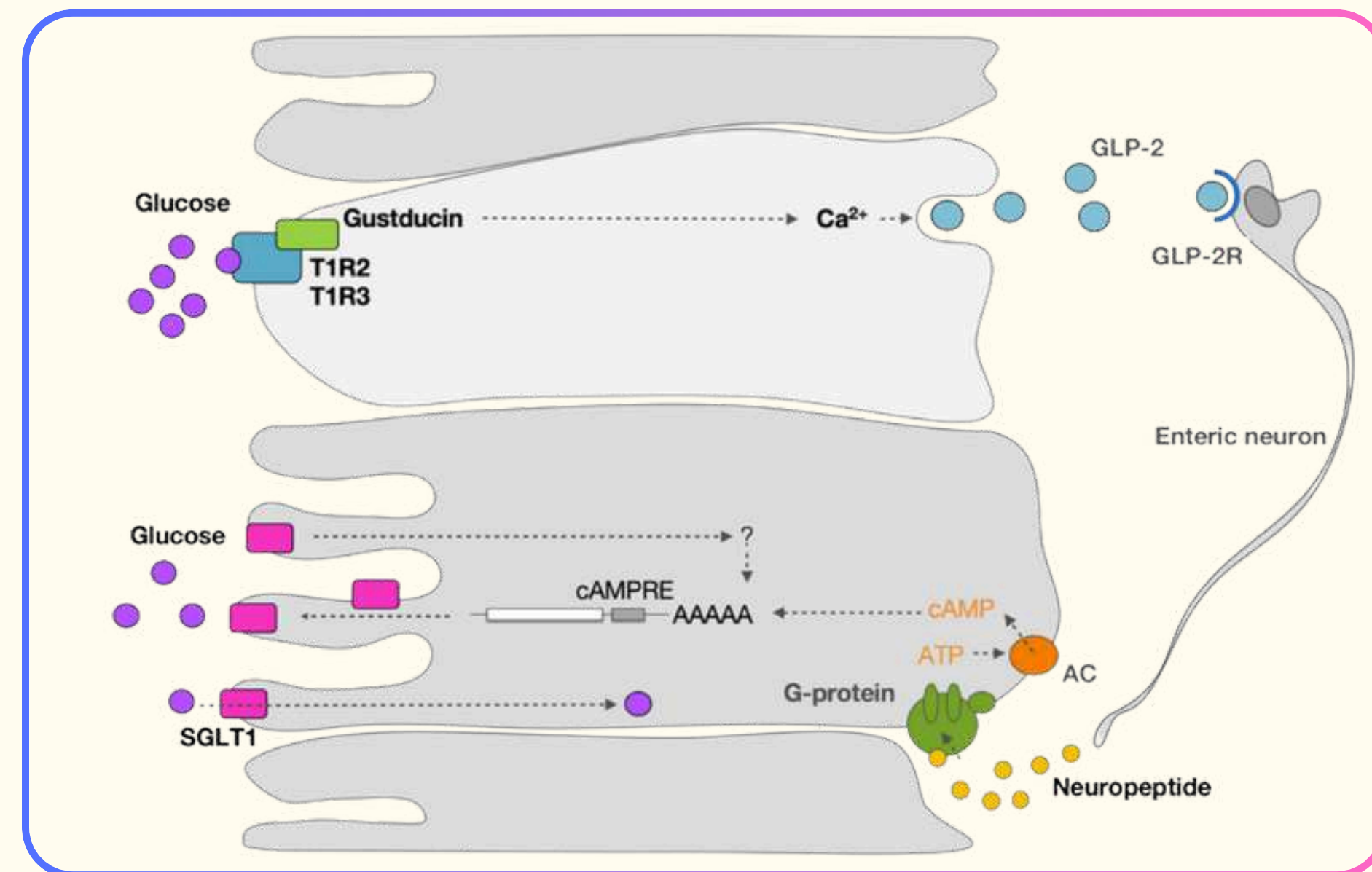


Fig. Mécanisme proposé pour l'augmentation du transporteur glucose-sodium dépendant 1 (SGLT1). A. Jeukendrup (2017)

3.3 Les adaptations : Extension gastrique et tolérance

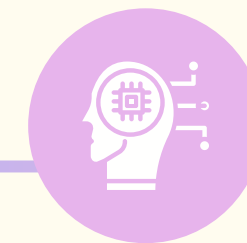


Extension de la capacité gastrique

Mangeurs de l'extrême :

- S'entraîne progressivement à manger des quantités excessives de nourriture
- **L'estomac peut s'étendre** et contenir davantage de nourriture
- Un estomac plein est mieux toléré et est moins perçu comme "trop plein".

A.Jeukendrup (2017)

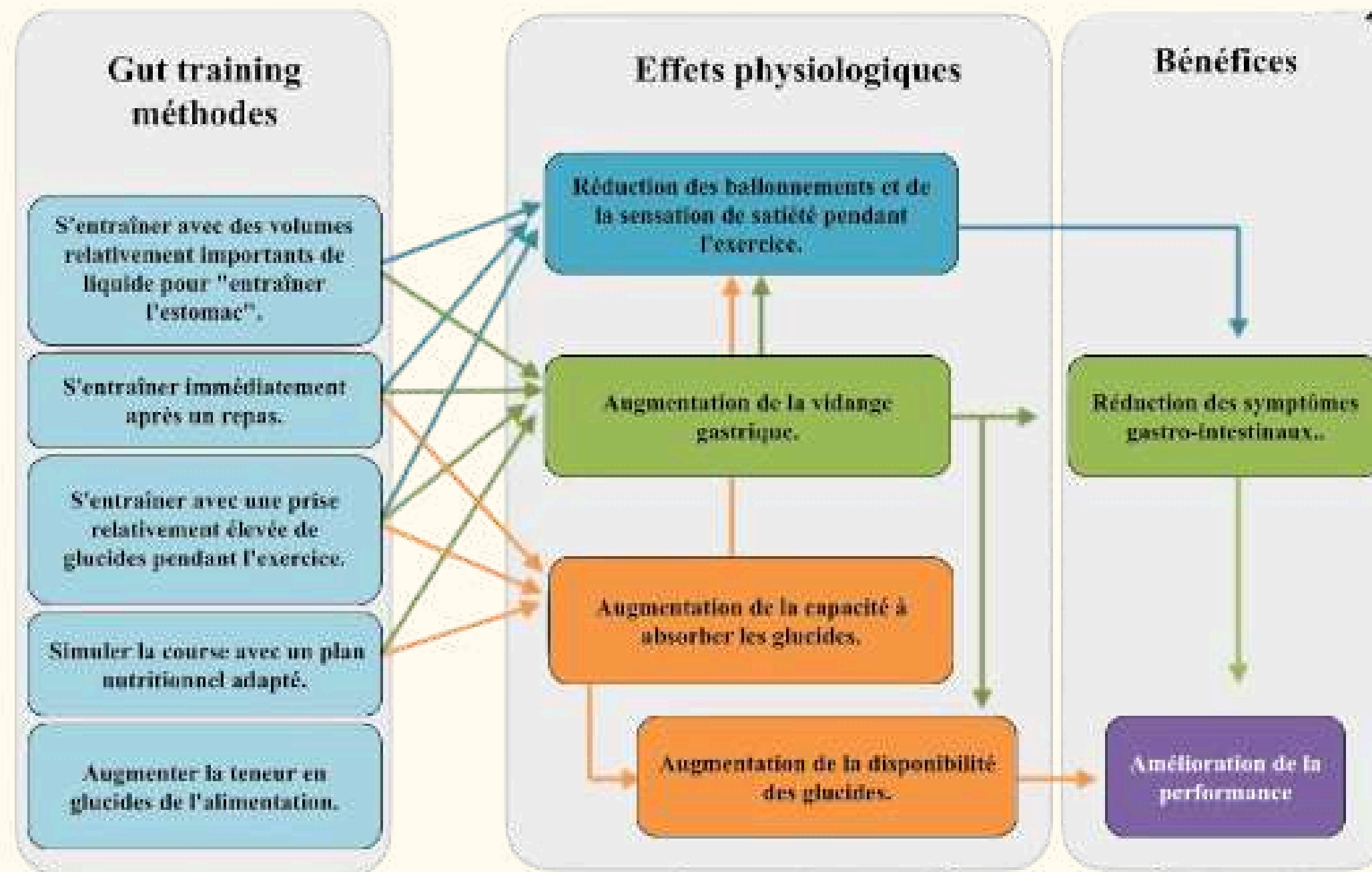


Amélioration de la perception

Lambert et al. (2008):

- Coureurs entraînés ingérant des volumes élevés pendant 90 min de course
- Confort gastrique significativement amélioré au fil des sessions
- **Meilleure tolérance perceptive**

3.4 Les adaptations : Conclusion



Tiré de A.Jeukendrup (2017)

4.1 Spécificité du public: cyclistes féminines

Influence du cycle menstruel sur le système gastro-intestinal (Wald et al. 1981) ; (Gill et al. 1987)



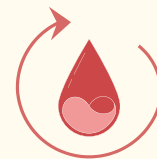
Transit intestinal + lent
phase lutéale (sem 3-4)



Progestérone élevé, ↓
mobilité intestinale



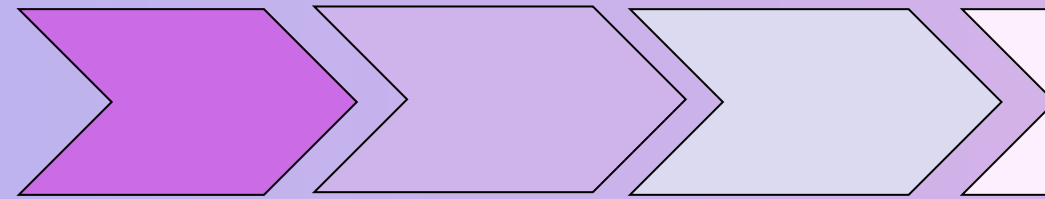
Vidange gastrique + lente
phase lutéale



Symptômes gastro-
intestinaux liés au cycle

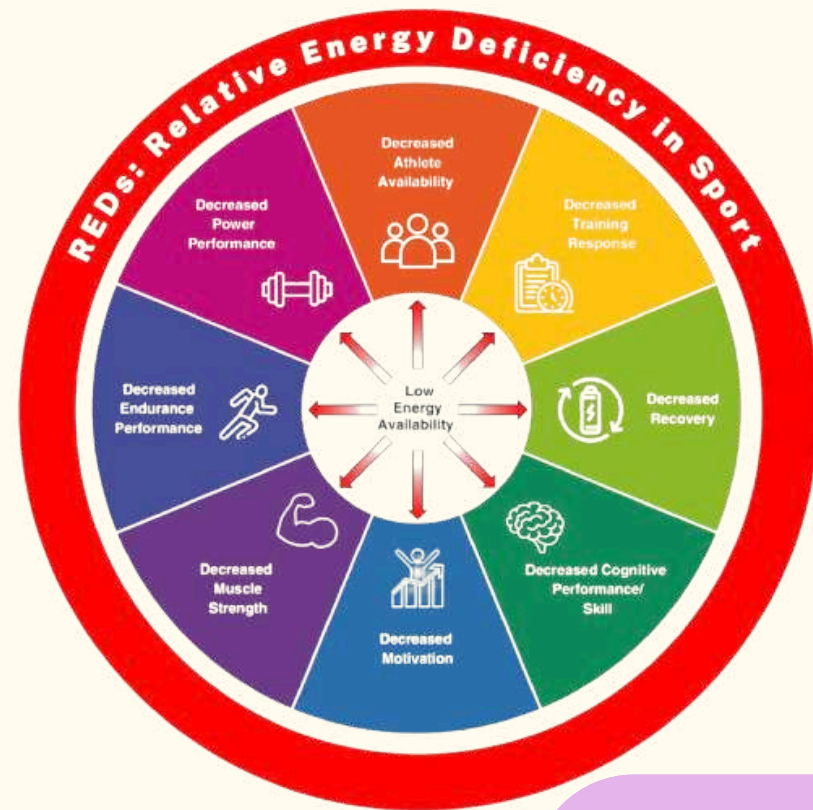
Recommandations

- Semaines “haute charge digestive”
→ **phase folliculaire (sem 1-2)**
- Éviter les tests 100–120 g/h en phase lutéale
- Ajuster textures & volumes selon la période du cycle (lutéale = + liquide)



4.1 Spécificité du public: cyclistes féminines

Prévalence accrue du RED-S chez les athlètes féminines :
conséquences digestives (Pugh et al. 2021)



RED-S → **Athlètes féminines**

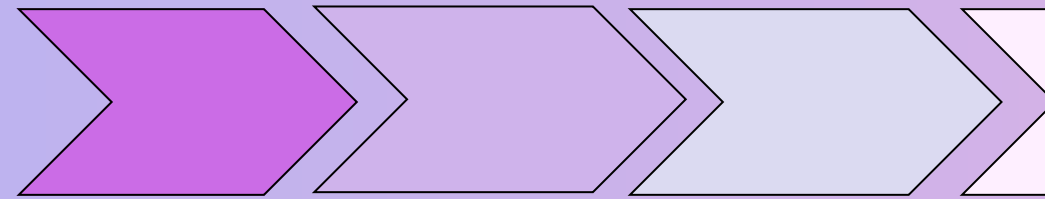
Syndrome provoqué par un **déficit chronique entre l'énergie consommée + l'énergie dépensée**

→ **Entraine:**

Altération de la fonction gastro-intestinale et une sensibilité accrue aux troubles GI

Recommandations

- Éviter le gut training → athlètes **déficit énergétique**
- Vérifier l'**énergie pré-entraînement**
- Progresser lentement en cas de risque RED-S
- **Formes digestes** quand l'énergie est basse (boissons 6-8%)



4.1 Spécificité du public: cyclistes féminines

Influence du mode de déplacement : cyclisme
(Rehrer, N.J. & Meijer, G.A. 1991)

Mécanique & tolérance

- vibrations abdominales en cyclisme qu'en course à pied
- meilleure tolérance aux solides & volumes

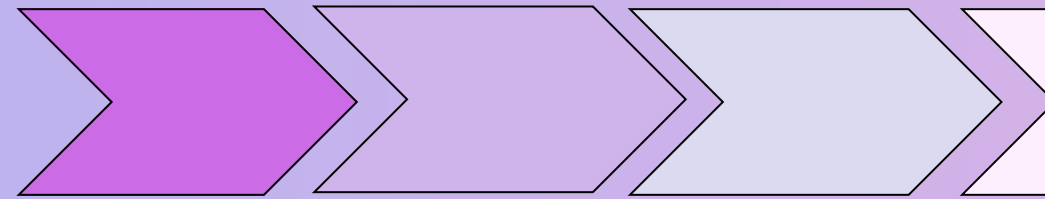
→ **tester + facilement des apports élevés et des aliments denses en course**

Logistique et réalisme de l'apport

soutien logistique = atteindre & maintenir des apports élevés

Multi-étapes et répétition

courses à étapes = répétabilité
gut-training = tester la répétition quotidienne → **éviter l'accumulation de symptômes**



4.2 Quand mettre en place le gut training ?

(Jeukendrup 2017) (Martinez et al. 2023)

Délais d'adaptation différents selon les mécanismes

3-7 jours

Premières adaptations

- vidange gastrique
- stimulation des transporteurs

3-4 semaines

Consolidation

- tolérance aux très hauts apports

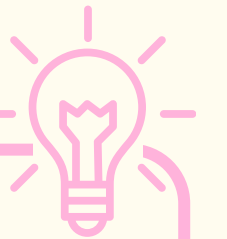
2 semaines

Réduction des symptômes et de la malabsorption

4-6 semaines

Seuil optimal pour les athlètes élités

À retenir



Réponses les plus nettes
apparaissent après 2 semaines
minimum d'**exposition**
répétée à de hauts apports
glucidiques

4.2 Quand mettre en place le gut training ?

(Jeukendrup 2017) (Martinez et al. 2023)

PROGRAMMATION IDÉALE



4 à 6 semaines

avant les compétitions clés

Ce délai permet

- **↑ des apports**
- intégration de séances simulant l'intensité + conditions de course
- éviter le **stress digestif** proche de la compétition



2 à 3 séances

par semaine avec ingestion ciblée

- gut training fonctionne avec la **répétition**, pas l'exposition ponctuelle
- **séances structurées** pour tester
 - volume gastrique
 - débit glucidique
 - tolérance à ≠ formats

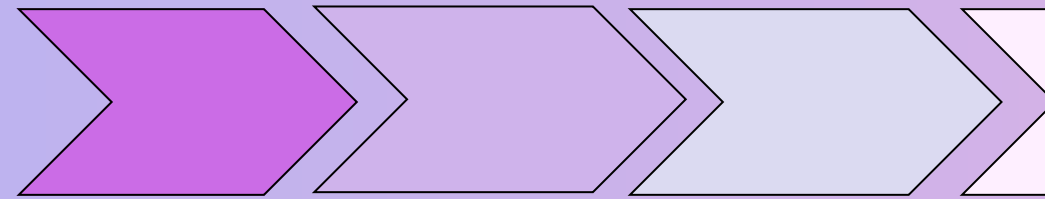


Simuler

les conditions de course

Chaleur ↑ :

- ischémie intestinale + stress sur la barrière digestive
- **entraînement en chaleur + ingestion progressive:**
 - adaptations + robustes



4.3 Comment : protocole détaillé pour une équipe féminine de cyclisme



Semaine 1-2

**PHASE
D'HABITUATION**
tolérance & volume

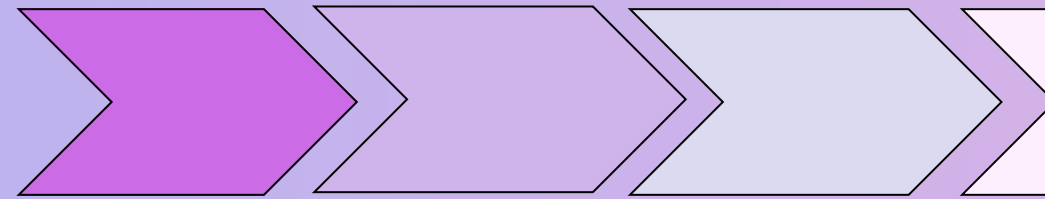
Objectifs

Habituer le tube digestif à recevoir des apports réguliers, en travaillant la tolérance aux textures + volumes

Stress GI ↑ lors d'apport glucidique élevé chez un intestin non entraîné = **phase d'habituat**ion nécessaire

Contenu

- Apports de **60-70 g/h** sur les sorties ≥ 2 h
- Altern



4.3 Comment : protocole détaillé pour une équipe féminine de cyclisme



Semaine 3-4

PHASE
D'AUGMENTATION

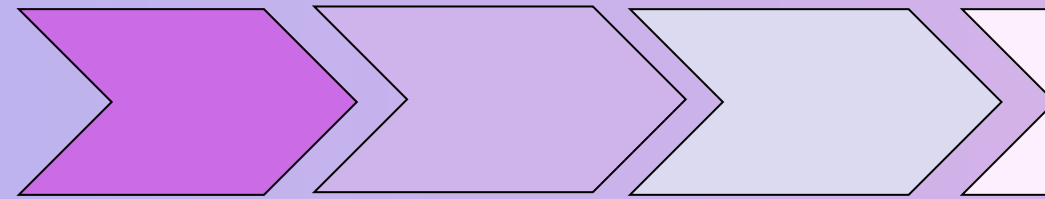
90 g/h – bi-transporteurs

Objectifs

Activer les adaptations
intestinales liées aux
transporteurs de glucose
(SGLT1) et de fructose
(GLUT5)

Contenu

- **Glucides multiples transporteurs** pour atteindre 90 g/h
- **1 simulation de course** → 2 à 4 h/ semaine
- + tester les textures + volumes
- Maintien **apport hydrique suffisant**
- Introduction d'une **séance en chaleur**



4.3 Comment : protocole détaillé pour une équipe féminine de cyclisme



Semaine 5-6

PHASE
D'OPTIMISATION

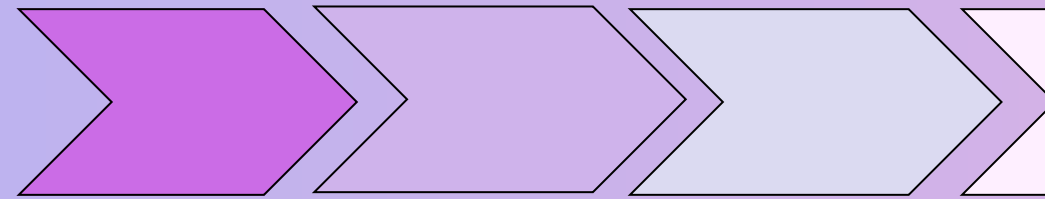
90-120 g/h

Objectifs

Atteindre les apports cibles
de compétition et consolider
les adaptations

Contenu

- Atteinte de **90 à 120 g/h** selon tolérance
- **2 séances intenses** semaine avec apport systématique
- Test final des produits exacts utilisés en compétition
- **Ajustement du timing** : fractionnement (10-15min)



4.3 Comment : protocole détaillé pour une équipe féminine de cyclisme



JourJ

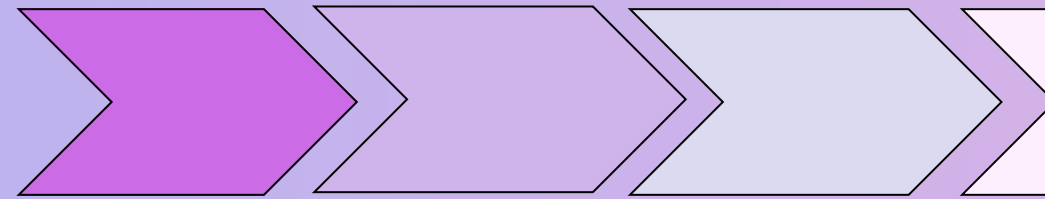
STRATÉGIE
STABILISÉE

Objectifs

Reproduire exactement le
plan testé

Contenu

- Apports cibles : **90–120 g/h** selon athlète, en glucose+fructose
- **Hydratation conforme** aux tests
- Produits identiques à ceux validés en S6
- Aucune nouveauté: ni gel, ni boisson, ni protocole différent
- Répartition toutes les 10–15 minutes



Exemple concret pour nos cyclistes:

Rapport : 2:1 (Glucose / Fructose)

Raison : ratio idéal pour maximiser l'apport énergétique à l'effort, permettant de saturer SGLT1 tout en utilisant efficacement GLUT5.
Un ratio de 1:0,8 peut-être intéressant mais pour une consommation de glucide total plus faible.



2 gels énergétiques

30g par gel à 1:0,8 de
ratio

Boisson d'effort

500ml avec 30g de
maltodextrine



63g glucose



27g fructose

CONCLUSION : Le Gut Training

OUI ? NON ?



POURQUOI ?

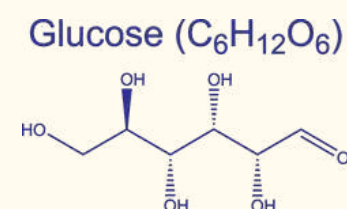
QUAND ? COMMENT ?

LIMITES ?

Le GUT TRAINING : Oui ? ou Non ?

Pourquoi le faire ?

Oui !



Optimiser l'absorption des glucides pendant l'effort



Réduire le risque de **troubles** digestifs en compétition



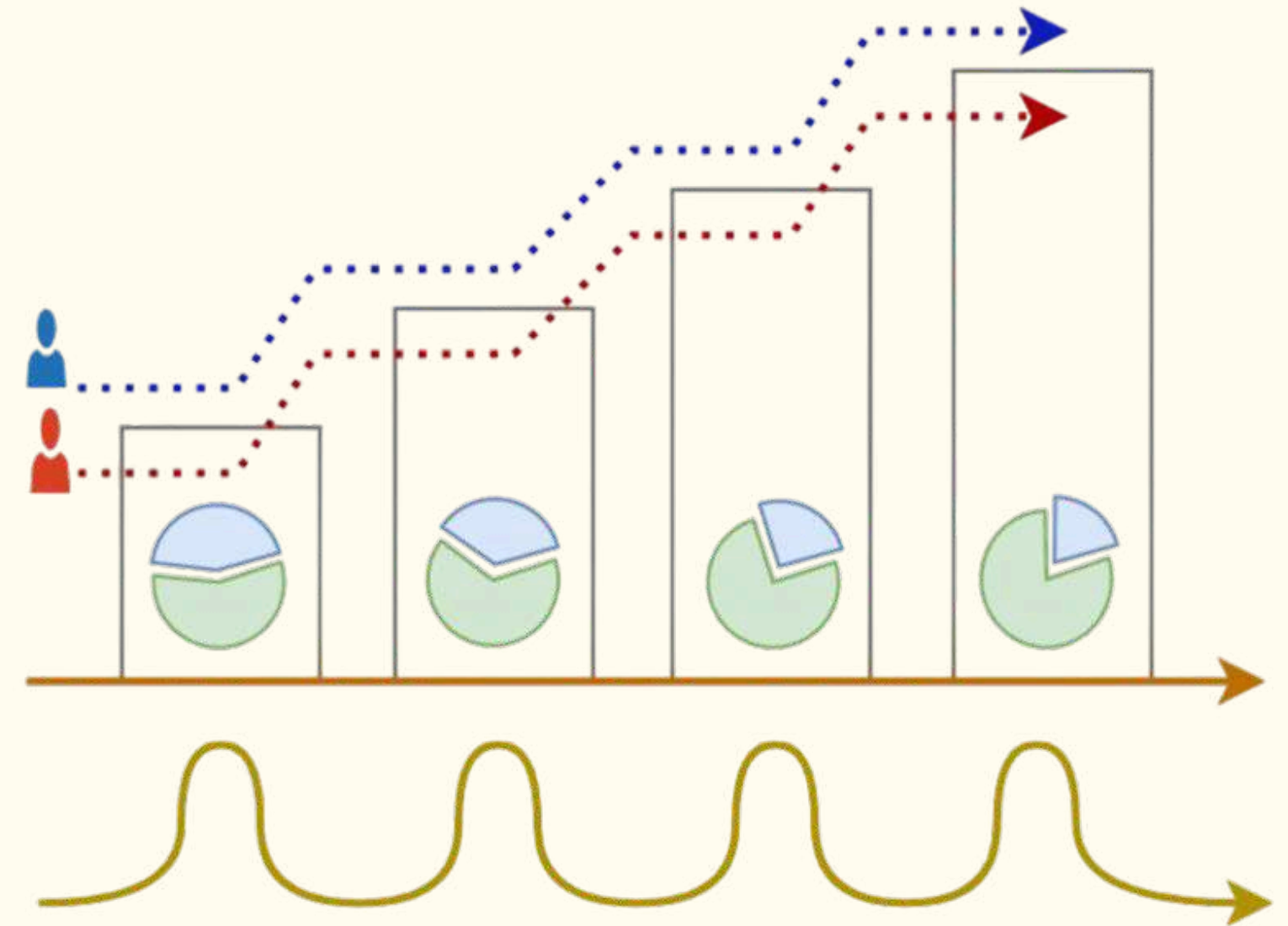
Le **GUT TRAINING**, à haut niveau, sur des efforts longs
→ **Pas un** choix, mais un véritable **pilier de la performance**

Comment le faire ?

Principes de l'entraînement :

Progressivité / Spécificité
Individualisation / Continuité
Régularité

(S.Morin)



(S.Morin)

Limites / Danger ?



Lionel SANDERS, ancien triathlète professionnel

Le **GUT TRAINING**, outil **ponctuel** de performance
Pas une norme alimentaire **permanente** et **habituelle**

Alqudah, M., Al-Shboul, O., Al-Dwairi, A., Al-U´ Dat, D. G., & Alqudah, A. (2022). Progesterone Inhibitory Role on Gastrointestinal Motility. *Physiological Research*, 71(2), 193-198. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934824>

Cox, G. R., Clark, S. A., Cox, A. J., Halson, S. L., Hargreaves, M., Hawley, J. A., Jeacocke, N., Snow, R. J., Yeo, W. K., & Burke, L. M. (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 109(1), 126–134. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00950.2009>

De Oliveira, E. P., Burini, R. C., & Jeukendrup, A. (2014). Gastrointestinal Complaints During Exercise: Prevalence, Etiology, and Nutritional Recommendations. *Sports Medicine*, 44(S1), 79–85. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0153-2>

Gill, R., Murphy, P., Hooper, H., Bowes, K., & Kingma, Y. (1987). Effect of the Menstrual Cycle on Gastric Emptying. *Digestion*, 36(3), 168-174. <https://doi.org/10.1159/000199414>

Jeukendrup, A. E. (2017). Training the Gut for Athletes. *Sports Medicine*, 47(S1), 101–110. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0690-6>

Martinez, I. G., Mika, A. S., Biesiekierski, J. R., & Costa, R. J. S. (2023). The Effect of Gut-Training and Feeding-Challenge on Markers of Gastrointestinal Status in Response to Endurance Exercise : A Systematic Literature Review. *Sports Medicine*, 53(6), 1175-1200. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01841-0>

Moore, J., Barlow, D., Jewell, D., & Kennedy, S. (1998). Do gastrointestinal symptoms vary with the menstrual cycle ? *BJOG An International Journal Of Obstetrics & Gynaecology*, 105(12), 1322-1325. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1998.tb10014.x>

Rehrer, N. J., & Meijer, G. A. (1991). Biomechanical vibration of the abdominal region during running and bicycling. *PubMed*, 31(2), 231-234. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1753730>

Pugh, J. N., Lydon, K. M., O'Donovan, C. M., O'Sullivan, O., & Madigan, S. M. (2021). More than a gut feeling : What is the role of the gastrointestinal tract in female athlete health ? *European Journal Of Sport Science*, 22(5), 755-764. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1921853>

Wald, A., Van Thiel, D. H., Hoechstetter, L., Gavaler, J. S., Egler, K. M., Verm, R., Scott, L., & Lester, R. (1981). Gastrointestinal transit : The effect of the menstrual cycle. *Gastroenterology*, 80(6), 1497-1500. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(81\)90263-8](https://doi.org/10.1016/0016-5085(81)90263-8)

Dobbins RL, Greenway FL, Chen L, et al. Selective sodium- dependent glucose transporter 1 inhibitors block glucose absorption and impair glucose-dependent insulinotropic peptide release. *Am J Physiol*. 2015;308:G946–54

J Physiol. 1995 Jul 15;486(Pt 2):523–531. doi: 10.1113/jphysiol.1995.sp020831 The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. G E Vist 1, R J Maughan 1

The Journal of Physiology logo J Physiol. 1975 Feb;245(1):209–225. doi: 10.1113/jphysiol.1975.sp010841 The volume and energy content of meals as determinants of gastric emptying. J N Hunt, D F Stubbs

Horowitz, M., Cunningham, K. M., Wishart, J. M., Jones, K. L., & Read, N. W. (1996). The effect of short-term dietary supplementation with glucose on gastric emptying of glucose and fructose and oral glucose tolerance in normal subjects. *Diabetologia*, 39(4), 481–486. <https://doi.org/10.1007/BF00400681>

Lambert, G. P., Lang, J., Bull, A., Eckerson, J., Lanspa, S., & O'Brien, J. (2008). Fluid tolerance while running: effect of repeated trials. *International journal of sports medicine*, 29(11), 878–882. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038620>

Dobbins, R. L., Greenway, F. L., Chen, L., et al. (2015). Selective sodium-dependent glucose transporter 1 inhibitors block glucose absorption and impair glucose-dependent insulinotropic peptide release. *American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology*, 308(6), G946–G954.

Leiper, J. B., Broad, N. P., & Maughan, R. J. (2001). Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1270–1276.

Vist, G. E., & Maughan, R. J. (1995). The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *The Journal of Physiology*, 486(2), 523–531. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1995.sp020831>

Hunt, J. N., & Stubbs, D. F. (1975). The volume and energy content of meals as determinants of gastric emptying. *The Journal of Physiology*, 245(1), 209–225. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1975.sp010841>

Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, 54(1), 75–159.

De Oliveira, E. P., & Burini, R. C. (2014). The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54(5), 603–611.

van Wijck, K., Lenaerts, K., van Loon, L. J. C., Peters, W. H. M., Buurman, W. A., & Dejong, C. H. C. (2012). Exercise-induced splanchnic hypoperfusion results in gut dysfunction in healthy men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(9), 1562–1569. (année précisée selon la publication d'origine)

Alqudah, M., Al-Shboul, O., Al-Dwairi, A., Al-U´ Dat, D. G., & Alqudah, A. (2022). Progesterone Inhibitory Role on Gastrointestinal Motility. *Physiological Research*, 71(2), 193-198. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934824>

Cox, G. R., Clark, S. A., Cox, A. J., Halson, S. L., Hargreaves, M., Hawley, J. A., Jeacocke, N., Snow, R. J., Yeo, W. K., & Burke, L. M. (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 109(1), 126–134. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00950.2009>

Leiper, J. B., Broad, N. P., & Maughan, R. J. (2001). Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1270-1276.

MERCI DE VOTRE ÉCOUTE

