

Grégory Lagarde
2^{ème} année BDNS

Travail de recherche présenté à
Miriam Fellag – Nutrition du sportif
Nathalie Carayol – Pathologie



EDNH - Paris

Date : le 1^{er} Avril 2022

Table des matières

Introduction	1
I] Comment fonctionne la créatine et comment la supplémenter	2-3-4
II] L'effet de la supplémentation en créatine sur la performance	5-6-7
III] Le rôle de la supplémentation sur la prise de masse	8-9
Conclusion	10
Résumé en anglais	11
Annexes.....	12-13-14-15
Sources bibliographiques	16-17-18

Introduction

« La créatine est le supplément le plus populaire proposé comme aide ergogénique », [4] c'est-à-dire qu'elle aurait un effet augmentant la capacité de travail musculaire mais aussi d'augmenter les performances. La créatine est retrouvée dans l'alimentation grâce à la viande et au poisson, le reste est apporté par synthèse endogène des acides aminés arginine, glycine, méthionine [1] présents dans le muscle squelettique, celui cardiaque et d'autres organes. 90 à 95% de la créatine est contenue dans le muscle squelettique. [7] Nous retrouvons un tiers de la créatine contenu dans les muscles squelettiques sous forme libre et le reste sous forme phosphorylée, aussi nommée phosphocréatine, elle intervient dans le processus de la contraction musculaire.

Cette substance est « indispensable à la contraction musculaire », [11] alors il est important d'assurer un bon niveau de créatine dans le muscle squelettique. La concentration va dépendre du type de fibre musculaire et de l'âge de la personne, mais les études montrent aucune variation du niveau en fonction du sexe ou du type d'entraînement. « La phosphocréatine est présente dans le muscle au repos à une concentration environ trois à quatre fois supérieure à celle de l'adénosine triphosphate (ATP), la source d'énergie immédiate pour la contraction musculaire. » [19] De plus la phosphocréatine permet de synthétiser de l'ATP destiné à la contraction musculaire, elle peut être comparé à un stock « d'énergie » dans les muscles.

Les revues scientifiques évoquent différents effets d'une supplémentation en créatine sur la prise de masse et les performances. [4] Nous allons montrer pour le sportif, quels sont les bénéfices d'une supplémentation en créatine ?

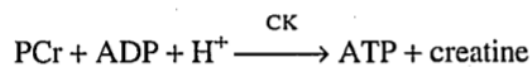
De ce fait nous détaillerons ce sujet en 3 points, tout d'abord l'utilisation de la créatine dans la contraction musculaire ainsi que la manière de procéder à sa supplémentation. Ensuite nous aborderons les effets d'une supplémentation en créatine sur la performance sportive ainsi que les limites des études scientifiques à ce sujet. Et finalement nous traiterons le sujet de la prise de masse de manière générale induite par l'apport supplémentaire en créatine.

I] Comment fonctionne la créatine et comment la supplémenter

« La créatine est principalement synthétisée par le foie, le pancréas et les reins. Trois acides aminés (glycine, arginine et méthionine) et deux enzymes sont nécessaires pour la synthèse de créatine endogène, qui est en moyenne de 1-2 grammes par jour. Un supplément de 1 à 2 grammes par jour est obtenu de façon exogène par la consommation alimentaire de poisson et de viande (tableau 1). » [7] Il est nécessaire de vous présenter le rôle de la créatine dans les muscles, et surtout lors de leur contraction. Ensuite nous analyserons la manière de supplémenter en cette substance et enfin comment améliorer son absorption dans l'organisme.

Le rôle de la créatine dans les muscles :

« Pendant une contraction musculaire intense, l'ATP est rapidement épuisée. La régénération immédiate de l'ATP est nécessaire si la contraction musculaire doit se poursuivre. Cette régénération de l'ATP dépend de la rephosphorylation de l'ADP, qui s'accomplit rapidement dans des conditions anaérobies par les voies suivantes » [7] :



Où CK est la créatine kinase et PCr est la phosphocréatine. On observe alors qu'il est absolument nécessaire d'apporter de la créatine à ses muscles pour qu'elle soit transformé en phosphocréatine et qu'elle soit utilisé dans le contraction musculaire. Selon Demant et Rhodes, la supplémentation en créatine augmenter la teneur en phosphocréatine musculaire, jusqu'à 40%, améliorant ainsi la quantité disponible pour rephosphoryler l'ADP en ATP et ainsi améliorer la contraction des muscles squelettiques. [17]

Cependant, « la phosphocréatine est un facteur limitant dans le maintien de la resynthèse d'ATP pendant l'exercice maximal. Plus précisément, 70 % des réserves de phosphocréatine dans les fibres musculaires de type II (à mouvement rapide) sont utilisées après 10 secondes de contraction maximale, avec une quasi-déplétion après 20 secondes. » [7] Dans le même temps la glycogénolyse et la glycolyse commencent à fonctionner au maximum permettant d'apporter de l'énergie si l'effort dure plus longtemps.

Il faut entre 30 et 60 secondes pour resynthétiser la moitié de la phosphocréatine après un exercice d'intensité maximale. De plus, la totalité des stocks sont reconstitués dans les 5 minutes de récupération, cependant cette récupération est aérobie, nécessite de l'oxygène, contrairement à son utilisation dans la synthèse d'ATP qui elle est anaérobie. [7]

La phosphocréatine joue différents rôles dans les muscles squelettiques, la rephosphorylation de l'ADP en ATP mais aussi « au sein de la cellule musculaire. Il transfère des équivalents d'ATP de l'intérieur des mitochondries, où l'ATP est générée par phosphorylation oxydative, au cytoplasme, où il est nécessaire pour le métabolisme cellulaire. » [19] Ce qui indique que la phosphocréatine est importante dans la contraction musculaire aussi pour son rôle de transporteur. Cependant il n'y a pas encore de preuves que ce processus est impacté d'une quelconque façon en fonction de la disponibilité de créatine, ça peut être un axe de recherche scientifique à approfondir dans le futur. [19]

« La teneur en ATP au repos du muscle est d'environ 24 mmol/kg, mais cela ne peut pas tomber de plus de 30%, donc le besoin de rephosphorylation de l'ADP formé pendant la contraction est évident. La réaction de la créatine kinase est extrêmement rapide, et puisque la concentration de phosphocréatine musculaire peut tomber à presque zéro, il peut apporter une contribution significative à l'approvisionnement en énergie nécessaire pour de brèves rafales d'exercice de très haute intensité. » [19] Donc une augmentation de la teneur en phosphocréatine devrait permettre une meilleure capacité de travail et ainsi de meilleures performances sportives. Il est donc important d'identifier les dosages et la façon de se compléter en créatine pour obtenir ses bénéfices.

Les dosages de la supplémentation

La principale problématique sur la complémentation en créatine est de trouver le meilleur dosage pour augmenter la concentration en phosphocréatine et maintenir la concentration. Ce sujet a ainsi suscité plusieurs questionnements concernant des conséquences sur les reins ou la santé de manière générale. « Les résultats indiquent que la supplémentation en créatine à long terme (jusqu'à 21 mois) ne semble pas avoir d'effet négatif sur les marqueurs de l'état de santé des athlètes qui s'entraînent de manière intense par rapport aux athlètes qui ne prennent pas de créatine. » [8]

Le tableau 2 présente l'évolution de la concentration en créatine totale dans les muscles de plusieurs groupes d'individus recevant un mode de complémentation en créatine différent. Nous observons dans le groupe A, avec une supplémentation de 20g de créatine pendant 6j, que la concentration en créatine dans les muscles diminue suite à l'arrêt de la supplémentation. Or dans le groupe B avec un consommation de 20g pendant 6j et ensuite 2g par jour pendant 28j, nous observons que la concentration dans le muscle est maintenu à environ 143mmol/kg de masse maigre. [2] Soit une augmentation de 20% de la concentration en créatine total dans le muscle suite à la supplémentation à 20g/j pendant 6j. « Dans certains cas, l'augmentation a atteint jusqu'à 50 %. » [3] Il peut être utile de noter que 30% de la créatine absorbée est sous forme de phosphocréatine, utilisé directement dans la rephosphorylation de l'ADP en ATP. De plus, la consommation de créatine à 3g/j pendant 28j est à long terme aussi efficace dans l'augmentation du niveau de créatine musculaire que le régime à 20g/j pendant 6j [2]. Il peut être donc intéressant de compléter à 3g/j pour éviter un possible risque de gêne gastrique et de gêne à la performance à cause d'une prise de poids rapide lors de la phase de charge à 20g/j pendant 6j.

Si les effets ergogéniques sont recherchés rapidement, il est donc plus intéressant de faire une complémentation débutant par une précharge, c'est-à-dire une grande quantité au début pour augmenter rapidement la teneur en créatine totale dans les muscles et ensuite de supplémenter à une moindre dose pour maintenir la concentration musculaire et ainsi maintenir les effets bénéfiques liés à la créatine. Cependant aucune étude ne montre si le taux de créatine diminue sur le long terme et s'il faut refaire une période de supplémentation à 20g pendant 6j quelques mois ou année après.

Hultman et al [2] ainsi que d'autres études préconisent comme meilleure manière d'augmenter rapidement le stock de créatine musculaire est d'ingérer une quantité de créatine de 0.3g/kg de poids de corps pendant 6j, s'apparentant à la dose de 20g cité précédemment, mais pouvant être adapté au cas de chacun. Puis pour maintenir ce stock dans les tissus, il faut consommer 0.03g/kg de poids de corps, soit environ 2g. De plus, une consommation de créatine à 3g/j pendant 28j est à long terme aussi efficace dans l'augmentation du niveau de créatine musculaire que le régime à 20g/j pendant 6j suivi des 2g/j. [2] Donc le mode de complémentation peut être adapté en fonction des préférences de chacun, mais sa complémentation reste néanmoins nécessaire chaque jour.

Améliorer l'absorption de la créatine.

On sait depuis de nombreuses années que l'insuline améliore le transport de la créatine de la circulation dans le muscle squelettique des rats. » [5] Il est peut-être intéressant d'ajouter des sucres simples lors de la complémentation pour provoquer un pic d'insuline et d'améliorer l'absorption chez les humains.

« Steenge et al. ont démontré que l'insuline augmente l'accumulation de créatine musculaire chez les humains lorsqu'elle est présente à des concentrations physiologiquement élevées ou supra physiologiques. Cependant, l'utilisation de l'insuline par les athlètes pour augmenter l'absorption de créatine musculaire est peu pratique et dangereuse. » [5] Green et al ont démontrés une « diminution des pertes de créatine dans l'urine et une augmentation de l'accumulation de créatine musculaire chez les sujets qui ingèrent de la créatine en même temps que des glucides à forte dose (90 g, quatre fois par jour). » [5] Cependant cet ajout lors de la complémentation n'est pas pratique car ça représenterai 1400kcal/j [5], ce qui peut être bénéfique pour des athlètes en prise de masse mais pour beaucoup d'autres non. De plus, consommer 90g de glucides rapidement ne présentera pas une bonne saveur, pouvant donc rebuter plusieurs personnes à leur consommation. Outre cet aspect de confort, cette consommation importante de glucides pourrait présenter un risque pour la santé en provoquant des hypoglycémies réactionnelles pouvant être néfaste à la performance. Mais aussi augmenter le risque d'un développement de diabète de type 2 lié à une insulino-résistance car le corps subirait des pics intenses d'insuline, supérieurs à ceux subis lors des repas, et ce plusieurs fois par jour.

« Preen et al. ont établi que la supplémentation en créatine combinée à 1 g de glucose par kilogramme de masse corporelle deux fois par jour augmente la créatine totale du muscle de 9 % de plus que la supplémentation en créatine seule. » [5] Selon moi, cette consommation de glucides peut être trop contraignante au niveau palatabilité et calorique pour les athlètes, et surtout qu'elle présente un risque pour leur santé pour un bénéfice sur l'absorption assez faible.

III] L'effet de la supplémentation en créatine sur la performance

« Les niveaux de créatine totale et de phosphocréatine dans le muscle squelettique peuvent être augmentés et les performances d'exercices intermittents de haute intensité améliorées, après une période de supplémentation en créatine. Cependant, ni la performance des exercices d'endurance ni la consommation maximale d'oxygène ne semblent être améliorées. » [1] Nous allons démontrer les effets de la complémentation sur l'augmentation de la force et des performances, et ensuite lors des efforts d'endurance. Il sera intéressant de présenter le rôle de la créatine sur le stockage du glycogène et si sa supplémentation agira sur cette fonction. Finalement nous verrons les limites des études menés sur la supplémentation en créatine concernant le potentiel rôle d'augmentation des performances.

L'augmentation de la force et des performances

« À mesure que les stocks de phosphocréatine s'épuisent, le rendement risque de se détériorer rapidement en raison de l'incapacité de resynthétiser l'ATP au rythme requis » [21] ce qui mènerait à une baisse de la performance sportive. C'est alors que l'hypothèse a été émise concernant les bienfaits d'une supplémentation en créatine pour augmenter les stocks de phosphocréatine et favoriser finalement la performance.

« La découverte la plus constante et la plus importante pour les athlètes est que la supplémentation en créatine associée à de l'entraînement en résistance permet de gagner en force maximale et en performance d'haltérophilie. » [5] Rawson et Volek ont relevés ces bienfaits dans 17 études sur 22 analysées, réalisées sur des haltérophiles. Ils ont noté une augmentation de 8% de la force musculaire [5], donc une augmentation des performances physiques. Nous pouvons donc affirmer qu'avec une augmentation de la force en haltérophilie, les athlètes pourront donc augmenter les charges à l'effort ou réaliser plus de répétitions et sur le long terme améliorer encore plus leurs performances. De plus, les sujets non entraînés comme les débutants ont des gains de force plus importants que les personnes entraînées, à 31% et 14% d'augmentation respectivement. [5]

« Smith et coll. ont signalé que la supplémentation en créatine (20 g/jour 5 jours) augmentait le taux de travail pendant les exercices de 90 à 600 secondes, surtout pendant les exercices plus courts et plus intenses. » [6] « Des résultats récents indiquent que le taux de resynthèse de la phosphocréatine après un exercice intense est amélioré après une supplémentation à forte dose de créatine. Cela permet une récupération plus rapide après les sprints et permet de faire plus de travail lors de chaque effort de haute intensité. » [19] Rejoignant les résultats « d'Arciero et al. qui suggèrent qu'environ 40 % de l'augmentation de la force au cours d'une période d'entraînement de 4 semaines et de supplémentation en créatine est due aux effets aigus de la créatine sur la production de force, l'effet ergogène restant étant dû à un autre mécanisme » [5] tel que la capacité de pouvoir augmenter le volume d'entraînement. Cependant des recherches supplémentaires sont nécessaires pour affirmer ou non cette hypothèse.

Les résultats cités précédemment sont une moyenne des différents sports, généralement anaérobie, courts et intenses comme l'haltérophilie, le sprint et autres disciplines. « Skare et al. ont signalé que la supplémentation en créatine (20 g/jour) a diminué les temps de sprint de 100 m et réduit le temps total de 6 sprints de 60 m dans un groupe de coureurs adolescents bien entraînés. » [6] Concrètement, « il a été rapporté qu'une supplémentation en créatine à court terme améliore le travail effectué pendant des séries de contractions musculaires d'effort maximal (5-15%), la performance de sprint à effort unique (1-5%) et le travail effectué lors de performances de sprint répétitives (5 à 15 %). » [6]

« Par conséquent, il est clair que la supplémentation en créatine augmente le potentiel d'effectuer des exercices de haute intensité, tout comme la charge de glucides, augmente le potentiel d'effectuer des exercices d'endurance à l'épuisement. » [6] Mais est ce que la créatine peut être intéressante en supplémentation pour les athlètes d'endurance ?

Les effets sur la performance en natation et en sport d'endurance

« Un facteur qui peut expliquer les différences dans les études sur la supplémentation en créatine sur les performances sportives est que le gain de poids associé à l'ingestion de créatine pourrait nuire à la performance des sports dans lesquels la masse corporelle est un facteur (c.-à-d., course à pied) ou pour les athlètes participant à des sports dans lesquels des classes de poids sont employées. » [5] Nous remarquons que lors d'un test anaérobie chez des rameurs d'aviron, « les athlètes supplémentés en créatine ont pu continuer à ramer plus longtemps (augmentation moyenne, $12,1 \pm 4,5$ s ; $p < 0,01$) que le groupe placebo ($2,4 \pm 8,2$ s ; ns). Les résultats indiquent que chez les rameurs d'élite, la supplémentation en créatine améliore l'endurance (exprimée par le seuil de lactate individuel) et les performances anaérobies, indépendamment de l'effet d'un entraînement d'endurance intensif. » [24] Leurs performances sont améliorées dans un effort anaérobie leur permettant sur la globalité de leur effort qui est anaérobie au début puis aérobie de présenter de meilleurs résultats.

Cependant ces résultats ne peuvent pas être une généralité pour tous les sports d'endurance. En effet ce sport n'est pas contraint par le poids des athlètes, contrairement aux coureurs qui devront subir leur poids durant l'effort car il n'est pas soutenu par une structure (vélo, aviron etc). « Mujika et al. ont signalé que la supplémentation en créatine (20 g/jour 6 jours) limitait la capacité de saut de 17 joueurs de soccer hautement qualifiés, » [6] car ils doivent subir la prise de poids induite par la supplémentation en créatine. « Trois études de sprint de natation n'ont montré aucun avantage, et l'une d'entre elles a montré une tendance à des temps de nage plus lents de 25 mètres et 50 mètres. » [7] L'hypothèse selon laquelle la supplémentation en créatine améliore l'endurance chez des nageurs d'élite ne peut pas être validée. [6]

« La plupart des données sur les exercices sous-axiaux ou d'endurance n'appuient pas un effet ergogénique de la supplémentation en créatine par voie orale (tableau 4). Ceci est probablement dû à la petitesse du rôle que la phosphocréatine joue dans la fonction musculaire pendant l'exercice de cette nature, ou à une augmentation du poids » [7] gênant ainsi les mouvements ou du moins nécessitant plus d'effort au sportif pour gérer ce poids supplémentaire durant l'effort. De plus, Balsom et al. appuient cet argument « dans une analyse de la performance sur un terrain de 6 km qui a duré 20 à 26 minutes, ils ont signalé une performance supplémentée de créatine qui était 26 secondes plus lente que les performances sans supplémentation, et ont estimé que le gain de poids en était la raison. » [7]

De plus de la prise de poids induite par la supplémentation en créatine, Rawson et al. ont remarqué que la phosphocréatine reste élevée 30 jours après avoir été complémenté à 20g/j pendant 5j. Or ce maintien de la phosphocréatine « correspondait au maintien d'une augmentation de la masse corporelle (2,0 kg). » [5] Donc les athlètes doivent être conscient qu'après l'arrêt de la complémentation en créatine, ses effets persistent encore après. Cela est un donc un paramètre à prendre en compte pour les athlètes soumis à des catégories de poids dans leur pratique comme les judokas ou autre sport de combat. Il faut alors leur conseiller d'arrêter de se supplémenter environ 30j avant leur pesée afin de ne pas interférer leur perte de poids et atteindre dans de meilleures conditions le poids cible.

Le rôle de la créatine sur le stockage du glycogène

« Robinson et al. ont d'abord montré que la supplémentation en créatine associée à un régime riche en glucides pendant 5 jours après un exercice exhaustif entraîne une augmentation de 23 % du glycogène musculaire par rapport à un régime riche en glucides sans créatine. » [5] Les résultats varient entre une augmentation de 14% à 40% selon les études. [5 ; 17] Cependant l'augmentation du glycogène est remarquée uniquement dans la période de chargement (20g/j) et « il n'y avait aucune différence dans les niveaux de glycogène après une période de maintien de 6 semaines consistant en 2,5 g/j de créatine. » [5]

L'amélioration du stockage en glycogène « pourrait expliquer en partie l'effet ergogénique de la créatine sur l'amélioration des performances d'haltérophilie induite par l'entraînement, car il a été démontré que l'augmentation des niveaux de glycogène affecte les performances d'exercice à haute intensité dans certaines études, y compris l'exercice de résistance. » [5] Le glycogène musculaire est la source principale d'apport énergétique en anaérobie, donc en ATP, nécessaire à la contraction musculaire lors du début d'un effort physique ou d'un effort court. Cependant ce stock est faible et limite donc la performance lors d'effort intense à court terme. Si la créatine permet d'augmenter ce stock de glycogène ainsi que les stocks de phosphocréatine alors il y aura plus d'énergie disponible lors de cet effort intense à court terme permettant soit d'augmenter la puissance soit de permettre de faire durer la performance un peu plus longtemps.

Les différences entre la performance en laboratoire et sur le terrain

« Récemment, Kreider a rapporté qu'environ 70 % des études à court terme sur la supplémentation en créatine rapportent certains avantages ergogènes. » [5] Mais une autre problématique survient lorsqu'il faut déterminer la fiabilité des résultats, les effets de la supplémentation en créatine sur les performances sportives sont-elles les mêmes en laboratoire que sur le terrain. « Par exemple, la récente méta-analyse de 100 études de Branch a révélé une amélioration importante de la performance des épisodes répétitifs de tests d'exercices en laboratoire, mais non de tests de performance propres au sport, comme la course ou la natation après une supplémentation à court terme en créatine. » [5] « Les études de supplémentation en créatine sur la course et la natation sont moins convaincantes (tableau 3), et il est possible que cela soit le résultat d'un gain de poids. » [7] Une étude démontre même une performance plus lente en natation sur un sprint de 25m et de 50m. [7]

« Malgré le nombre d'études démontrant une amélioration des performances sur du vélo stationnaire et de l'haltérophilie, le fait que ces études aient été réalisées dans des conditions de laboratoire contrôlées plutôt que dans des conditions de compétition réelle soulève certains doutes quant à savoir si la supplémentation en créatine améliore vraiment les performances athlétiques. » [7] La plupart des efforts réels, sur le terrain, en compétition impliquent généralement qu'une seule rafale d'activité et pas des rafales répétitives comme testé en laboratoire. De plus les résultats concernant une rafale unique ne permettent pas encore de construire une réponse cohérente. Avec les résultats actuels, le seul sport de terrain se rapprochant le plus des conditions de laboratoire est l'haltérophilie. Selon moi, je valide les effets bénéfiques de la supplémentation en créatine pour les haltérophiles même dans des conditions hors laboratoire. Pour les autres disciplines, il sera nécessaire de mener plus d'études avant de formuler une conclusion, pour le moment les résultats ne prouvent pas d'effet positif, ou avec une faible fiabilité, voir même des effets négatifs à la performance.

III] Le rôle de la supplémentation sur la prise de masse

La prise de masse musculaire

La supplémentation en créatine a plusieurs effets comme l'effet ergogénique développé précédemment mais le deuxième effet principal concerne l'hypertrophie musculaire et la prise de masse. Reste à voir si cette masse est maigre, grasse, ou liquide via de la rétention d'eau.

Tout d'abord, « la supplémentation en créatine augmente la taille des muscles pendant l'entraînement de résistance volontaire, mais pas pendant l'entraînement de résistance volontaire associé à de l'électromyostimulation. » [5] Volek et al, Burke et al et Tarnopolsky et al. signalent tous des effets d'hypertrophie des fibres musculaires lors d'une supplémentation en créatine. Selon Volek et al. une supplémentation de 12 semaines avec des entraînements à forte résistance induit « des augmentations significativement plus importantes des zones transversales de fibres musculaires de type I, IIA et IIAB que le placebo. » [5] Burke et al démontrent qu'au bout de 8 semaines, il y a « des augmentations plus importantes dans les fibres musculaires de type II, mais pas dans la zone de fibres de type I. » [5] La zone des fibres musculaires augmente en moyenne entre les études d'environ 20%. [5]

Donc nous pouvons remarquer que les fibres de type 2, nécessaire lors de contractions rapides, se développent beaucoup plus que les autres lors d'une supplémentation en créatine. Cela est cohérent avec l'effet ergogénique de la supplémentation pour des efforts courts et intenses utilisant principalement ce type de fibre musculaire.

« Collectivement, ces études indiquent que la supplémentation en créatine et l'entraînement en résistance influencent l'expression de certains facteurs de régulation myogéniques qui peuvent éventuellement réguler l'expression de myosine à chaîne lourde des muscles squelettiques et de la créatine kinase, ce qui pourrait expliquer une augmentation de la taille et de la force des muscles. » [5]

La majorité des résultats suggèrent « que l'ingestion prolongée de créatine induit une augmentation de la masse maigre. » [25] Cependant le rôle de la créatine favorisant le stockage du glycogène peut induire une rétention d'eau lors de ce même phénomène.

La rétention d'eau

« Il a été démontré que la créatine augmente l'eau corporelle totale, y compris l'eau intracellulaire. Expérimentalement, des changements dans la teneur en eau cellulaire ont été démontrés pour influencer les niveaux de glycogène. » [5]

« Hultman et ses collègues ont démontré une diminution importante (0,6 L) de la production urinaire le premier jour de la charge de créatine (20 g par jour) qui s'est normalisée au cinquième jour. » [7] Cela signifie que 0.6L d'eau a été retenu dans le corps, induisant alors une augmentation de la masse corporelle, qui n'est donc pas due à une augmentation de la masse musculaire. Cependant cette rétention d'eau peut être bénéfique car elle « provoque un gonflement cellulaire, qui peut fournir un signal moléculaire pour augmenter la synthèse musculaire et/ou diminuer la dégradation. L'implication est que des périodes plus longues de supplémentation en créatine résultent en une meilleure synthèse des protéines myofibrillaires. » [7]

Généralement les sportifs se complétement en créatine pratiquent un sport intense et explosif comme de l'haltérophilie ou du bodybuilding. La prise de masse musculaire est alors recherchée cependant en bodybuilding l'apparence du muscle doit être le meilleur possible et donc éviter toute rétention d'eau. Or la complémentation en créatine induit une rétention d'eau. Elle est donc à éviter à l'approche d'une compétition de bodybuilding, on conseillera un arrêt de la supplémentation au minimum environ 30 jours avant la compétition.

Donc nous pouvons affirmer que la supplémentation en créatine induit initialement une rétention d'eau et ainsi une prise de poids qui favorisera par la suite à une meilleure augmentation du diamètre des fibres musculaires.

Conclusion

Tout d'abord, « Les résultats indiquent que la supplémentation en créatine à long terme (jusqu'à 21 mois) ne semble pas avoir d'effet négatif sur les marqueurs de l'état de santé » [8] tels que les reins chez les athlètes.

Selon les résultats des études, deux modes de supplémentation en créatine sont possibles. Le premier est de se supplémenter à hauteur de 0.3g/kg de poids de corps pendant 6j puis de continuer la supplémentation chaque jour à 0.03g/kg de poids de corps. Le second mode est de consommer 3g de créatine tous les jours, cela reviendrait au même effet sur le long terme que le premier mode de supplémentation. En tant que professionnel de la nutrition je conseillerai la complémentation à 3g par jour car elle sera moins contraignante à mettre en place dans le quotidien de l'athlète.

La plupart des résultats obtenus sur les effets ergogéniques ou hypertrophiques doivent être analysés prudemment car la plupart des études sont menées sur un nombre restreint de sujets, rendant les études moins fiables. De plus, la véracité des résultats est toutefois questionnée du fait que les exercices en laboratoires sont souvent différents de ce qui est vécu sur le terrain, pouvant ainsi ne pas rendre efficace la supplémentation sur le terrain.

Dans l'ensemble les résultats montrent qu'une supplémentation en créatine à long terme permet d'augmenter les performances sportives grâce à l'augmentation des stocks en phosphocréatine musculaire. Cependant cet effet ergogénique est noté uniquement dans des efforts courts et intenses, généralement en anaérobie. Les sports utilisant cette filière énergétique sont alors plus à même de bénéficier des bienfaits de la supplémentation en créatine, tout en prenant compte de la limite des études concernant la différence des résultats entre le laboratoire et le terrain, je conseillerai une complémentation en créatine pour des haltérophile où l'effort sera similaire à celui en laboratoire et où la variation de poids ne gênera pas la performance.

Nous pouvons aussi ajouter que la supplémentation en créatine n'est pas bénéfique pour les sports d'endurance dû à la prise de poids.

De plus, la supplémentation en créatine permet une hypertrophie musculaire donc un gain de masse maigre. Cette accréation musculaire est rendue possible uniquement sur le long terme, nous remarquons que sur le court terme, le gain de masse est principalement causé par la rétention d'eau. Cette rétention d'eau sera sur le long terme bénéfique à la prise de masse musculaire. Il faudra toutefois faire attention pour les bodybuilders à arrêter la supplémentation au minimum 1 mois avant la compétition pour éviter toute rétention d'eau lors du passage sur scène.

Il est nécessaire de mener davantage de recherches sur l'effet ergogénique et la fiabilité des résultats sur le terrain. Il est aussi intéressant de prendre en compte les résultats de Sipila et al. qui en 1981 ont montré qu'un patient ingérant 1.5g de créatine par jour était un traitement contre l'atrophie de fibre musculaire de type 2. Donc il est nécessaire de se pencher davantage sur l'expansion des recherches concernant les potentiels avantages thérapeutiques de la supplémentation en créatine pour diverses populations cliniques.

Le résumé en anglais :

Creatine is known for its benefits such as improved sports performance and lean mass gain. In this article we have demonstrated the role of creatine in muscle, then we have determined the right dosage to prescribe for supplementation. In addition, we analyzed the effects on sports performance and then on muscular hypertrophy.

Firstly, Creatine supplementation enables to synthesize phosphocreatine needed during muscle contraction. The more phosphocreatine there is during an anaerobic muscle contraction, the more the muscle is able to synthesize ATP and thus contract the muscle. Finally, it enables the muscle to support a higher workload or keep a similar load as before the supplementation but be able to achieve it longer.

In addition, we assessed that creatine supplementation could be achieved in two different ways. The first is to supplement to 0.3g/kg of body weight for 6 days and then continue the daily supplementation to 0.03g/kg of body weight. The second way is to consume 3g of creatine every day, it would amount to the same long-term effect as the first mode of supplementation.

Second, the results show that long-term creatine supplementation can increase sports performance for short and intense efforts, usually in the anaerobic energy system. This increase in performance is due to increased stocks of muscle phosphocreatine.

Finally, creatine supplementation allows muscle hypertrophy and thus lean mass gain. In the short term, supplementation induces a water retention resulting in an increase in body mass. This water retention improves the development of muscle mass in the long term.

In conclusion, creatine supplementation allows for better sports performance, but more research is needed to make the results more reliable on the ground. In addition, supplementation allows also an increase in muscle mass.

Les annexes :

Tableau 1 : Concentration en créatine dans des aliments crus*

Juhn, M. S., & Tarnopolsky, M. (1998). Oral creatine supplementation and athletic performance: a critical review. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 8(4), 286-297.

* Il peut y avoir une dégradation partielle de la créatine durant la cuisson, cependant le pourcentage n'est pas connu

Food	Creatine content (g/kg)
Herring	6.5–10
Pork	5.0
Beef	4.5
Salmon	4.5
Tuna	4.0
Cod	3.0
Milk	0.1
Cranberries	0.02
Shrimp	trace

Tableau 2 : Evolution de la concentration en créatine totale dans les muscles.

Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G., & Greenhaff, P. L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of applied physiology*, 81(1), 232-237.

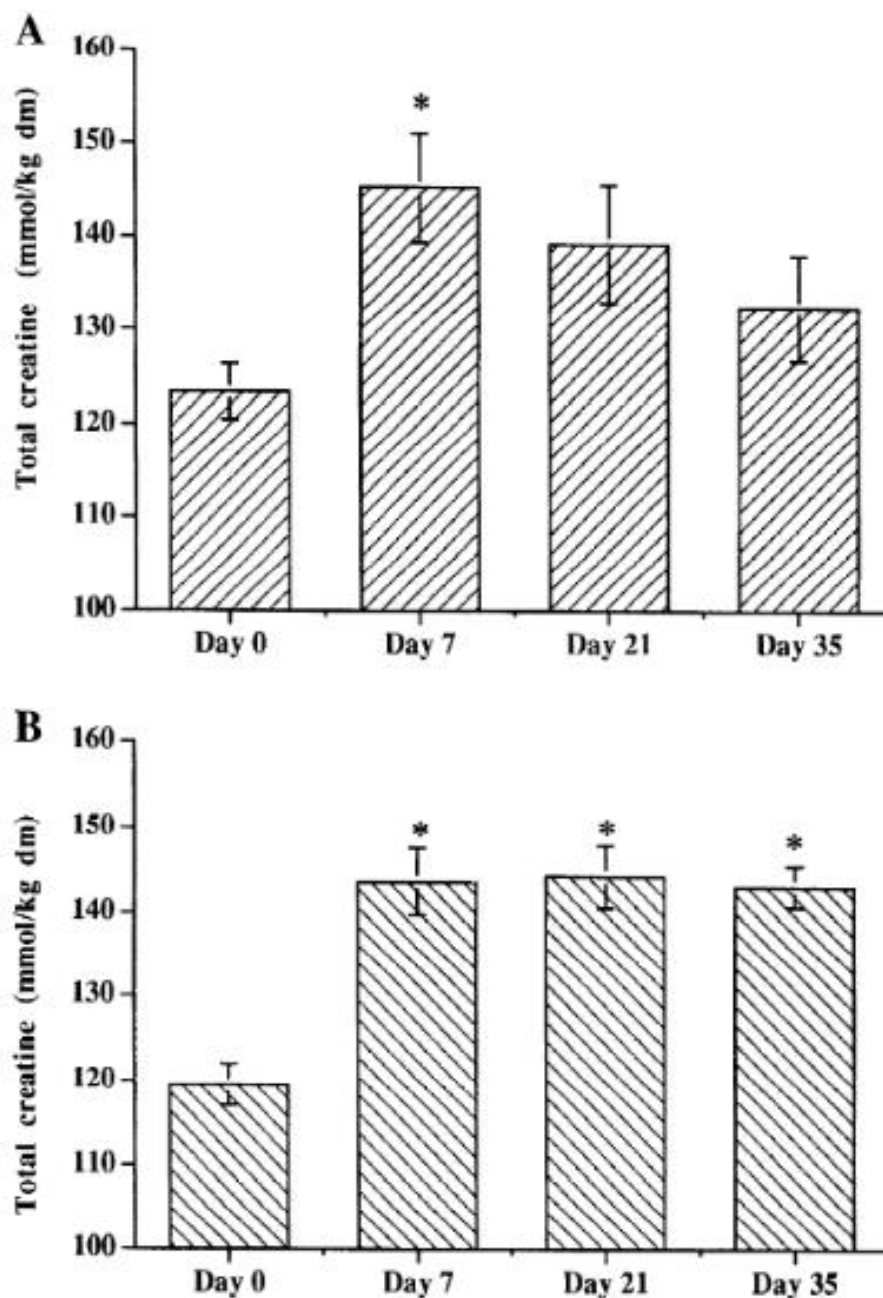


Fig. 1. A: muscle total creatine concentration in experimental *group 1* ($n = 6$). All subjects ingested 20 g of creatine for 6 consecutive days, and muscle biopsy samples were obtained before ingestion (*day 0*) and on *days 7, 21, and 35*. B: muscle total creatine concentration in experimental *group 2* ($n = 9$). All subjects ingested 20 g of creatine for 6 consecutive days and thereafter ingested creatine at a rate of 2 g/day for the next 28 days. Muscle biopsy samples were taken before ingestion (*day 0*) and on *days 7, 21, and 35*. Values are means \pm SE. dm, Dry mass. *Significantly different from *day 0*, $P < 0.05$.

Tableau 3 : Etudes sur des sprints en course à pied, des sprints en natation, et en saut (activités plus dépendantes de la masse corporelle)

Juhn, M. S., & Tarnopolsky, M. (1998). Oral creatine supplementation and athletic performance: a critical review. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 8(4), 286-297.

Author	Creatine dose	Subjects	Activity	Test	Results
Javierre 1997 (37)	25g daily for 3 days in flavored water PL: flavored water	12 national class sprinters	Running	150 m sprint	No improvement in running time
Redondo 1996 (49)	25g Cr/5g gluc daily for 7 days in tea or coffee PL: 25g gluc daily	8 M, 14 F, collegiate soccer or field hockey (age 20.6, 66.6 kg)	Running	3 x 60 m sprints (7-8 seconds each), 2-minute recovery periods.	No improvement in running velocity
Burke 1996 (11)	20g Cr/8g sucrose daily for 5 days PL: 20g polycose/ 8g suc daily	18 M, 14F elite swimmers	Swimming	25, 50, and 100 m sprints, 10-minute recovery periods;	No improvement at any distance
Mujika 1996 (44)	20g daily for 5 days PL: 20g lactose daily	11 M, 9 F elite swimmers (age 19.9, 70.3 kg)	Swimming	25, 50, and 100 m sprints 20-25-minute recovery periods	No improvement at any distance; Trend of slower times in 25 m and 50 m sprints
Thompson 1996 (62)	2g daily x 6 wks w/water PL: ?	10 F, univ. swimmers (45.7 kg)	Swimming	1 x 100 m sprint, 1 x 400 m	No improvement in swim times
Grindstaff 1997 (29)	21g Cr/4.2g malodextrin daily for 9 days in water or juice PL: 25.2g malodextrin daily	7 M, 11 F nationally competitive juniors (age 15.3, 61 kg)	Swimming	3 x 100 m freestyle sprints, 60-second recovery periods	No improvement in Heat 1 and Heat 3; 0.93 seconds (1.4%) faster versus pre-supp in Heat 2
Bosco 1997 (10)	20g Cr w/gluc daily for 5 days PL: gluc	6 M athletes (age 20.5, 74.7 kg)	Jumping (for height)	Continuous jumping for 5 seconds Continuous jumping for 45 seconds	5-second jumping: No improvement avg power output; No improvement avg jump height 45-second jumping: 7% higher jumping ht in first 15 seconds; 15% higher in second 15 seconds; No improvement in third 15 seconds; No improvement in avg power output

Cr = creatine monohydrate; PL = placebo; gluc = glucose; M = males; F = females

Tableau 4 : Études évaluant l'haltérophilie ou des groupes spécifiques d'activité musculaire

Juhn, M. S., & Tarnopolsky, M. (1998). Oral creatine supplementation and athletic performance: a critical review. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 8(4), 286-297.

Author	Creatine dose	Subjects	Activity	Test	Results
Earnest 1995 (20)	25g daily for 28 days PL: gluc	8 M, weight-trained (age 30, 86.5 kg)	Weight lifting	1 max bench press, and max repetitions at 70% of max bench press until fatigue	6% increase in max bench press; 4 (26%) more reps at 70% max
Kreider 1998 (39)	15.75g Cr, 99g gluc, 3g taurine, 1.1g diNaPO ₄ , 1.2g KPO ₄ daily for 28 days PL: same, but no Cr.	25 M, NCAA Div IA football players Subjects trained during the 28 days	Weight lifting	Max reps bench press (approx 4-8 lifts total) Max reps squat Max reps power clean	225 kg inc in total volume bench press; No increase vs PL in squats, power clean; 453 kg increase vs PL in total sum of bench press, squats, power clean
Vanden- berghe 1997 (63)	20g daily for 4 days, then 5g daily for 10 weeks PL: maldextrin	19 F, sedentary (age 20.5, 59.1 kg) Subjects trained during the 10 weeks	Weight lifting	1-rep max leg press, leg ext, leg curls, squats, shoulder press; Intermittent arm flexion	20-25% increase vs. PL in 1-rep max of leg press, leg extension, and squat; Trend of greater strength in bench press and leg curls ($p < 0.15$); No increase in shoulder press; 10-25% increase vs. PL in intermittent exercise capacity of arm flexors
Volek 1997 (64)	25g daily for 7 days PL: cellulose	14 M, resistance trained (age 24, 77.7 kg)	Weight lifting; Jump squats	A: 5 sets bench press to failure using subject's 10-rep max, 2 minute recovery periods; B: 5 sets of 10 reps jumping, at 30% of 1-rep max, 2 minute recovery periods	A: 1-2.3 more presses in all bouts; B: 50W (4%) inc in peak power all bouts
Andrews 1998 (1)	20g daily for 5 days PL: ?	20 M with CHF (age 63.5)	Muscle contraction	Handgrip contractions 5 s grip/5 s rest x 30 times, at 25%, 50%, and 75% max, then until exhaustion	No improvement at 25% max; No improvement at 50% max; Increased # contractions at 75% max
Gordon 1995 (23)	20g Cr w/gluc daily for 10 days PL: gluc	17 M with CHF Ejection fraction 29 ± 8% (age 43-70, 85 kg)	Muscle contraction	One-legged knee extensions, 60 contractions/minute Two-legged incremental exercise w/increase of 10 W/minute	No effect on cardiac ejection fraction; 10% increase in 2-legged performance; 21% increase in one-legged performance; 5% increase in peak torque
Greenhaff 1993 (28)	20g Cr/4g gluc daily for 5 days in warm tea or coffee PL: 24g gluc daily	12 M, active but not highly trained	Muscle contraction	5 bouts of 30 max knee extensions, 1 min recovery periods	5% increase in total peak torque in bouts 2,3,4, and during the final 10 contractions in bout 1, and during contractions 11-20 in bout 5
Turno- polsky* 1997 (59)	10g daily for 2 weeks, then 4g daily for 1 week in juice, milk, or tea PL: glucose	3 M, 4 F with mitochondrial cytopathies (age 25-64, 57-88 kg)	Muscle contraction	Isometric hand gripping 9 seconds grip, 1-second rest cycle; Ankle dorsiflexion 15 seconds: 1-second work:rest x 2 minutes)	19% increase in grip strength; 11% increase in dorsiflexion torque

Cr = creatine monohydrate; PL = placebo; gluc = glucose; M = males; F = females
* cross-over study

Sources bibliographiques :

- [1] Balsom, P. D., Söderlund, K., & Ekblom, B. (1994). Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports medicine*, 18(4), 268-280.
- [2] Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, J. A., Cederblad, G., & Greenhaff, P. L. (1996). Muscle creatine loading in men. *Journal of applied physiology*, 81(1), 232-237.
- [3] Harris, R. C., Söderlund, K., & Hultman, E. (1992). Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical science*, 83(3), 367-374.
- [4] Lawler, J. M., Barnes, W. S., Wu, G., Song, W., & Demaree, S. (2002). Direct antioxidant properties of creatine. *Biochemical and biophysical research communications*, 290(1), 47-52.
- [5] Volek, J. S., & Rawson, E. S. (2004). Scientific basis and practical aspects of creatine supplementation for athletes. *Nutrition*, 20(7-8), 609-614.
- [6] Kreider, R. B. (2003). Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Molecular and cellular biochemistry*, 244(1), 89-94.
- [7] Juhn, M. S., & Tarnopolsky, M. (1998). Oral creatine supplementation and athletic performance: a critical review. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 8(4), 286-297.
- [8] Kreider, R. B., Melton, C., Rasmussen, C. J., Greenwood, M., Lancaster, S., Cantler, E. C., ... & Almada, A. L. (2003). Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. *Molecular and cellular biochemistry*, 244(1), 95-104.
- [9] Poortmans, J. R., & Francaux, M. (1999). Long-term oral creatine supplementation does not impair renal function in healthy athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(8), 1108-1110.
- [10] Poortmans, J. R., & Francaux, M. (2000). Adverse effects of creatine supplementation. *Sports Medicine*, 30(3), 155-170.
- [11] Engelhardt, M. A. R. T. I. N., Neumann, G., Berbalk, A., & Reuter, I. (1998). Creatine supplementation in endurance sports. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(7), 1123-1129.
- [12] Mujika, I., & Padilla, S. (1997). Creatine supplementation as an ergogenic aid for sports performance in highly trained athletes: a critical review. *International journal of sports medicine*, 18(07), 491-496.

- [13] Mayhew, D. L., Mayhew, J. L., & Ware, J. S. (2002). Effects of long-term creatine supplementation on liver and kidney functions in American college football players. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 12(4), 453-460.
- [14] Schröder, H., Terrados, N., & Tramullas, A. (2005). Risk assessment of the potential side effects of long-term creatine supplementation in team sport athletes. *European journal of nutrition*, 44(4), 255-261.
- [15] Poortmans, J. R., Auquier, H., Renaut, V., Durussel, A., Saugy, M., & Brisson, G. R. (1997). Effect of short-term creatine supplementation on renal responses in men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 76(6), 566-567.
- [16] Bazzucchi, I., Felici, F., & Sacchetti, M. (2009). Effect of short-term creatine supplementation on neuromuscular function. *Med Sci Sports Exerc*, 41(10), 1934-41.
- [17] Bassit, R. A., Pinheiro, C. H. D. J., Vitzel, K. F., Sproesser, A. J., Silveira, L. R., & Curi, R. (2010). Effect of short-term creatine supplementation on markers of skeletal muscle damage after strenuous contractile activity. *European journal of applied physiology*, 108(5), 945-955.
- [18] Percário, S., Domingues, S. P. D. T., Teixeira, L. F. M., Vieira, J. L. F., de Vasconcelos, F., Ciarrocchi, D. M., ... & Conte, M. (2012). Effects of creatine supplementation on oxidative stress profile of athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 1-8.
- [19] Maughan, R. J. (1995). Creatine supplementation and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 5(2), 94-101.
- [20] Barnett, C., Hinds, M., & Jenkins, D. G. (1996). Effects of oral creatine supplementation on multiple sprint cycle performance. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 28(1), 35-39.
- [21] Kreider, R. B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., ... & Almada, A. L. (1998). Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 30, 73-82.
- [22] Izquierdo, M. I. K. E. L., Ibanez, J. A. V. I. E. R., González-Badillo, J. J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(2), 332-343.
- [23] Burke, L. M., Pyne, D. B., & Telford, R. D. (1996). Effect of oral creatine supplementation on single-effort sprint performance in elite swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 6(3), 222-233.

[24] Chwalbińska-Moneta, J. (2003). Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 13(2), 173-183.

[25] LOON, L. J. V., Oosterlaar, A. M., Hartgens, F., Hesselink, M. K., Snow, R. J., & Wagenmakers, A. J. (2003). Effects of creatine loading and prolonged creatine supplementation on body composition, fuel selection, sprint and endurance performance in humans. *Clinical science*, 104(2), 153-162.