Révisions : 

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |

**UNIVERSITÉ SORBONNE PARIS NORD**

2024 - 2025

**UNIVERSITÉ DE PARIS**

2022 - 2023



Nutrition

Fiche de cours N°5

Substrats énergétiques et métabolisme de l’exercice

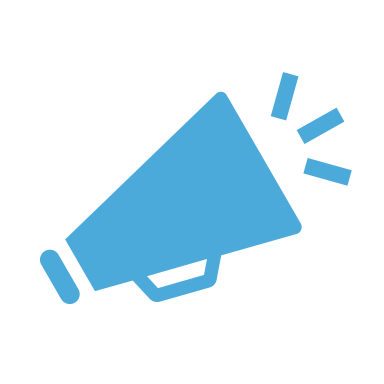
NOUVELLE FICHE



**PLAN**

1. **Métabolisme**
2. **Le muscle**
3. **ATP**

**Légendes**

****Notion nouvelle cette année

Notion déjà tombée au concours

|  |  |
| --- | --- |
| ***I. Métabolisme*** | **Généralités** |
| **Métabolisme** | * = Processus chimique qui convertit le nutriment en énergie (ATP) * **ATP** = Énergie au niveau cellulaire |
| **Catabolisme et anabolisme** | * Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme, Police    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.**Catabolisme** : Dégradation des molécules complexes pour former des molécules simples   + Associé à **l’oxydation** (Phosphorylation) de l’ADP+Pi en ATP     - Processus **EXOergonique**       * Production de chaleur * **Anabolisme** : Synthèse de molécules complexes à partir de molécules simples   + Associé à la **réduction** du NAD(P)H, H+ en NAD(P)+     - Processus **ENDOergonique**       * Nécessite de la chaleur |

|  |  |
| --- | --- |
| ***I. Métabolisme*** | **Le glucose 1/3** |
| **Généralités** | * **Une image contenant texte, diagramme, capture d’écran, conception    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Glucose** = Molécule la plus importante du métabolisme   + Molécule centrale   + Absorption de **190 g/jour**      - **150g** pour le **cerveau**     - Une image contenant texte, capture d’écran, Police, diagramme        Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.**40g** pour les **autres tissus** * **Tout peut être synthétisé à partir du glucose**    + À part : (Apportés par l’alimentation)     - Les **vitamines**       * Molécules nécessaires en faible quantité       * Les vitamines du complexe B sont hydrosolubles : Ce sont des précurseurs des cofacteurs enzymatiques indispensables au métabolisme       * Vitamine B3 → NAD       * Vitamine B1 → Pyruvate déshydrogénase       * Vitamine B5 → Coenzyme A     - Les **acides gras essentiels**       * Acides linoléiques     - Les **acides aminés essentiels** * **Glucose dans le sang doit être maintenu à 5mM** |
| **Dans le foie** | * Une image contenant clipart, dessin humoristique    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.**Foie** = Organe principal gouvernant le métabolisme * Situation métabolique différente en fonction de la prise de repas   + Juste **après un repas = Post prandial**     - Augmentation de la glycémie     - Augmentation du taux **d’insuline**       * Hormone baissant la glycémie = **HYPOGLYCÉMIANTE**       * Favorise **l’absorption** du glucose par les cellules **= Les hépatocytes** +++       * Favorise le **stockage** du glucose sous la forme de **glycogène** ou **d’AG** * Utilisation des acides aminés issus de la digestion : * Une image contenant capture d’écran, texte, clipart, Graphique    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Certains sont distribués aux **tissus** pour la synthèse de protéines * Certains vont synthétiser des **protéines hépatiques** * **D’autres** sont **glucoformateurs** : Ils sont utilisés pour synthétiser du glucose   + Ou loin du repas * **2 voies de stockages** :   + Production de **glycogène** à partie du glucose 6 phosphate     - Via la glycogène synthase     - Ne fonctionne pas à l’infini       * Il existe une régulation de cette enzyme   + **Acides gras**      - Prend le relais sur la production de glycogène     - Stockés sous la forme de **triglycérides**       * Utiliser pour synthétiser les **VLDL** * Les AG sont stockés dans les **adipocytes** |

|  |  |
| --- | --- |
| ***I. Métabolisme*** | **Le glucose 2/3** |
| **Dans le muscle** | * Une image contenant texte, capture d’écran, Graphique, dessin humoristique    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.L’insuline agit aussi sur le muscle   + Via la synthèse de **GLUT 4** = **Transporteur du glucose**     - Peut-être modulée     - Exprimé à la surface des cellules pour favoriser l’entrée du glucose * Le glucose est soit consommé dans la glycolyse pour former de l'ATP si le muscle en a besoin   + Ou alors il est stocké sous la forme de glycogène :     - Le **foie** stock le glycogène pour **réguler la glycémie**     - Le **muscle** le stock pour sa **propre consommation** * Le muscle peut aussi utiliser des acides aminés pour produire de l’énergie et synthétiser des protéines |
| **Dans le cerveau** | * Une image contenant clipart, dessin, dessin humoristique, illustration    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Le cerveau utilise **exclusivement** du glucose pour produire de l’énergie   + C’est pour cette raison que la plus grande partie du glucose est attribuée au cerveau * Les corps cétoniques peuvent être utilisés par le cerveau pour les transformer en glucose |
| **Le jeûne** | * Une image contenant texte, Police, logo, symbole    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Différence entre le jeun court et le jeun long   + Jeûner à **court** terme pendant la **nuit** = **Fasting**     - Entre 12 et 16 heures   + Jeûne à **long** terme = « **Starvation »**     - Manque de nourriture, maladies * **Baisse** du taux de glucose, d’acides aminés et de lipides dans le sang   + **Diminution de l’insuline** * Inhibe la synthèse des AG pour favoriser leur utilisation pour produire de l’énergie   + **MAIS augmentation du glucagon**      - Permet d’augmenter le taux de glucose dans le sang     - Se fait via l’augmentation de l’AMPc     - Le glucagon n’a pas de récepteur sur le muscle   Il agit sur le **foie**   * L’augmentation du glucagon va favoriser la mobilisation des AG du tissu adipeux * Les animaux ne peuvent pas utiliser les AG pour faire du sucreUne image contenant diagramme, texte, capture d’écran, cercle    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |

|  |  |
| --- | --- |
| ***I. Métabolisme*** | **Le glucose 3/3** |
| **Le jeûne**  *(Suite)* | Une image contenant diagramme, capture d’écran  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.   * **Activation de la glycogénèse**    + Dans les **hépatocytes**     - Le glucose est synthétisé à partir du **lactate**     - Et à partir du **glycérol**   Qui est un dérivé des triglycérides   * + Dans les **reins** * Utilisation de **l’oxaloacétate** pour **fabriquer du glucose**   + Et de **l'acétyl-CoA** pour **fabriquer des corps cétoniques** |
| **En cas de jeun prolongé**  ***14- 60 jours*** | * **Source d'énergie : Lipides du tissu adipeux**    + Besoin énergétique de 90 % * La répartition des protéines musculaires diminue à 30 g/jour   + Diminution de l’urée * Diminution de la production de glucose * Diminution de l’activité physique * **Reprogrammation métabolique transcriptionnelle** * **Enzymes du métabolisme lipidique** |

|  |  |
| --- | --- |
| ***II. Le muscle*** | **Métabolisme des muscles squelettiques 1/3** |
| **Utilisation des substrats** | * **Muscle : Rôle essentiel dans le mouvement** * **Grande adaptabilité métabolique**    + Posture   + Mouvement   + Thermogénèse   + Homéostasie énergétique |
| **Adaptabilité musculaire** | * En fonction du type d’exercice   + Changement de métabolisme * **Exercice intense sur un court temps**    + Voie métabolique privilégiée : **Glycolyse**     - Pas un grand rendement en énergie     - Permet de générer de l’ATP rapidement   + **Métabolisme anaérobique** (Non strict)     - Il y a quand même de l’oxygène qui passe dans le muscle       * Seulement, l’oxygène est consommé en plus petite quantité   + Source énergétique : **Glucides** * **Exercice d’endurance : Effort sur le long terme**    + Voie métabolique privilégiée : **Respiration cellulaire**      - Associée au cycle de Krebs   + **Métabolisme aérobique**   + Source énergétique : **Lipides** * **Exercice avec intensité modulable** (Pics de forte intensité puis diminution de l’intensité)   + **Adaptabilité**     - On passe de la glycolyse vers un métabolisme oxydatif     - **Métabolisme aérobique ET anaérobique**   + Source énergétique : **Glucides** + **Lipides** * **Pas d’exercice physique**    + Perte de l’adaptabilité     - Réversible |
| **Fibres musculaires** | * Une image contenant badminton    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Blanc → Pas de mitochondries → Réaction rapide * Rouge → Mitochondries → Aérobie → Réaction lente * 3 types de fibres musculaires   + Réponses lentes ou rapides ?     - **Fibres I** → Type **lent** → ROUGE     - **Fibres IIA** → Type **rapide** → ROUGE     - **Fibres IIx** → Types **rapide** → BLANC |

|  |  |
| --- | --- |
| ***II. Le muscle*** | **Métabolisme des muscles squelettiques 2/3** |
| **Carburants et contrôles** | * Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme, conception    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Pendant **l’exercice**, le métabolisme musculaire peut augmenter **jusqu’à 200 fois** * **L’ATP** est la source **principale d’énergie** * Sources de l’ATP : Proportionnelle à la taille des flèches   + **Glycogène** +++     - Utilisé en première instance     - Anaérobiose   + **Lipides ++**     - Aérobiose   + **Phosphagènes ++**     - Créatine     - Anaérobiose     - Beaucoup plus rapide que la glycolyse       * Mais très courte (2 secondes)   + **Acides aminés +**     - Aérobiose |
| **Source d’énergie musculaire** | Une image contenant diagramme, texte, capture d’écran, Plan  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.   * En moins de 6 secondes, la **créatine** disparait * La **glycolyse** permet de produire de l’énergie sur la durée   + Puis relais de la **chaine respiratoire**   + La glycolyse produit du **pyruvate**   + Le pyruvate est réduit en **lactate** qui sera transporter vers le **foie**     - Une fois dans le foie, il va synthétiser du **glucose** qui va retourner dans le **muscle**       * **C’est le cycle de Cori** * Dans le sang, les acides gras sont transportés **conjugués à l’albumine**   + **La β-oxydation** a lieu dans la mitochondrie * Elle génère de **l’acétyl-CoA** En cas de besoins énergétiques importants   + On utilise le **glycérol** du foie pour produire de l’énergie |

|  |  |
| --- | --- |
| ***II. Le muscle*** | **Métabolisme des muscles squelettiques 3/3** |
| **Réserves énergétiques pour le muscle** | Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme, ligne  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Une image contenant texte, nombre, Police, ligne  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.   * Le **glycogène** est la principe source   + Attention, **ce n’est pas du glucose sanguin**   + Car pendant un exercice intense, les **lipides** ne sont pas beaucoup utilisés comme énergie * Ils ont un processus **trop lent** |

|  |  |
| --- | --- |
| ***III. ATP*** | **Voies métaboliques de la consommation et de la production d’ATP 1/2** |
| **Métabolisme** | * **Une image contenant texte, diagramme, capture d’écran, cercle    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.L’ATP est consommée pendant la contraction musculaire**    + Pour former de l’ADP     - 2 molécules d’ADP peuvent réagir avec de **l’adénylate kinase** et générer       * Une partie en ATP       * Une partie en **AMP** * **L’AMP** ne génère pas directement de l’ATP   + C’est un **médiateur cellulaire**   + Elle produit de **L’IMP** (Inosine monophosphate) via **l’AMP déaminase** * Qui permet de régénérer des **nucléotides** * Permet aussi la formation de **l’ammoniac** (NH4+)   + - NH4+ **diminue** l'acidité       * Une image contenant texte, diagramme, Plan, Police          Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Et c'est un **activateur de PFK-1** → Glycolyse   *Vision d’ensemble plus complète* |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***III. ATP*** | **Voies métaboliques de la consommation et de la production d’ATP 2/2** | |
| **Phospho-créatine/Créatine** | * Créatine = **Dérivée de l’arginine**   + Transporteur de phosphate * La phosphocréatine est un composé à **haute énergie : 40kJ/mol** * La **créatine kinase** phosphoryle la créatine   + Elle catalyse la réaction dans les 2 sens     - La réaction est **réversible**     - La phosphorylation de la créatine **consomme** de l’ATP     - La déphosphorylation de la phosphocréatine **génère** de l’ATP * Système **très rapide** de synthèse d’ATP mais seulement pour **quelques secondes**   + Les réserves de phosphocréatine sont très faibles | Une image contenant texte, diagramme, Police, capture d’écran  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |
| **Glycogène/Glucose** | * Une image contenant Dessin d’enfant, diagramme, texte, capture d’écran    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.La **glycogène phosphorylase** permet l’utilisation du glycogène   + Elle est **activée** et régulée par **phosphorylation**     - La forme **phosphorylée** est la forme **active**     - La forme **déphosphorylée** est la forme **inactive**   + Cette **phosphorylation** est catalysée par une **phosphorylase kinase** * La phosphorylase kinase **b** est la forme **inactive**   + - La phosphorylase kinase **a** est la forme **active**     - Qui est elle-même phosphorylée par la **protéine kinase A**       * La protéine kinase Aest contrôlée par le **taux d’AMPc** * Le taux d’AMPc dépend d’une cascade de signalisation qui commence avec la liaison d'une hormone (**Épinéphrine = Adrénaline**) au muscle   + Attention : Le muscle n'a pas récepteurs pour le glucagon * Si l’on n’a pas besoin de mobiliser du glycogène, le système sera inhibé par un **inhibiteur de la phosphatase** | |

|  |  |
| --- | --- |
| ***III. ATP*** | **Voies métaboliques de la consommation et de la production d’ATP 3/3** |
| **Cycle des AG/Glucose :**  **Le cycle de Randle** | * Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Dans le métabolisme des cellules musculaires, il existe 2 substrats possibles   + **Glycogène**   + **Ou acides gras** * Il existe un **contrôle** entre les deux systèmes afin qu’ils ne fonctionnent pas simultanément * **Randle** (1963) : 1er chercheur qui a cherché à comprendre ce contrôle   + Lorsque le métabolisme des acides gras est activé, celui du glycogène est inhibé     - Et inversement   + Ils ont démontré qu'une augmentation de la disponibilité et l'oxydation des acides gras inhibent l'absorption et le métabolisme du glucose * Exercice à **haute** intensité :   + Les **carbohydrates = Glucides** sont la source principale d’énergie * Exercice d’intensité **modérée :**    + Le métabolisme des AG arrête celui des sucres * Avec l’intensité de l’exercice : **AMP ++ 🡪 Glycolyse**   + L’AMP est un régulateur de la glycolyse * Mais pas du catabolisme des acides gras |

|  |  |
| --- | --- |
| ***III. ATP*** | **Métabolisme des glucides/lipides** |
| **AMP Kinase (AMPK)** | * **Une image contenant diagramme, capture d’écran, texte, clipart    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.**Une image contenant diagramme, capture d’écran    Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. **= AMP activated PROTEIN KINASE** * Constituée de **3 sous-unités :** α**,** β**,** γ * Elle est régulée par le rapport AMP/ATP * **↑AMP/ATP** → Phosphorylation AMPK → Activation AMPK * L’AMPK inhibe l’anabolisme **en faveur du catabolisme**    + - Permet la synthèse de l’ATP * La **phosphocréatine** inhibe l’AMPK   + Lorsque l’énergie de la cellule est assez élevée     - Pour obtenir de la phosphocréatine, il faut consommer de l’ATP * Après sécrétion de la phosphocréatine, l ’AMPK va inhiber celle-ci afin de privilégier l’utilisation des **glucides** et des **acides gras** * L’AMPK augmente l’expression de **GLUT 4** (= Transporteur du glucose à la membrane plasmique)   + Elle va aussi augmenter **l’hexokinase** (= Enzyme de la glycolyse)   + Ainsi que des **enzymes mitochondriales** * L’AMPK activée va inhiber **l’acétyl-CoA carboxylase**   + = Enzyme du métabolisme des lipides permettant la synthèse du **Malonyl-CoA**     - Pour rappel le malonyl-CoA est la première étape de la synthèse des acides gras   + Une image contenant texte, capture d’écran, diagramme, Police      Le contenu généré par l’IA peut être incorrect.Bloque l’anabolisme **en faveur du catabolisme** des acides gras |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***III. ATP*** | **Régulation glycolyse/oxydation des acides gras** | |
| **Glycémie élevée** | * En présence de glucose, la glycolyse et le cycle de Krebs fonctionnent   + S’il y a **beaucoup de glucose**, c’est que **le muscle n’est pas très sollicité**      - Faible demande d’énergie donc **AMP faible**        * Le circuit de l’AMPK n’est pas dominant   + **Activation de l’Acétyl-CoA carboxylase**      - Permet de carboxyler l’Acétyl-CoA avec le Malonyl-CoA       * ↑ Malonyl-CoA → **Synthèse AG** * Bilan si effort **faible** :   + Accumulation de citrate :     - Glycolyse **OFF**     - β - Oxydation **OFF** | Une image contenant Dessin d’enfant  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |
| **Exercice d’intensité modérée** | * En cas d’exercice modéré, la **glycolyse** a lieu en parallèle de la **β - Oxydation**   + Il n’y a pas de dominance entre les deux voies * Lorsque le muscle travaille, **l’AMP active** :   + La **glycolyse**     - L’AMP est un activateur de la **phospho-fructo-kinase** (PFK)   + L’**AMPK**     - Inactive l’Acétyl-CoA carboxylase       * Entrainant une diminution de la synthèse des AG en faveur de leur consommation * Bilan si effort **modéré** :   + Glycose **ON**   + β - Oxydation **ON** | Une image contenant Dessin d’enfant, dessin humoristique  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |
| **Exercice de forte intensité** | * En cas d’effort intense, il y a production de :   + **AMP (Dominante)**     - Car le citrate est consommé dans le cycle de Krebs       * La glycolyse est donc la voie la plus importante   + **Citrate** * Il a **inactivation de l’Acétyl-CoA carboxylase**   + La voie de synthèse des AG est pratiquement éteinte * L’augmentation de l’ammoniac **favorise** la glycolyse * Bilan si effort **intense** :   + **AMP et citrate augmentent**      - Mais AMP est prédominante       * → **GLYCOLYSE ++** | Une image contenant Dessin d’enfant  Le contenu généré par l’IA peut être incorrect. |