

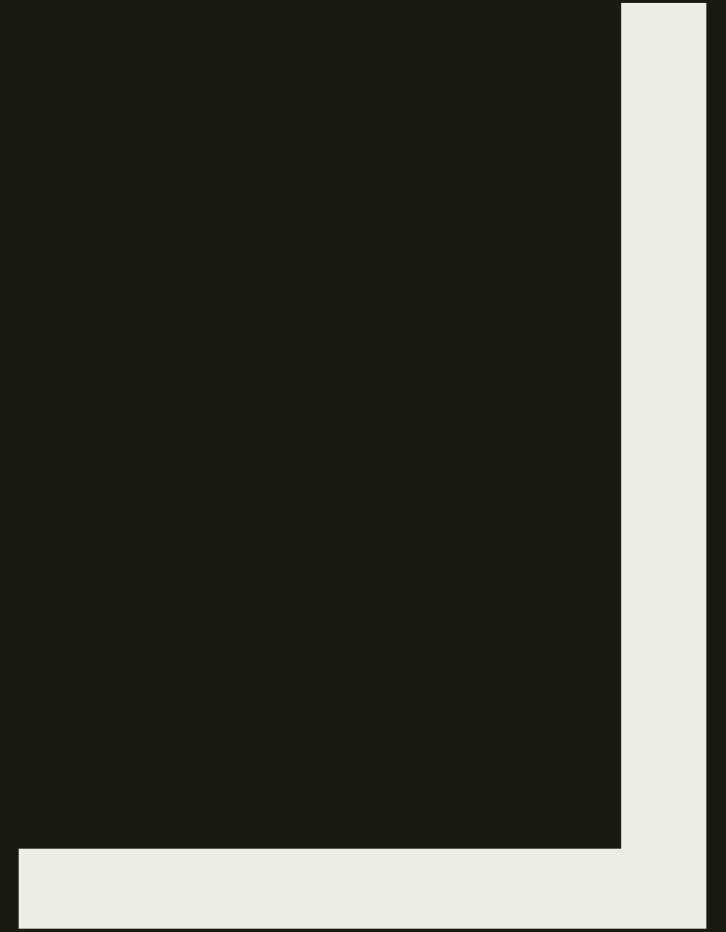
Dermy Lola
Saint-Ouen Maxime

Hulo Corentin
Séjourné Mathieu

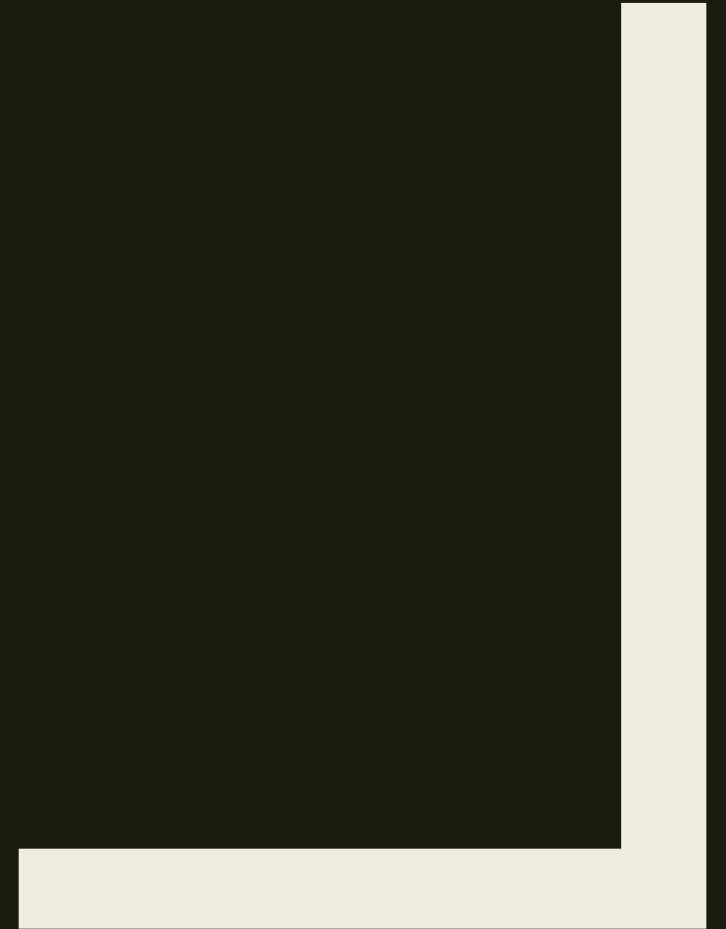


LES CÉTONES POUR GAGNER UN 70.3 ?

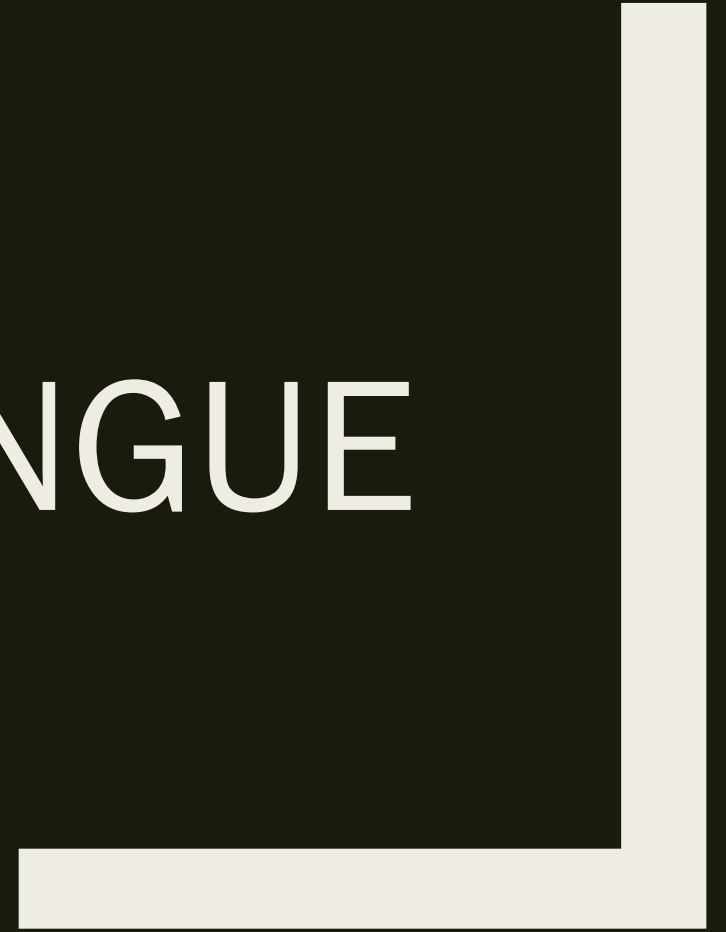
SOMMAIRE



- Le triathlon longue distance
- Que sont les cétones ?
- Comment fonctionnent les cétones ?
- Est-ce que ça marche vraiment ?



LE TRIATHLON LONGUE DISTANCE



Le triathlon longue distance

Distances



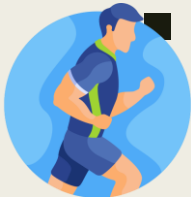
1,9 km de natation

– Env. 20'



90 km de cyclisme

– Env. 2h10



21 km de course à pied

– Env. 1h10

Exigence

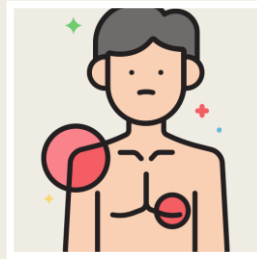
- 3h30 à 4h d'effort continu
- Dénivelé variable
- Env. 4000 kcals dépensées
- Intensité zone 2 (modèle à 3 zones)

Gillum et al., 2006

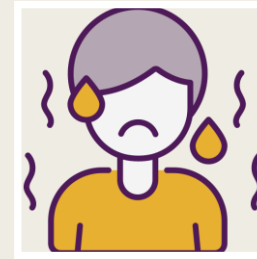
Selles-Perez et al. 2019

Le triathlon longue distance

L'impact de l'épreuve



Augmentation des
leucocytes, CK,
myoglobine, LDH



Diminution de la masse
(déshydratation) : env.
2%



Fatigue nerveuse
centrale

Del Coso et al., 2012

Areces et al., 2025

Comment gagner une course ?

Ce qui peut faire gagner

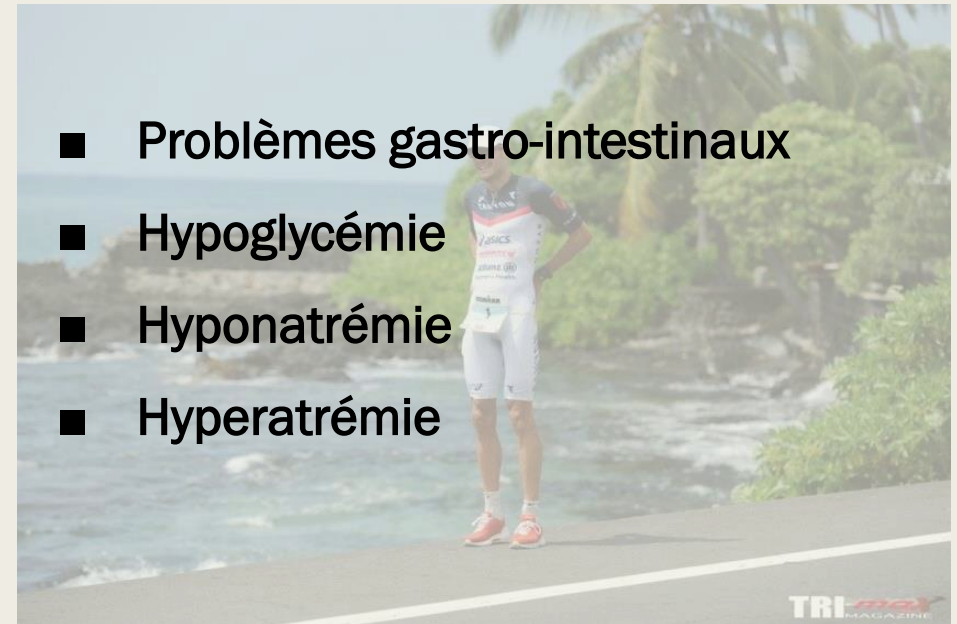
- Volume d'entraînement
- Critères physiologiques
 - *Seuils, puissance critique*
 - *Durabilité*
- Matériel
- Stratégies en course
 - *Pacing*
 - *Stratégies nutritionnelles*

Gilinsky et al., 2023

Tonnessen et al., 2014

Ce qui peut faire perdre

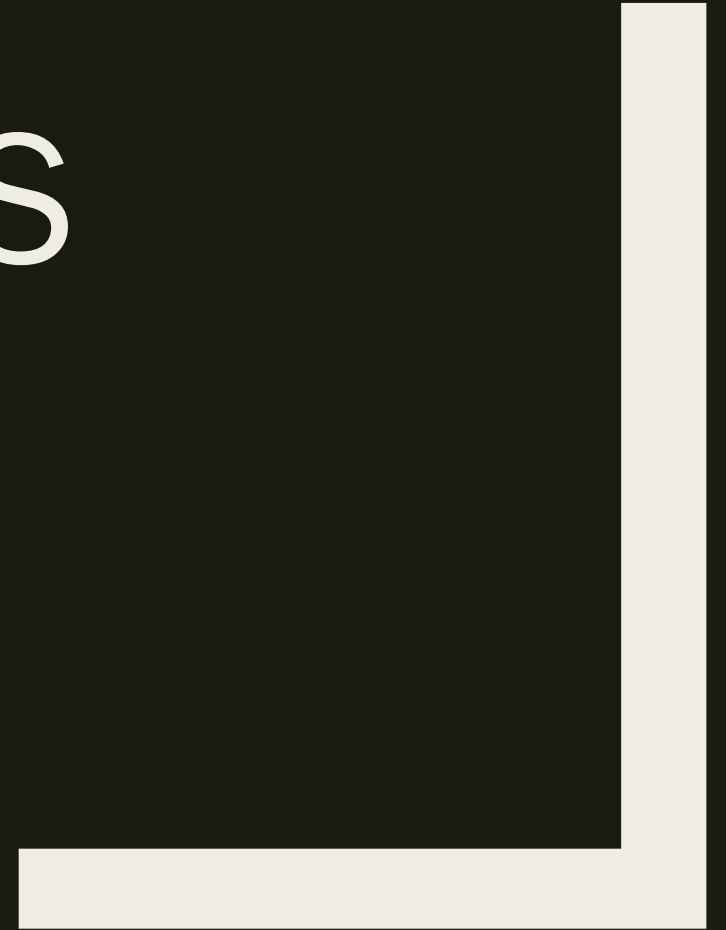
- Problèmes gastro-intestinaux
- Hypoglycémie
- Hyponatrémie
- Hyperatrémie



Leckey et al., 2017

Stubbs et al., 2019

QUE SONT LES
CÉTONES ?



Les cétones

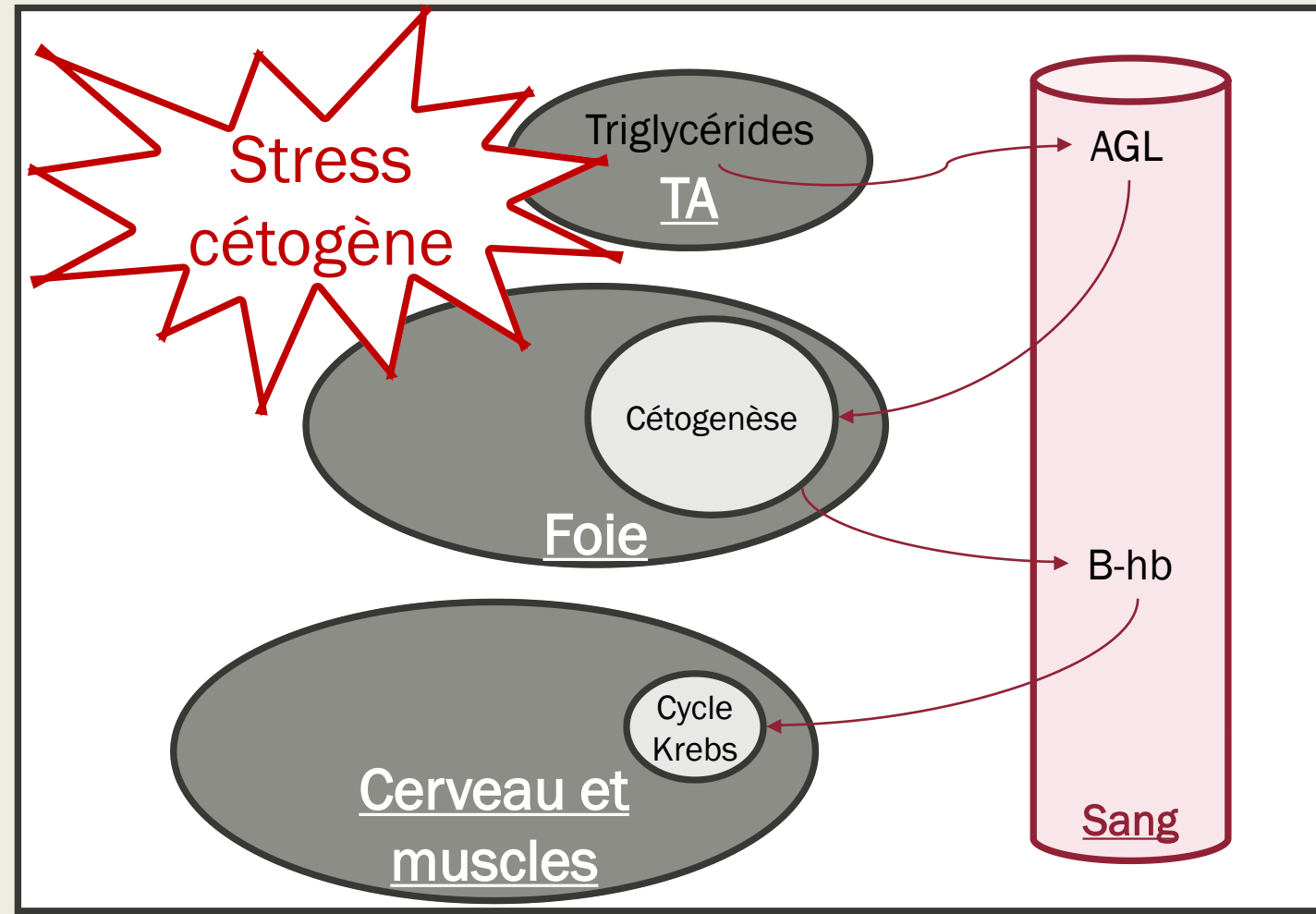
Substrat énergétique endogène

- Synthétisés par le foie à partir de triglycérides
- 3 formes différentes
 - **Acétone** : élément volatile
 - **Acétoacétate** (AcAc) : transport sanguin, substrat énergétique
 - **β -hydroxybutyrate** : transport sanguin, substrat énergétique
- Substrat énergétique du cerveau et des muscles striés squelettiques

Les cétones

L'origine des cétones endogènes

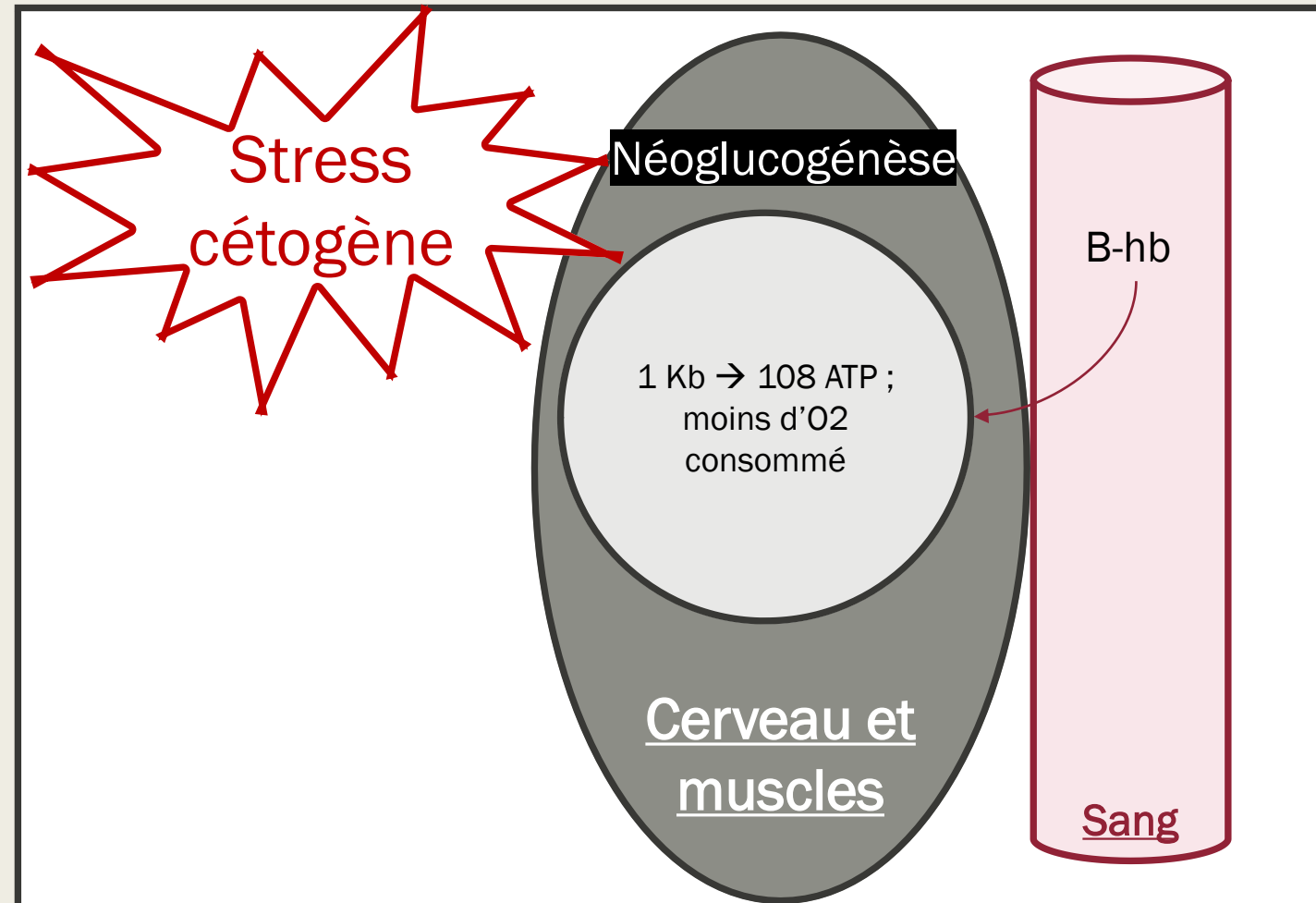
- **Faible disponibilité** en glucose (jeun, régime cétogène, exercice prolongé)
- **Stress cétogène**
- Le corps doit trouver et créer de **nouveaux substrats** → Il crée les cétones à partir des AGL
- Les cétones sont sous la forme de β -hydroxybutyrate (β -hb)



Les cétones

L'utilisation des cétones par le corps

- Plus d'ATP qu'un glucide
 - Moins d'ATP qu'un triglycéride
 - Consomme moins d'O₂ que les glucides et les lipides
- Moindre production d'ERO



Les cétones

Le jeun

- Lors d'un jeun: augmentation de la production de glucoses grâce à la **néoglucogénèse** stimulée par les cétones
- Plafond au 5^{ième} jour
- Muscle ne peut pas tout utiliser → **hyperkétonémie**
- Cerveau utilise cétone comme source principale d'énergie

Rui, 2015; Balasse et Féry, 1989

Les cétones

Le régime cétogène : courant en endurance

- Le régime cétogène (LCHF)
 - **< 50g d'apports glucides / jour** (5j ou 3wk voir annuelle)
 - **OXFAT** privilégiée mais difficulté OXCHO
- Production de **KB**
- Plus adapté à des durées plus longues et intensités plus faibles (**< 80% VO2max**)
 - **Economie de course** altérée

Les cétones

Conclusion des cétones endogènes

- Différents stress pour produire KB
- Amélioration de performances mitigés
- Micro-périodisation (Burke et al. 2020)

Exposition LCHF &
HCHO (Sleep Low)

Exposition block HIIT

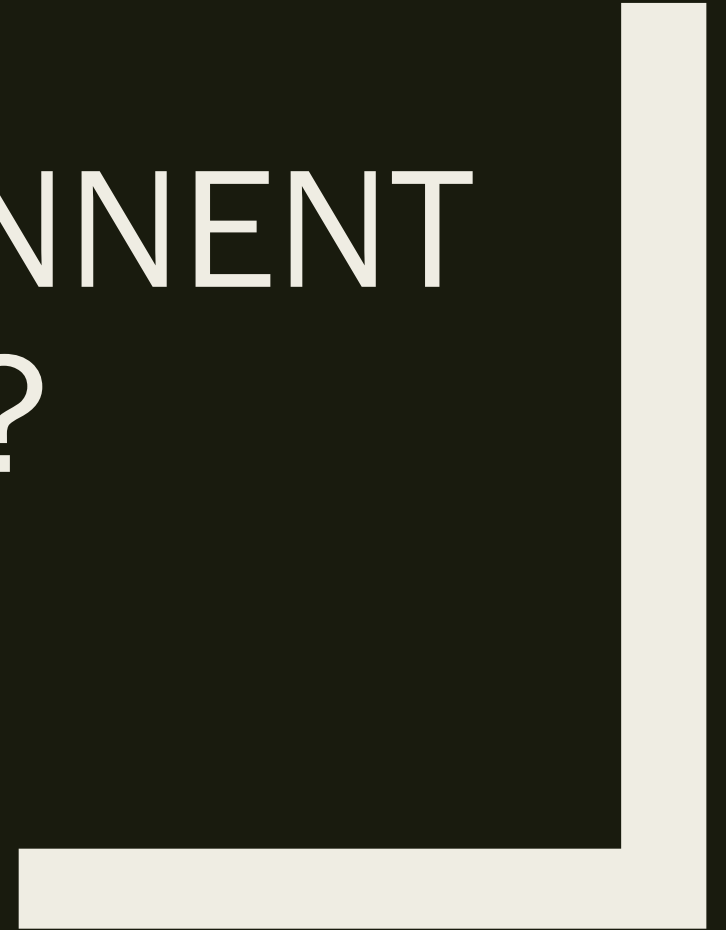
Qu'en est-il des cétones exogènes ?

Les cétones

Substrat énergétique exogène

- Sous forme **d'esters** (boisson) ou de **sels**
- **2 formes** différentes dans les contenus
 - **Acétoacétate** (AcAc) : *transport sanguin, substrat énergétique*
 - **β -hydroxybutyrate** : *transport sanguin, substrat énergétique*
- **Substrat énergétique** utilisé à l'effort

COMMENT FONCTIONNENT LES CÉTONES ?



Les cétones

Prise conjuguée à un entraînement
Stimulation de VEGF

KE me + 10
entraînements / semaine
3 semaines

KE me + 1 séance
d'interval

- + 40 % de capillarisation musculaire



- Augmentation de l'EPO circulante après l'effort

- Augmentation de l'EPO circulante à l'exercice et 2h après



Les cétones

Prise conjuguée à un entraînement
Stimulation de VEGF

Points positifs

- augmentation de paramètres pouvant influencer **Vo2max**

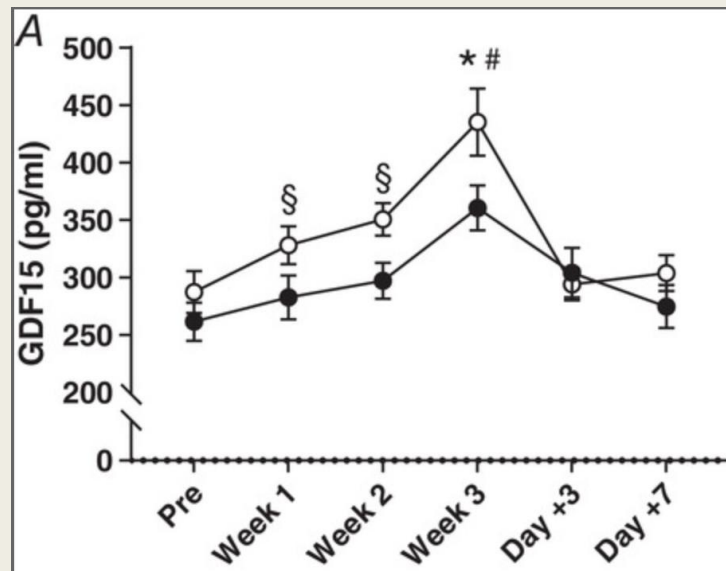
Points négatifs

- manque d'informations complémentaires, sujets non élités

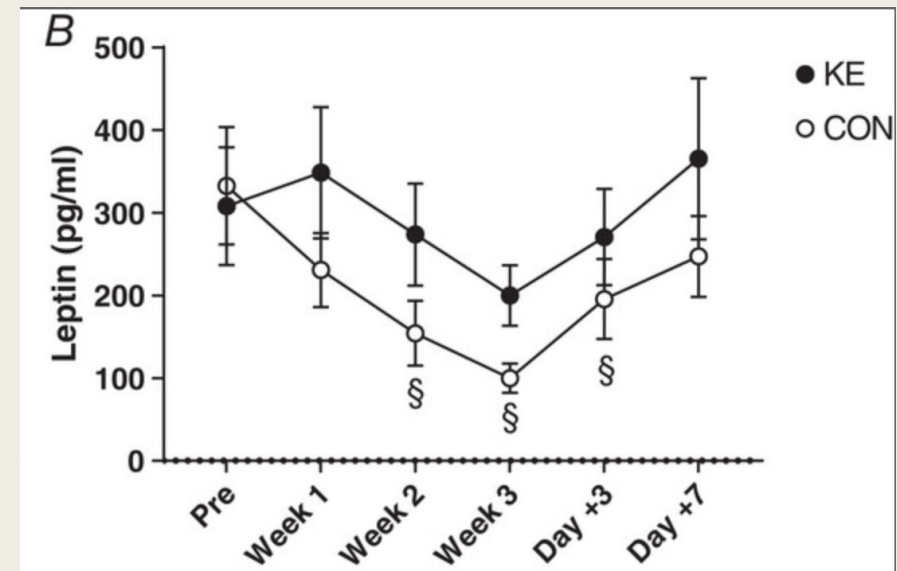
Les cétones

Prise chronique en période d'entraînement
Régulation de l'appétit

Hormone régulatrice de
l'appétit - (GDF-15)



Hormone régulatrice de
l'appétit + (Leptine)



Les cétones

Prise chronique en période d'entraînement
Régulation de l'appétit

Points positifs

- **surplus calorique**
- **plus grande accumulation de la charge d'entraînement**

Points négatifs

- **baisse de sécrétion d'une hormone de croissance**

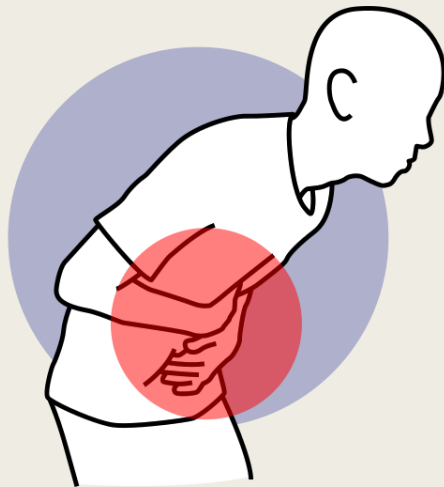
Les cétones

Prise aigüe en compétition

Problèmes gastro intestinaux

Prise avant l'effort

- Perception de l'effort augmentée
- Inconfort intestinal
- Baisse de performance (env. 2%)



Leckey et al., 2017

Prise à l'effort

- Les cétones sous formes de sels provoquent plus d'inconfort que les esters de cétones
- Inconfort intestinal augmenté par rapport à solution glucosée
- Dépend de la dose et de la forme

Stubbs et al., 2019

Les cétones

Prise aigüe en compétition
Problèmes gastro intestinaux

Points positifs

- les esters de cétones à faible concentration provoquent moins de problèmes

Points négatifs

- nombreux problèmes intestinaux reportés
- manque d'habitude possible à ce nouveau substrat

Les cétones

Prise aigüe en compétition
Lien avec la performance en TT

Régime cétogène + esters de cétones

- Augmentation de l'utilisation des lipides (++++)
- Diminution de l'économie de course après adaptation

→ Baisse de performance de 6% (10km marche)



Régime glucidique + esters de cétones

- Augmentation de l'utilisation des lipides (+)
- Pas de diminution sur la performance après adaptation



Les cétones

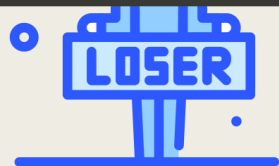
Prise aigüe en compétition
Lien avec la performance en TT

Points positifs

- amélioration de l'oxydation lipidique à l'effort

Points négatifs

- faible intérêt de combiner un régime cétogène et prise de cétones



Les cétones

Prise aigüe en compétition
Lien avec la performance en TT

Cétones + Na+

- 3h d'effort (6x30' intermittent + TT 15')
- TT 15'
- + 12 Watts
- Amélioration de performance de 5% de la



Cétones et contrôle

- 3h d'effort (6x30' intermittent + TT 15')
- TT 15'
- pas d'amélioration de performance



Les cétones

Prise aigüe en compétition
Lien avec la performance en TT

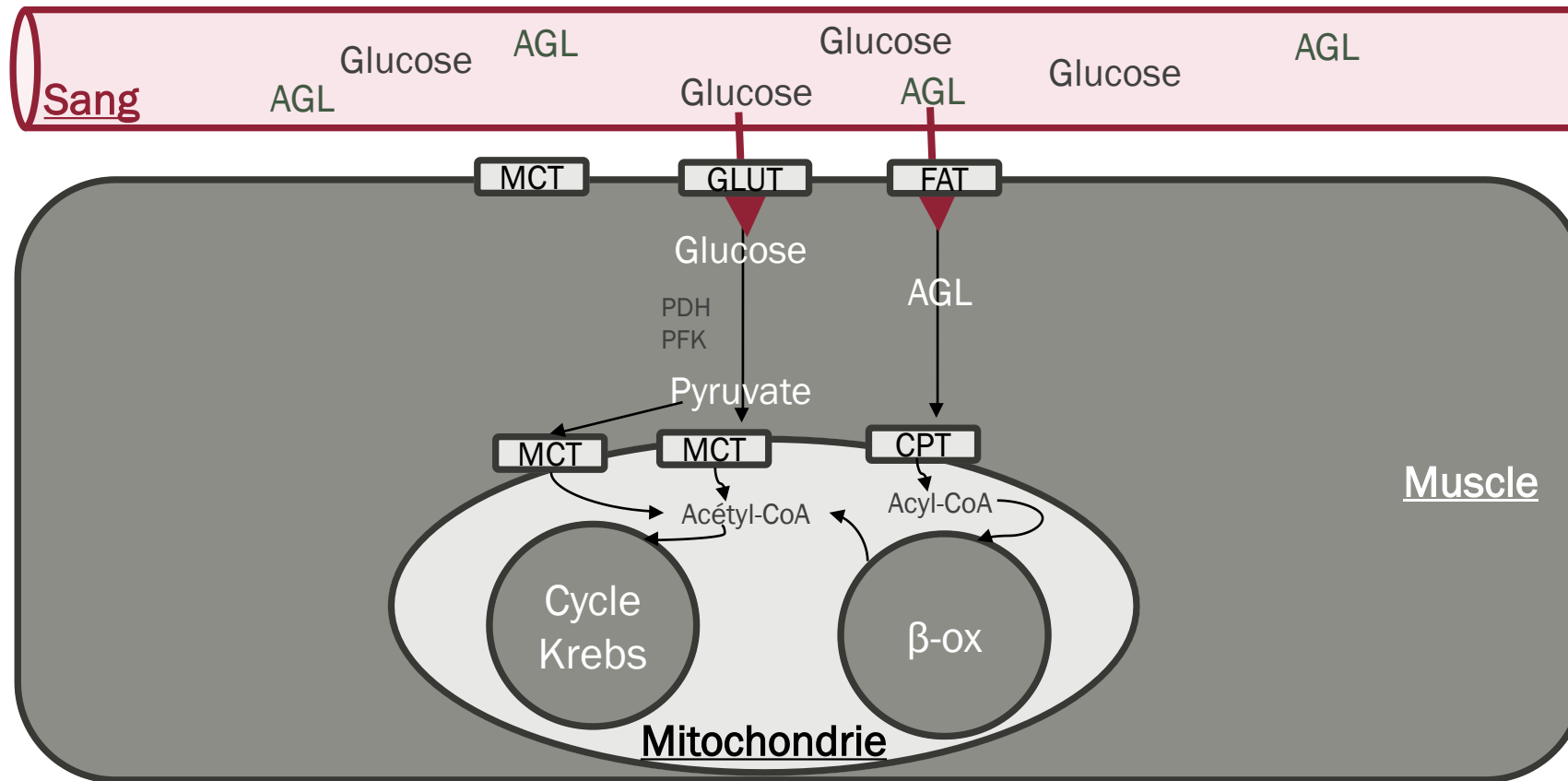
Points positifs

- amélioration de la durabilité
- entraînés en endurance

Points négatifs

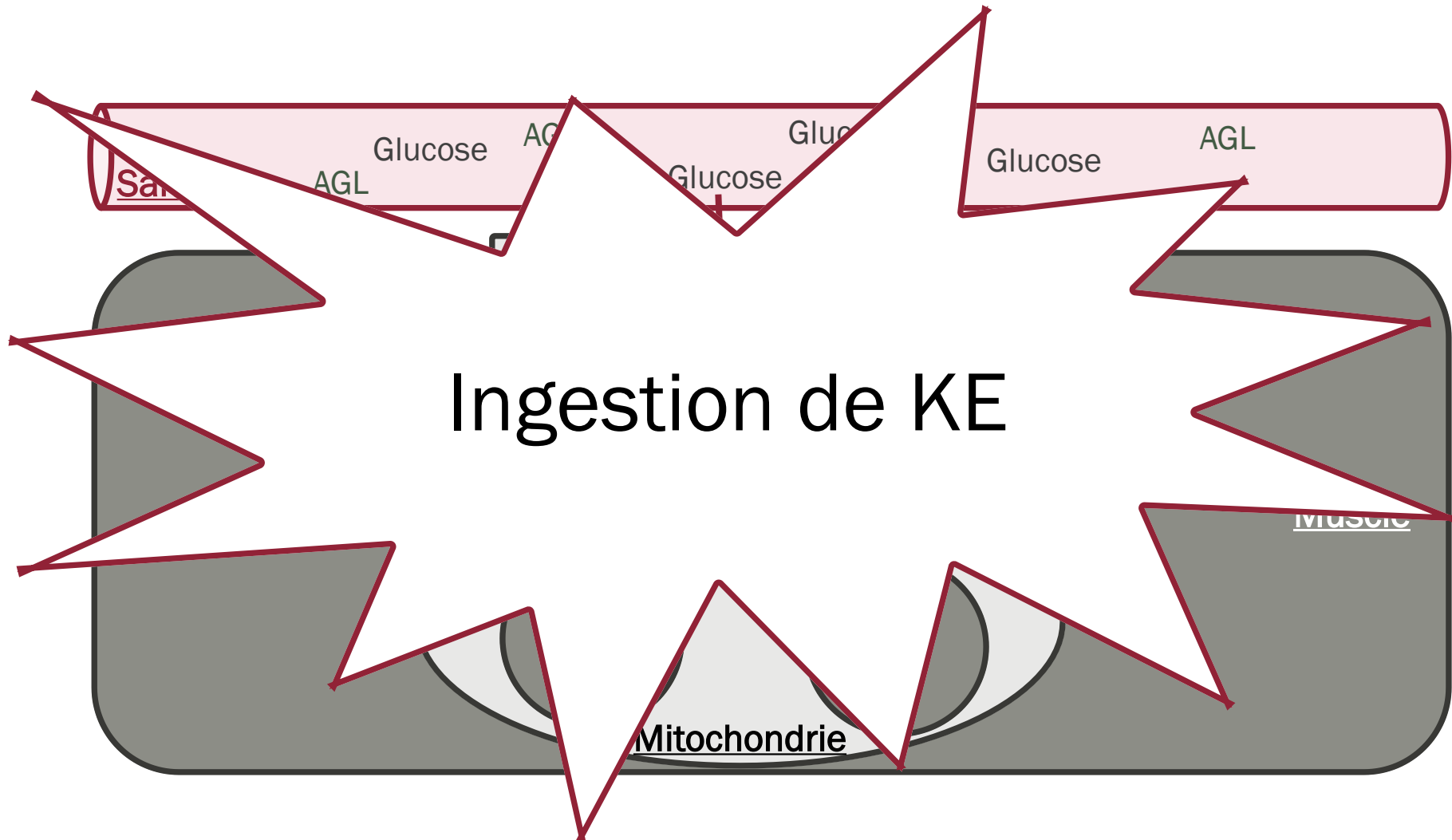
- besoin de respecter l'osmolarité pour les cétones ?
- résultats controversés

Utilisation des substrats à l'exercice



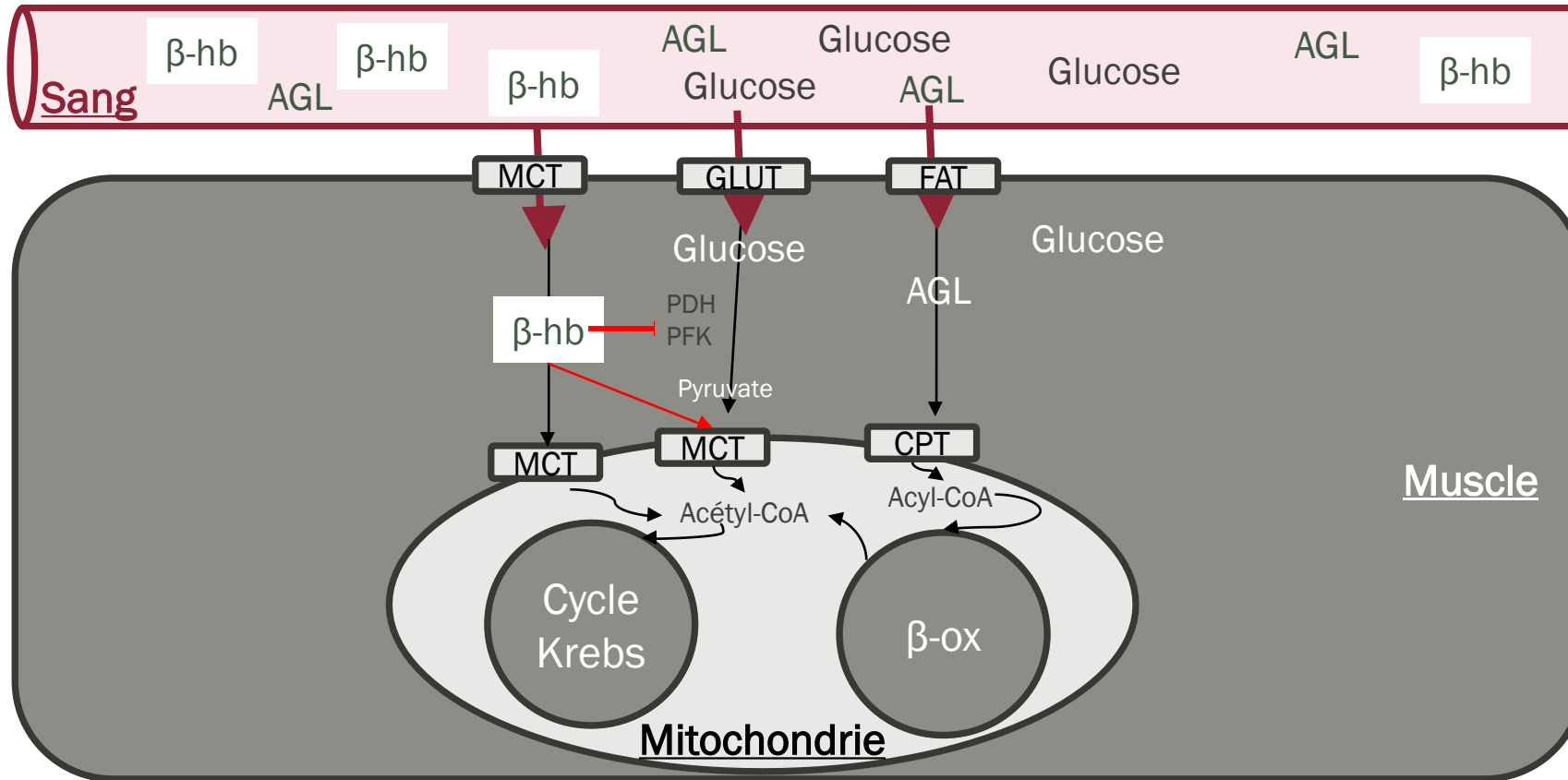
Mécanisme
d'utilisation
des cétones
à l'effort

Utilisation des substrats à l'exercice



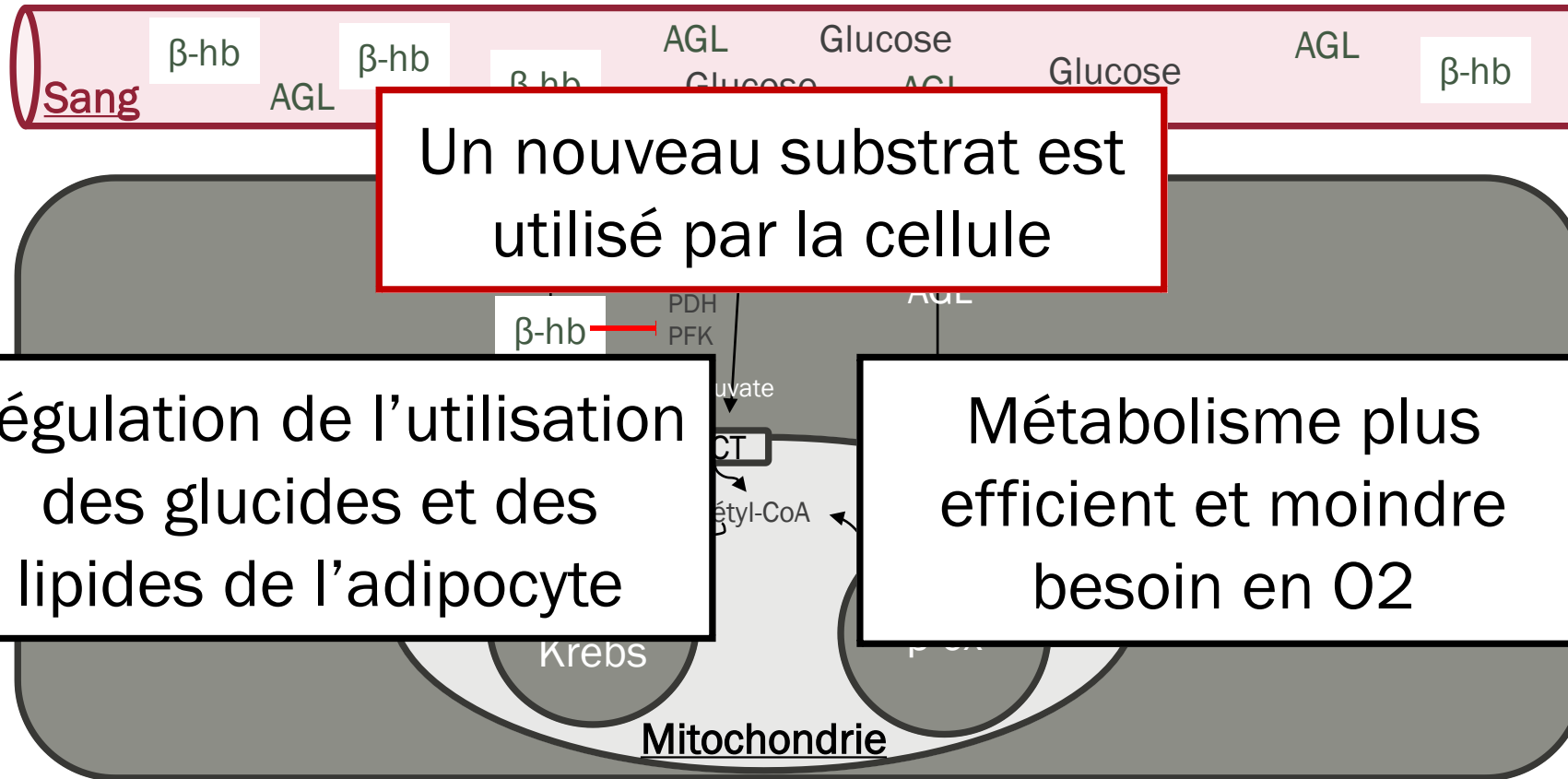
Mécanisme
d'utilisation
des cétones
à l'effort

Utilisation des substrats à l'exercice



Mécanisme
d'utilisation
des cétones
à l'effort

Utilisation des substrats à l'exercice



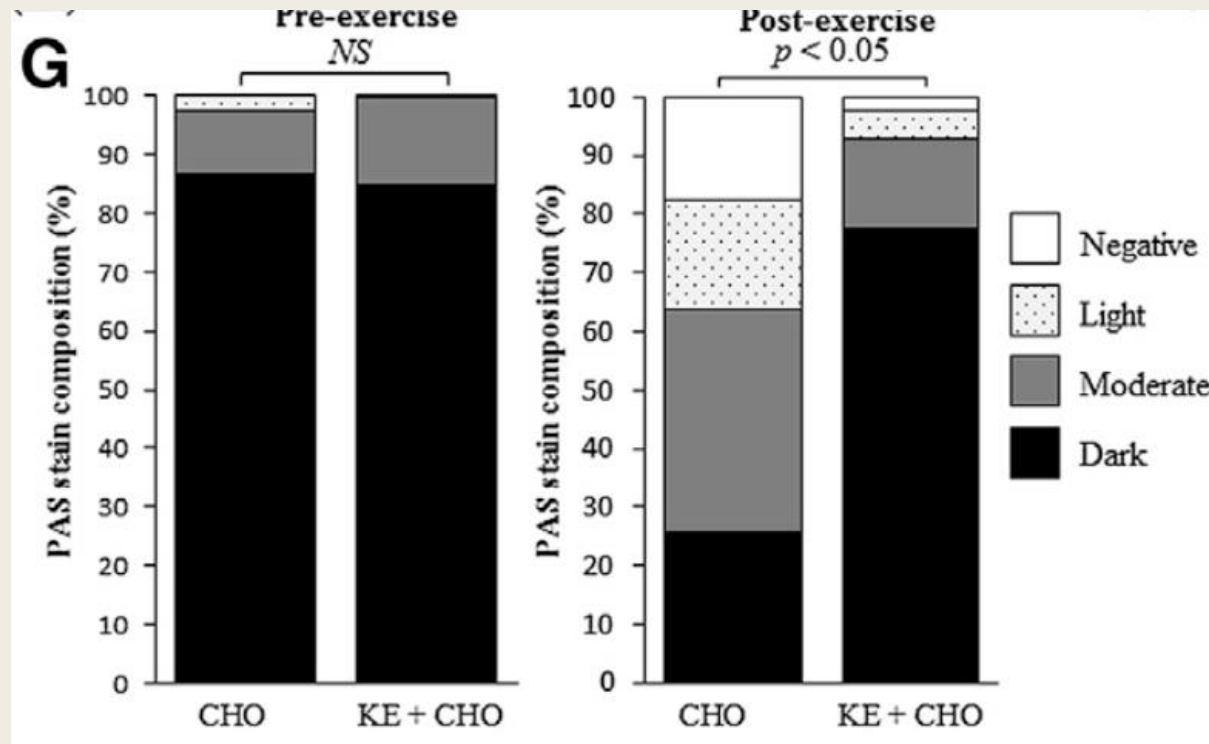
Mécanisme
d'utilisation
des cétones
à l'effort

Les cétones

Prise aigüe en période d'entraînement
Epargne du glycogène

Prise de KE + CHO à l'effort

Prise de CHO à l'effort



Les cétones

Prise aigüe en période d'entraînement
Epargne du glycogène

Prise de KE + CHO à l'effort

Prise de CHO à l'effort

Points positifs

- Epargne du glycogène à l'effort
→ Lien indirect avec la performance (fin d'épreuve) et l'accumulation de charge d'entraînement

EST-CE QUE ÇA MARCHE VRAIMENT ?

Spoiler alert : c'est mitigé

Bilan Général

Le potentiel...

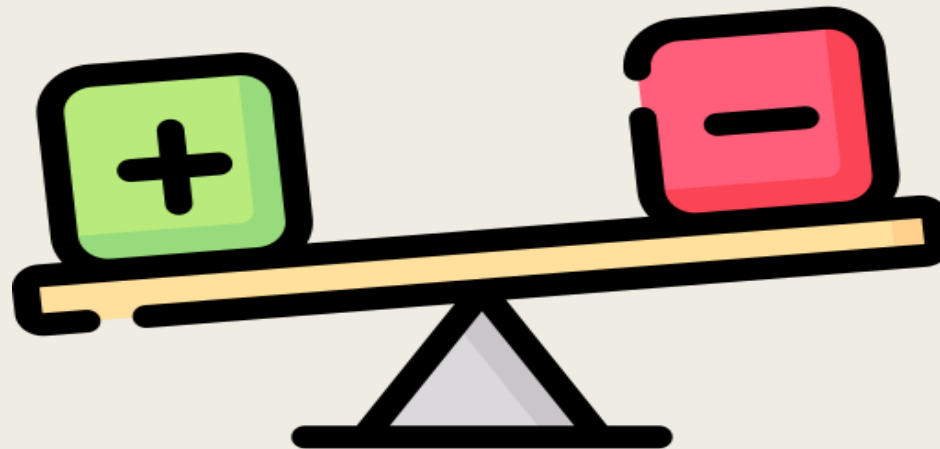
- Utilisé par de nombreux athlètes en endurance
- Les cétones présentent un **fort potentiel** ergogéniques sur plusieurs aspects

...Et la réalité des sciences

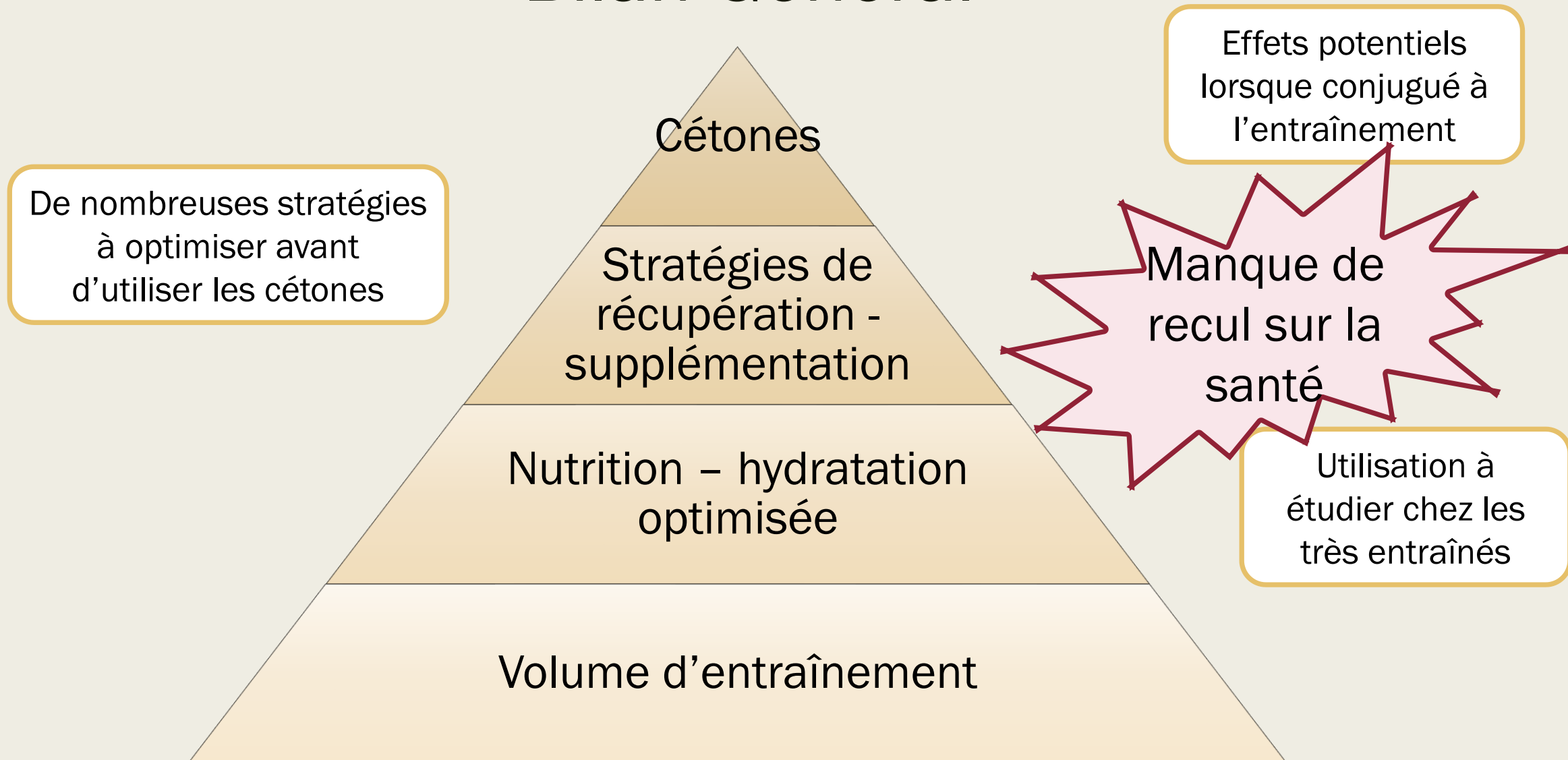
- Mais leur **lien** avec l'**amélioration des performances** n'est **pas établi**

Bilan Général

- *Épargne du **glycogène***
- *Stimule **VEGF** – **EPO***
- *Diminution de la production d'**ERO***
 - Possible diminution du risque de **RED-S**
 - Possible effet positif sur la **durabilité**
- *Manque d'information sur les efforts longs et les athlètes élités*
- *Inconfort intestinal*
- *Pas d'information sur la **santé***
- *Pas d'effets prouvés sur la **performance***
- *Produit cher : 1\$ le g de cétone*



Bilan Général



Recommandations

Nous conseillons d'utiliser les **cétones** sous forme de **mono-esters** à l'**entraînement** **seulement** lorsque **toutes les stratégies** de l'athlète sont déjà **optimisées**. Cette utilisation pourra optimiser l'**oxydation lipidique** lors des entraînement ayant ce même objectif et de mieux **supporter** une **charge** d'entraînement **élevée**.

Les **doses** conseillées sont celles retrouvées dans les études citées qui sont de l'ordre de **25g** de **mono-esters** de cétones (contrairement aux 5mL recommandés par les fournisseurs).

Recommandations d'utilisations

- 1h à 30 min **avant la séance** : 25g de cétones (ME) → **moindre déplétion** des réserves de glycogène, meilleure **oxydation lipidique** ; attention aux **troubles digestifs** et risque de **perte en rendement**

- **après l'effort** : 25g de cétones (ME) → plus grande stimulation de **VEGF** et **EPO** et régulation de **l'appétit** + ; attention baisse de sécrétion de GDF-15

- **Chronique** (avant effort et avant de dormir, 7j) : 25g par prise → **combinaison** des deux effets