

DEVELOPPEMENT DU METABOLISME ANAEROBIE

1) Introduction

2) Rappel

3) Exploration du métabolisme anaérobie

3.1) Méthode Directe

3.2) Méthodes Indirectes

4) Développement du Métabolisme Anaérobie

5) Adaptations de l'organisme à l'entraînement anaérobie

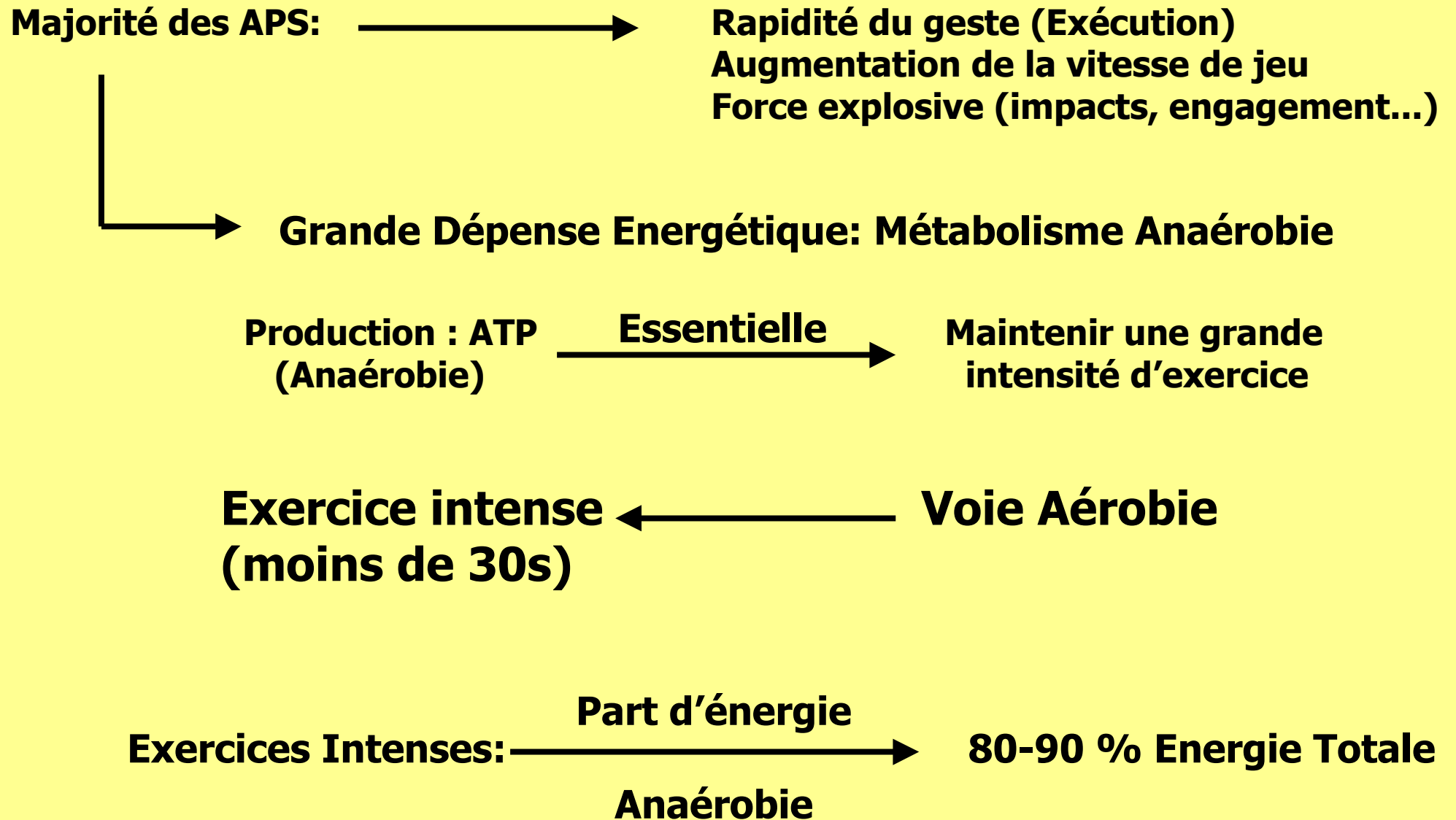
5.1) Adaptation du système ATP-Pcr

5.2) Adaptation du système Glycolytique

5.3) Autres adaptations

H. ZOUHAL

1) Introduction



Exemples:

Exercice très haute intensité : Durée = 3 min.

Participation des voies énergétiques à la fourniture d'énergie est de:

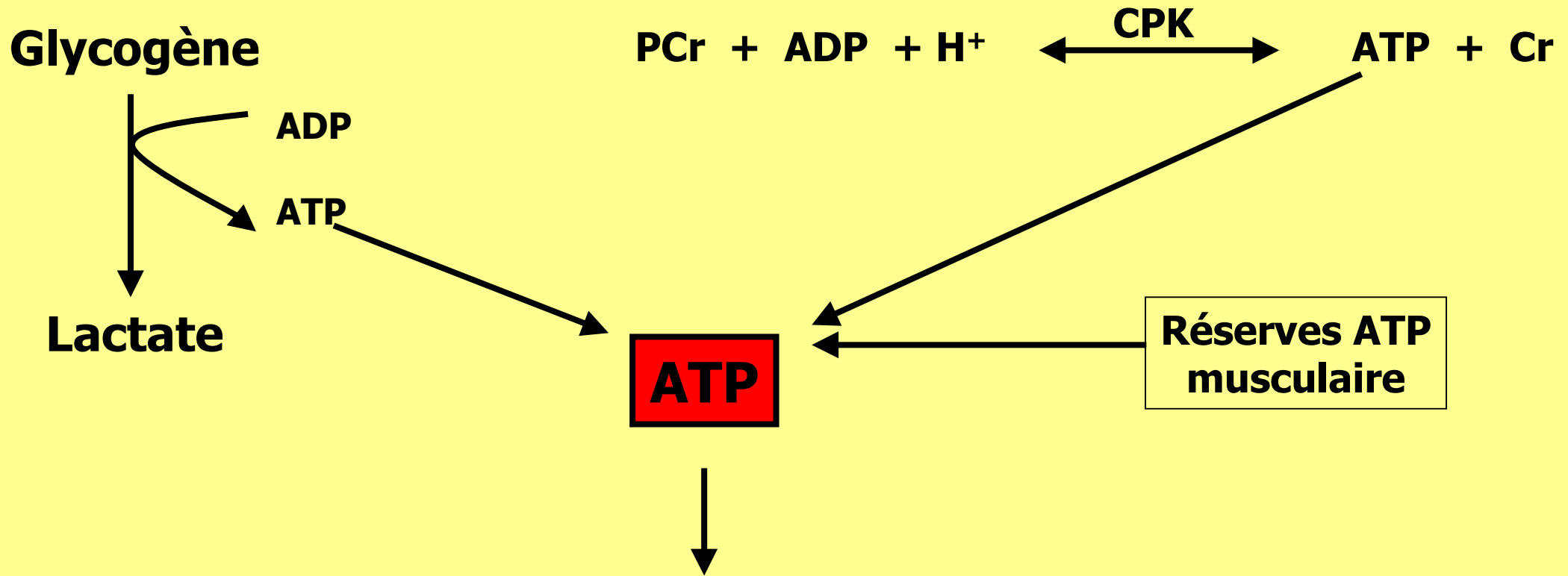


80% et 20%: 30 premières secondes

45% et 55%: entre la 60ème et la 90ème secondes

30% et 70%: entre la 120ème et la 180ème secondes

2) Rappels

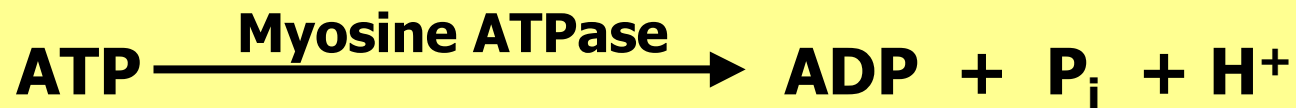


Contraction Musculaire: Performances

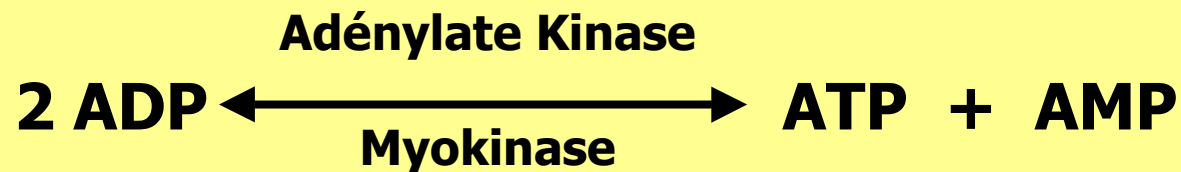
Physiologie du métabolisme anaérobie alactique

Voie des Phosphagènes

L'hydrolyse de l'ATP musculaire (adénosine-triphosphate)



Degradation de la Phosphocréatine ou Créatine-Phosphate ou CP ou PCr



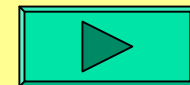
- **ATP musculaire + PCr = Seule source d'énergie immédiate pour le muscle**
- **Concentrations en ATP et PCr dans le muscle sont limitées**
- **Besoin d'autres sources d'énergie pour synthétiser de l'ATP**

Les substrats utilisés pour le processus anaérobie lactique

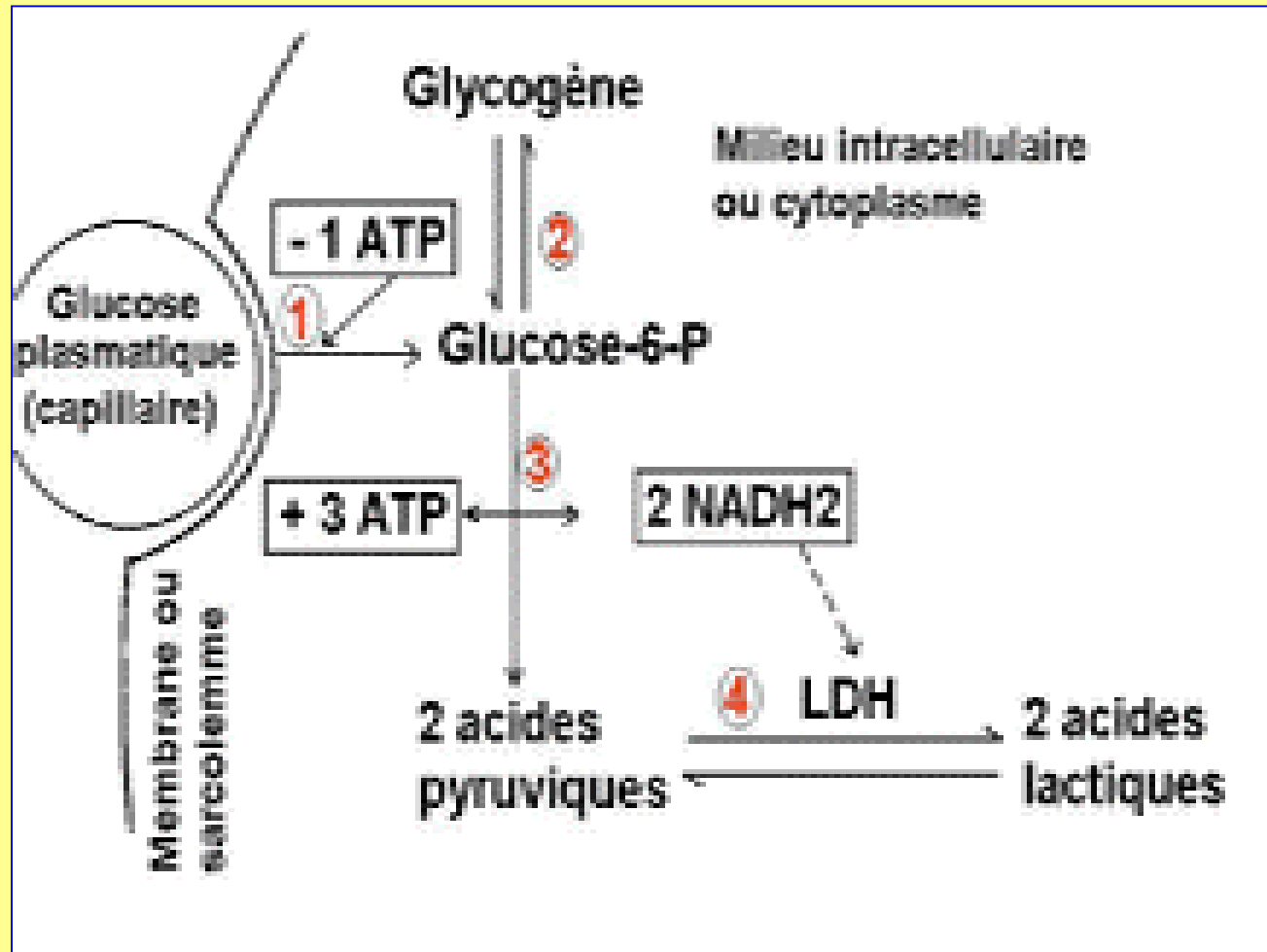
➤ **le glucose**

➤ **le glycogène**

- **Le catabolisme du glucose sanguin et du glycogène musculaire aboutit à la formation de lactate (schéma)**
- **Plus le stock de glycogène est important au sein du muscle, plus il limite l'utilisation de glucose plasmatique**



Physiologie du métabolisme anaérobie lactique



Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

La glycogénolyse

- **Catabolisme du glycogène en pyruvate**
- **Se déclenche après l'activation de la glycogène phosphorylase**

Phase préparatoire

Phase de remboursement

Bilan

Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

Phase préparatoire

1^{ère} réaction : catalyse par la glycogène phosphorylase

glycogène phosphorylase

glycogène \longrightarrow gluco 1 phosphate

2^{ème} réaction : mutation par la phosphoglucomutase

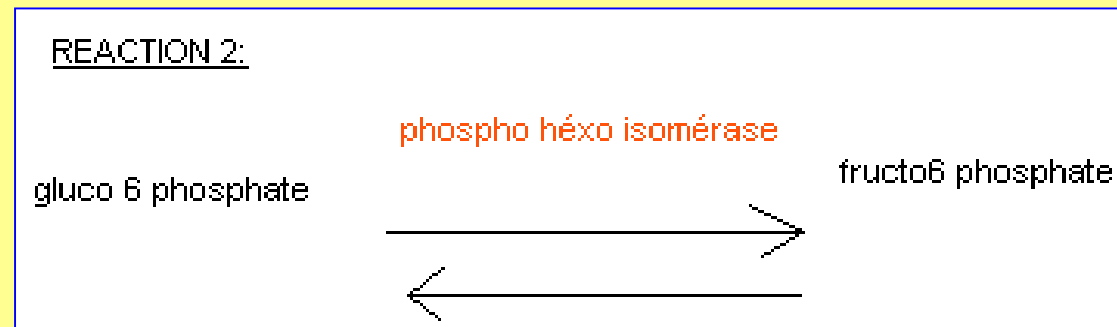
phosphoglucomutase

gluco 1 phosphate \longrightarrow gluco 6 phosphate

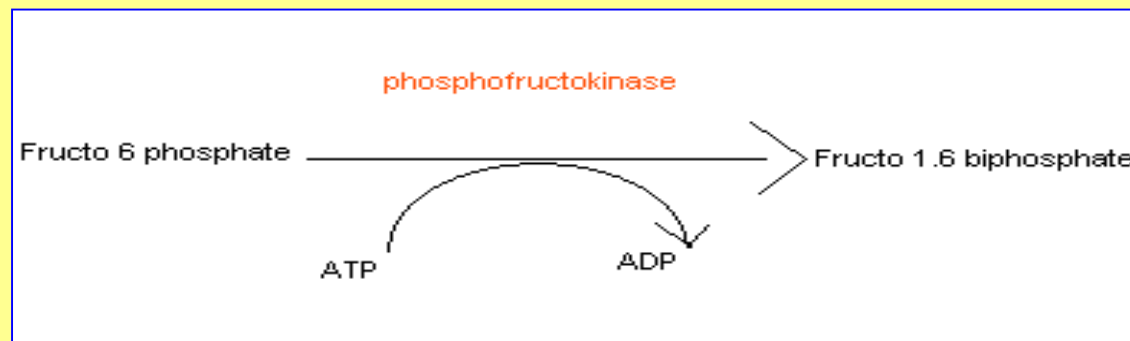
Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

Phase préparatoire

3ème R : isomérisation par la phosphohexoisomérase



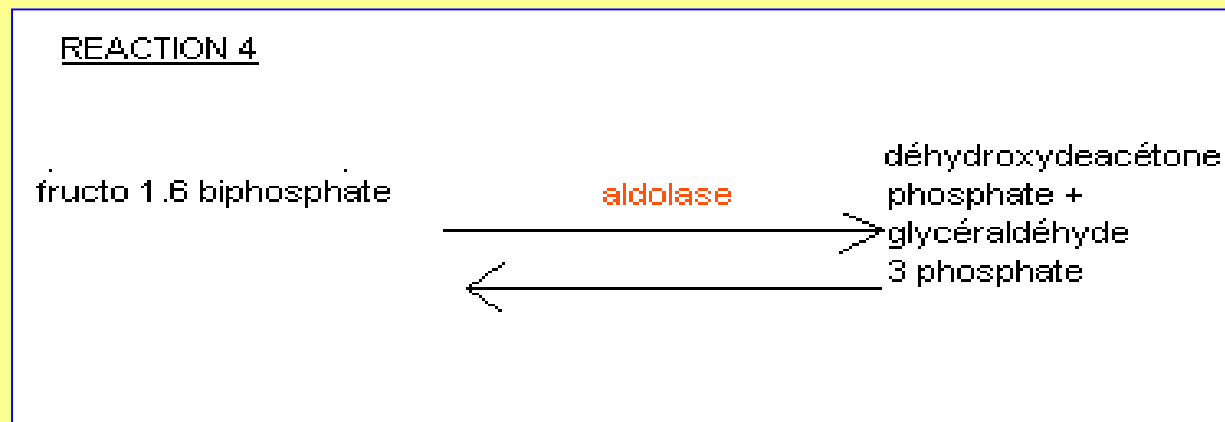
4ème R:phosphorisation par la phosphofructokinase



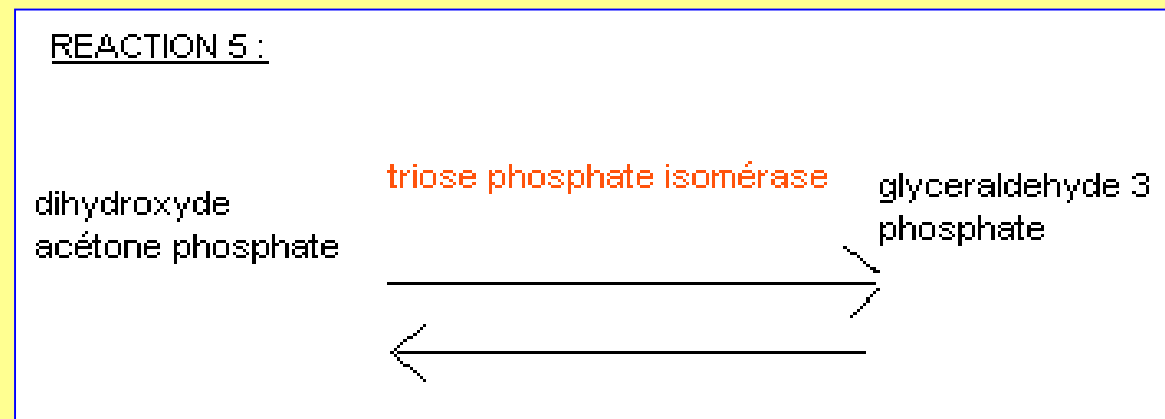
Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

Phase préparatoire

5ème R:fructo 1.6 phosphate coupé par l'aldolase

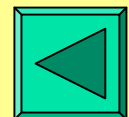
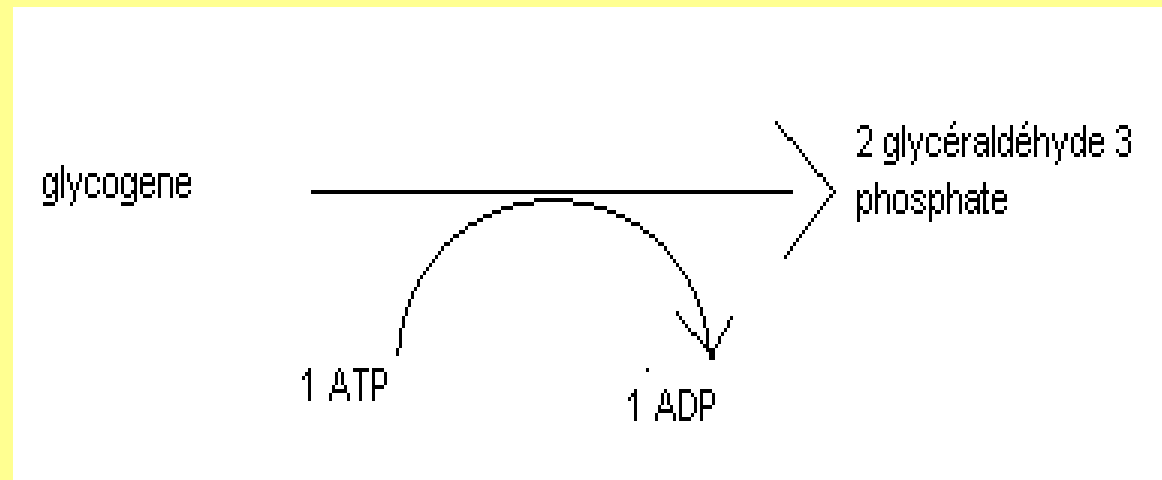
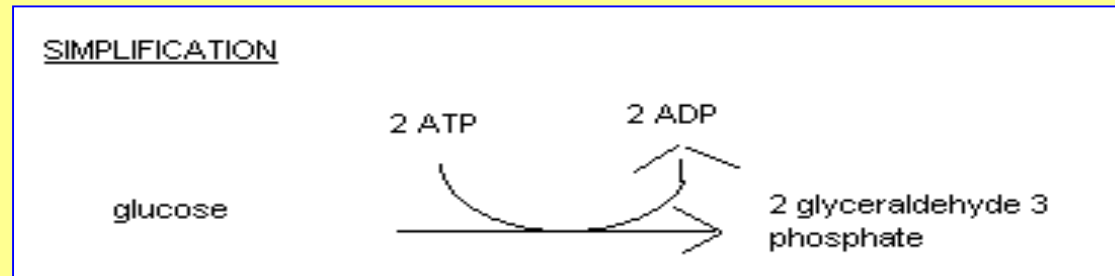


6ème R :isomérisation par la triose phosphate isomérase



Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

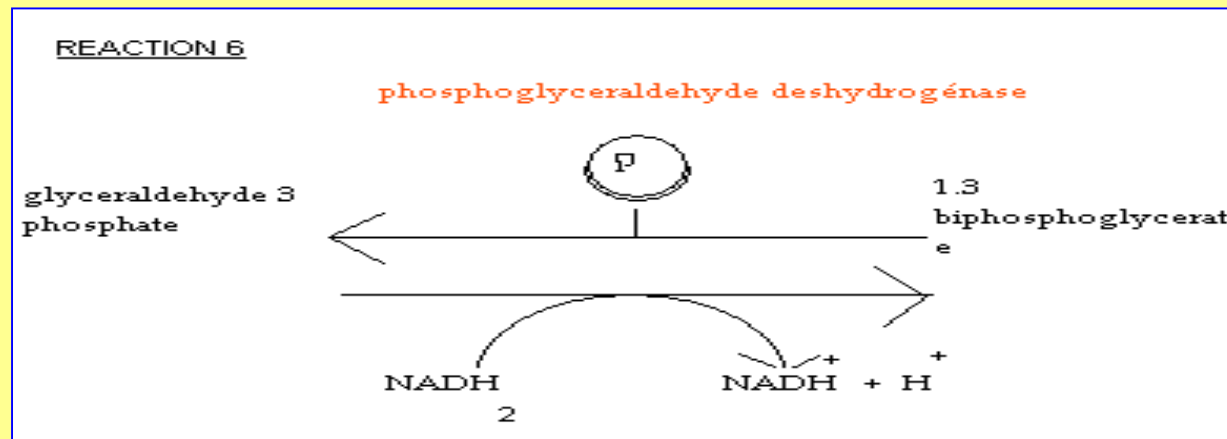
Phase préparatoire



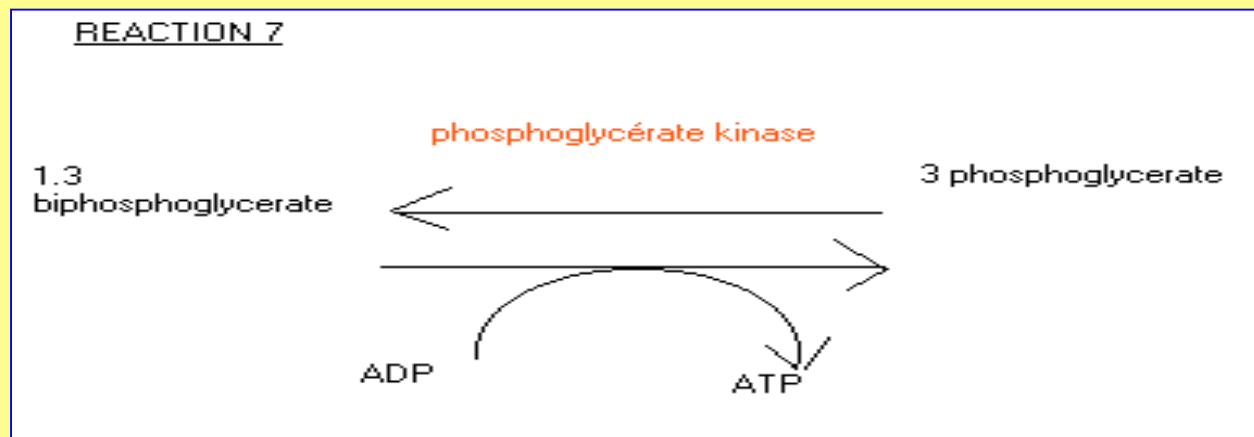
Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

Phase de remboursement

7ème: catalyse par la phosphoglydéraldehyde deshydrogénase



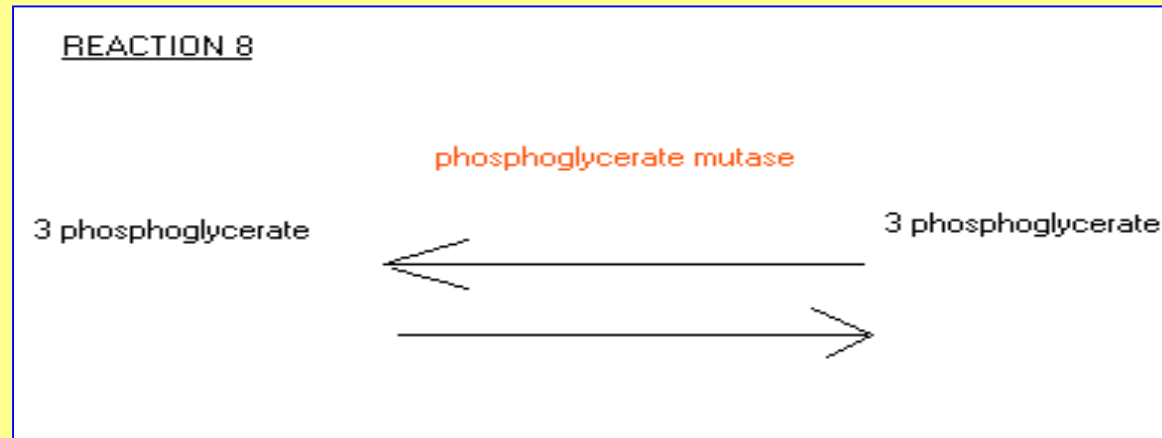
8ème R: catalyse par la phosphoglycérate kinase



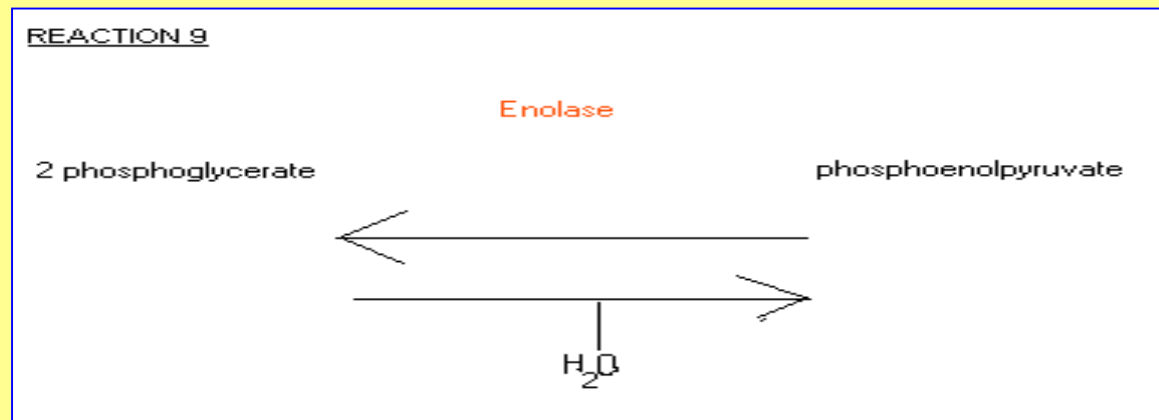
Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

Phase de remboursement

9ème R:mutation par phosphoglycérate mutase



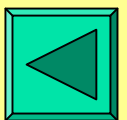
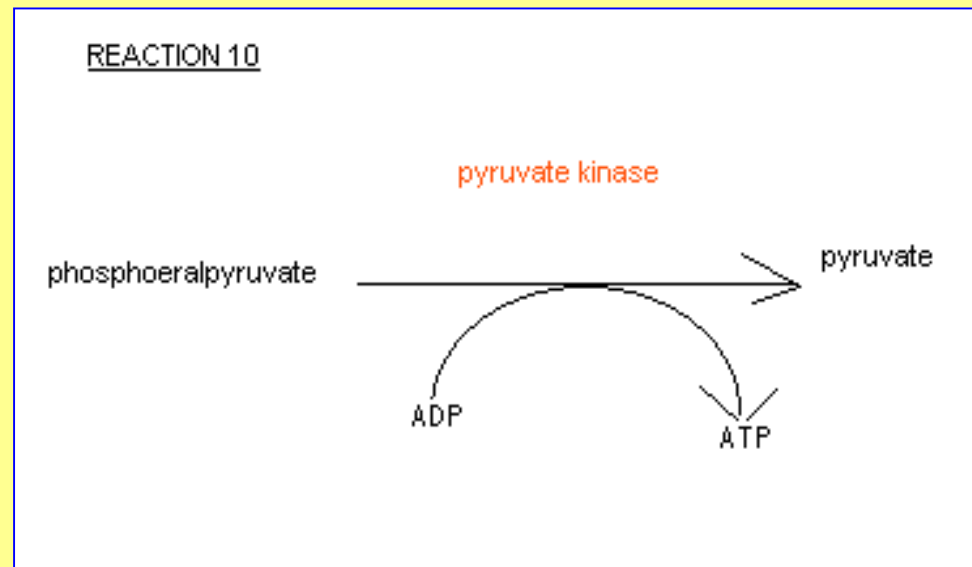
10ème R:déshydratation par enolase



Physiologie du métabolisme en anaérobie lactique

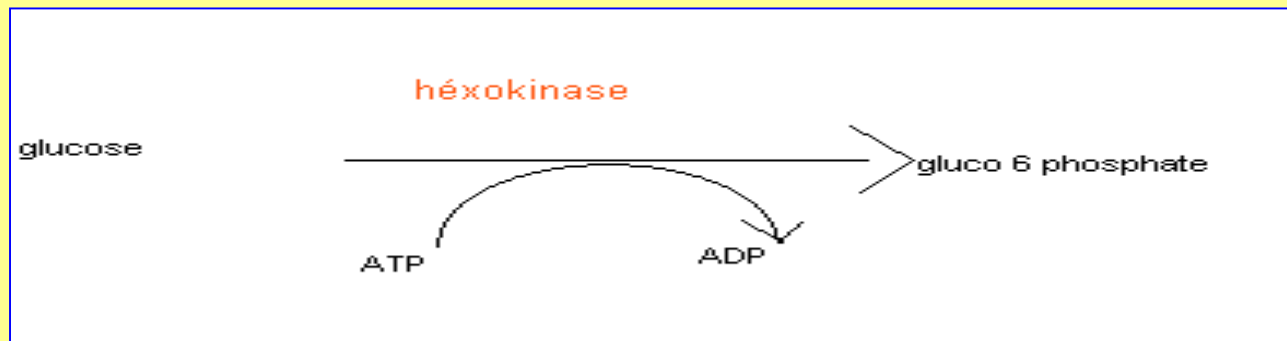
Phase de remboursement

11ème R: catalyse par une pyruvate kinase



Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

formation de 3 ATP par la glycogénolyse contre 2 par la glycolyse



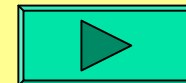
BILAN



Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

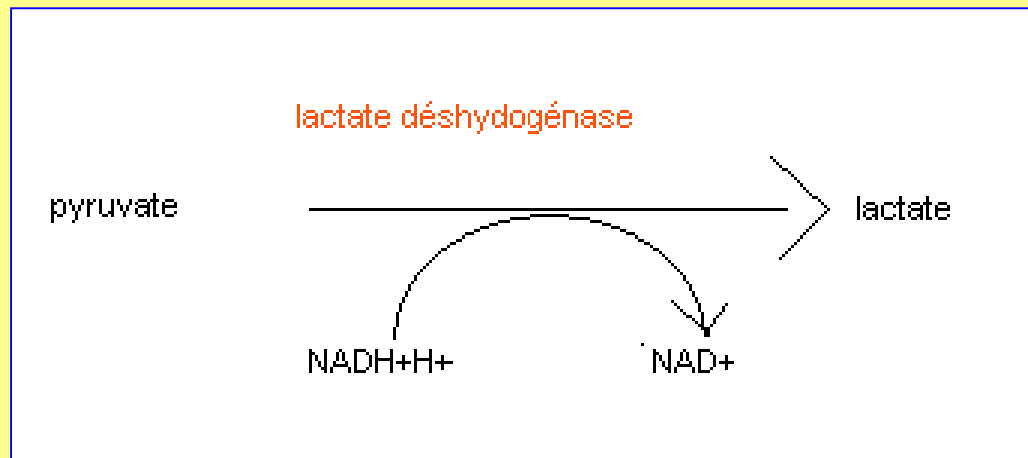
Le devenir du pyruvate

- **conditionné par la présence d'O₂**
- **les destinées du NAD**
- **production de lactate et activité musculaire : proportionnelle à l'intensité et la durée de l'exercice (liée à la demande d'ATP)**
- **accumulation de lactate engendre une diminution des performances (pour effort max. de courte durée, lactatémie veineuse d'un sédentaire atteint 8 à 10 mM et plus du double chez le sportif confirmé)**



Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

- dégradation du pyruvate en anaérobie: Lactate (schéma)



Pyruvate : CH₃ - CO - COO⁻

Lactate : CH₃ - CHOH - COO⁻

Physiologie du métabolisme anaérobie lactique

- L'accumulation de lactate provoque une acidose métabolique due à une libération importante de protons

- plusieurs conséquences de l'acidose :

.transport de lactate accru

.réduction du pH musculaire, ce qui réduit

l'activité de la GP (glycogène phosphatase) et PFK



glycogénolyse et production de lactate sont freinées

3) Exploration du Métabolisme Anaérobie:

3.1) Méthode Directe: BIOPSIE Musculaire

Prélèvements musculaires: Muscle au travail

(avant et après exercice ou entraînement)

Mesures : Taux de substrats + Métabolites clés
de ce métabolisme à différents intervalles



Mesurer la part d'ATP produite par le métabolisme anaérobie

Total ATP = ? PCr + 1.5 ? Lactate + 2 (? ATP - ? ADP)

N.B: Pour la PCr: chaque mmol dégradé \longrightarrow 1 molécule d'ATP

Pour la glycolyse: on estime sa part en multipliant le lactate accumulé et le lactate sortant du muscle par 1.5

Car:

3 mmol d'ATP et 2 mmol de lactate sont produit pour chaque molécule de glucose dégradée via le glycogène

Si Exercice Très Intense: ATP musculaire participe à la fourniture d'énergie

(Estimation possible par la mesure de [ATP] au départ et [ADP] à la fin)

Dans bcp de cas: aucune baisse des [ATP] ne survient: $\xrightarrow[\text{Conséquent}]{\text{Par}}$ Mesure des taux de PCr + Lactate

**↓
Estimer la production anaérobie d'ATP**

Mais: si exe. Dynamique cette part est sous-estimée à cause du lactate sortant des muscles qui travaillent...

3.2) Méthodes Indirectes :

La plus usitée :

Mesure du déficit d'oxygène



**Différence entre la demande énergétique
et celle produite par la voie aérobie**

L'autre méthode :

**Mesure de la lactatémie après des exercices
intenses (Wingate-test...)**

**Performances lors d'autres types d'exercices
(Charge/Vitesse, DV, Escalier de Margaria...)**

4) Développement du métabolisme anaérobie

Entraînement sur piste (Développement de la Vitesse)

Entraînement contre Résistance (Côte, Déscente, Freinage...)

Entraînement avec poids (Muscultation)

Electrostimulation

Développement du Métabolisme Anaérobie

Puissance

Capacité

Processus Anaérobie "Alactique"

Puissance

But: Augmenter les taux d'ATP musculaire + Activité Enzymatique

Intensité: Maximum (95-100%) des possibilités de l'athlète
(technique + relachement)

Durée: 4 à 7 secondes

Nombre de répétitions par série: 3 à 5

Nombre de séries: 3 à 5

Récupération: Longue entre les répétitions et les séries

Capacité

But: Augmenter les taux de PCr

Intensité: Maximale ou Sub-maximale

Durée: 6 à 20 secondes

Récupération: Courte entre les répétitions si la durée est courte
(8 à 10 secondes)

Longue entre les répétitions si la durée est longue
(20 secondes, 150 m)

**Nombre de répétitions: Courte durée (6 à 10 s): 3 à 4 répétitions;
2 à 3 séries**

**Longue durée (10 à 20 s): 3 à 5 répétitions;
1 à 2 séries**

Ancienne Terminologie: Résistance vitesse ou Résistance intensité

Règles impératives:

**Ces séances doivent se pratiquer sur un fond
de repos pour respecter la durée nécessaire
à la surcompensation de la PCr (24 heures)**

Processus Anaérobie Lactique

Puissance

But: Améliorer le système enzymatique de la glycolyse anaérobie

Intensité: Proche du maximum (95% de la vitesse maximale sur la distance choisie au moment de l'effort)

Durée: 20 à 60 secondes

Nombre de répétitions par série: 3 à 6

Nombre de séries: 2 à 3

Récupération: Incomplète et passive (marche)
ou trot léger (2min30 à 10 min)

**Le temps de récupération peut être dégressif
à l'intérieur d'une même série (Trop dur: Confirmé)**

Anienne Terminologie: Résistance Récupération

**Les intervalles de récupérations doivent permettre
l'oxydation d'une bonne partie de l'acide lactique produit
(10 à 20 min de marche ou trot léger)**

Capacité

But: Augmenter les taux de glycogène et des substrats "TAMPON"

Développer des possibilités de neutralisation de l'acide lactique

Intensité: Sub-maximale (80%)

Supérieure à la PMA ou VMA (Surcritique)

80% de la vitesse maximale du moment
sur la distance choisie

Durée: 1 à 3 minutes

Récupération: Incomplète et passive:
marche ou trot léger 6 à 12 min.

Nombre de répétitions par série: 3 à 6

Nombre de séries: 1 seule

Anienne Terminologie: Résistance (Spécifique)

Règles:

Quand on fait un travail **au-dessus** de la $\dot{V}O_2\text{max}$,

moins on récupère et plus on fait un travail Anaérobie (lactique).

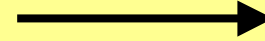
Quand on fait un travail **en-dessous** de la $\dot{V}O_2\text{max}$,

moins on récupère et plus on fait un travail Aérobie.

5) Adaptations de l'organisme à l'entraînement anaérobie

5.1) Adaptation du système ATP-PCr

APS: Requièrent une production de force maximale (Haltérophilie, Sprint...)



**Prépondérance du système ATP - PCr
Fourniture d'énergie**

Efforts très intenses

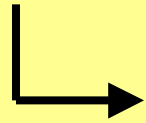
Nécessitent



Dégradation + Resynthèse très rapide de l'ATP + PCr

Etude de Costill et coll. (1979):

Sujets: Entraînement : Extension maximales du genou



**Séances: dix contractions maximales très brèves
moins de 6s (1 seule jambe)**

c.à.d. : Stimuler d 'une façon prépondérante le système ATP-PCr

L 'autre jambe: Répétitions d 'exercices très intenses: 30 s

c.à.d. : Stimuler surtout le système glycolytique

Résultats: Les 2 formes d 'entraînement → **Force musculaire (14%)**
↗ **Résistance à la fatigue**

↗ **L 'activité enzymatique musculaire (CPK, MK)**
dans la jambe entraînée par les exercices de 30 s

Aucune modification dans l 'autre jambe

Conclusion: les exercices brefs et très intenses



Force musculaire + Performances
Mais contribuent très peu au dvppt
du système ATP-PCr

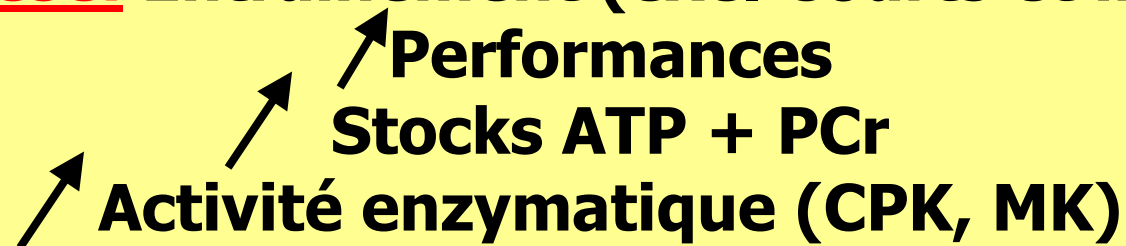
Une autre étude: **Thorstensson, 1975**

Augmentation de l'activité de ces enzymes par des exercices intenses de moins de 5 s

Ces résultats contradictoires suggèrent:

Intérêt principal de l'entraînement (exe. Courts et intenses) réside dans le développement de la force musculaire

Synthèse: Entraînement (exe. Courts et intenses):



Mais:

Aucune relation de cause à effet n'a été mise en évidence

Gain attribué: Recrutement d'une masse musculaire plus importante

5.2. Adaptations du système Glycolytique

Mesure de l'activité des enzymes clés de la glycolyse

Phosphorylases, PFK, LDH

Entraînement sous forme d'exe. Intenses de 30 s:

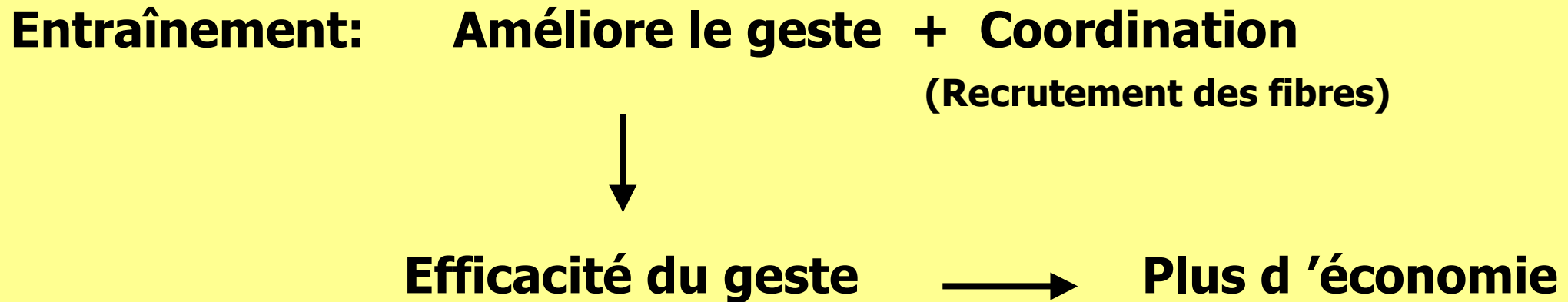
Augmente d'environ 10 à 25% l'activité de ces enzymes

Si exe. Moins de 6 s: Très peu de variation de leur activité

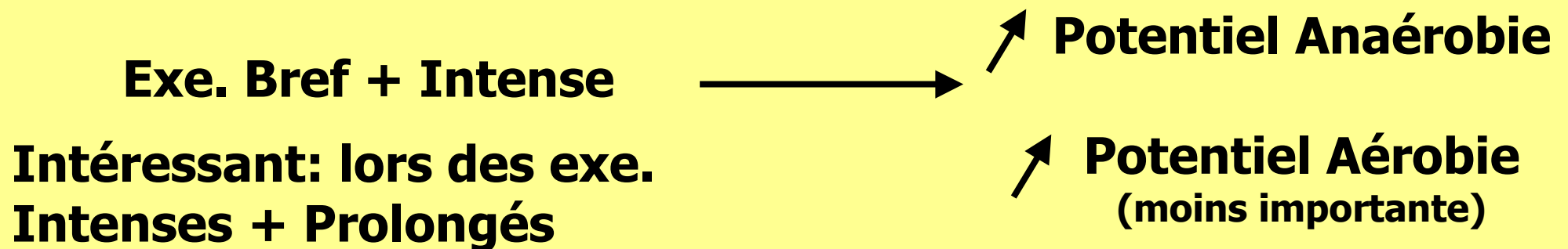
↗ Activité enzymatique (Phosphorylase + PFK): ↗ Production d'ATP

5.3. Autres Adaptations:

- Efficacité du mouvement:



- La part de l'énergie aérobie



- Le Pouvoir Tampon

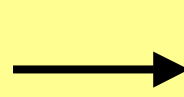
Entraînement Anaérobie:

→ ↑ **Tolérance à l'acidose (Muscle)**

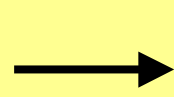


Liée à la stimulation de la glycolyse

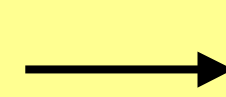
Accumulation de l'acide lactique



↑ **[H⁺]**



↑ **Acidose**

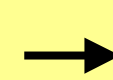


Interfèrent sur le métabolisme + la contraction musculaire

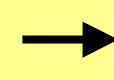
Substances Tampon de l'organisme

→ **Prennent en charge**

[H⁺]



Limitier l'acidose



Retarder la fatigue

↓
Bicarbonates + Phosphates



**8 semaines
d'entraînement anaérobie** \longrightarrow **Pouvoir tampon
12-15%**

**N.B. L'entraînement aérobie est sans effet sur le pouvoir tampon
(donc c'est une adaptation spécifique à l'entraînement anaérobie)**

Lors de sprints exhaustifs:

Lactatémie >> Sprinters / Endurants

pH << Sprinters / Endurants