

ANNEXE MÉTHODOLOGIQUE

Évaluation systématique et multi-critères des Wheys Protéines

1. Segmentation des produits

Afin de comparer les diverses **wheys protéines** du marché, il peut être nécessaire de les étiqueter. Cependant, la segmentation produit **n'influe pas** sur le scoring.

Il y a 2 classifications et 2 indicateurs binaires (*présence/absence*).

Type de matière(s) première(s)

La classification repose sur la dénomination et les ingrédients.

Concentré : Majorité de **WPC** ou **Concentré de lactosérum**.

Isolat : Majorité de **WPI** ou **Isolat de lactosérum**.

Autre : Minorité de concentré et/ou d'isolat. L'évaluation exclut ces produits.

Clear whey

Mention **Clear** ou **Clarifié** dans la liste d'ingrédients ou dans le texte de vente.

Profil aromatique

La classification repose sur la flaveur.

Nature : Whey neutre/brute, sans additifs.

Classique : 1 seule note (*chocolat au lait, vanille...*).

Élaboré : Multi-notes, pâtisseries, inclusions.

Hydrolysats

Mention **Hydrolysats** ou **Hydrolysé** dans la liste d'ingrédients ou dans le texte de vente, la/les whey(s) hydrolysée(s) représentant **50% ou plus** des ingrédients.

2. Le score Économique S_{Eco}

Ce score relatif dépend totalement de l'échantillon pris en compte, et évalue le coût réel ramené au kilo de protéine pure des produits analysés. Il isole l'efficacité budgétaire brute sans pénaliser la contenance ou le format du produit analysé.

Nature : Score relatif chiffré dans $[0, 10]$, **dépendant** de l'échantillon comparé.

Objectif : Mesurer l'efficacité économique pure (*NB : prend en compte les frais de port minimaux le cas échéant*).

Principe : Normalisation affine décroissante sur la catégorie avec winsorisation 5%-95%.

Calcul du taux de protéines t_{Prot}

$$t_{Prot} = \frac{\text{Qté de protéines aux 100g(g)}}{100}$$

La quantité de protéines prise en compte est celle du tableau nutritionnel

Calcul du prix protéique P_{Prot}

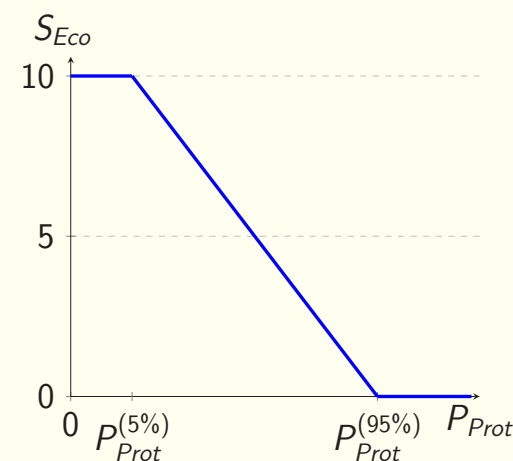
$$P_{Prot} = \frac{\text{Prix facial(€)} + \text{Frais de port(€)}}{\text{Qté de produit(kg)} \times t_{Prot}}$$

Les frais de port retenus sont ceux appliqués au produit seul.

SCORE — Calcul du score économique S_{Eco}

$$S_{Eco} = \begin{cases} 10 & \text{si } P_{Prot} < P_{Prot}^{(5\%)} \\ 10 \times \frac{P_{Prot}^{(95\%)} - P_{Prot}}{P_{Prot}^{(95\%)} - P_{Prot}^{(5\%)}} & \text{si } P_{Prot}^{(5\%)} \leq P_{Prot} \leq P_{Prot}^{(95\%)} \\ 0 & \text{si } P_{Prot} > P_{Prot}^{(95\%)} \end{cases}$$

Avec $P_{Prot}^{(5\%)}$ et $P_{Prot}^{(95\%)}$ le 5ème et le 95ème centile de tous les prix protéiques considérés.



Il peut être logiquement possible de filtrer a posteriori sur le prix, dans le cadre d'un budget max par exemple.

3. Le score Anabolique S_{Ana}

Ce score est une mesure idéalement quasi-absolue de l'efficacité de la synthèse musculaire suivant la prise d'un shaker de produit analysé. Il dépend du poids ainsi que de l'âge considérés, fixés par défaut à 67 kg et 27 ans. Si le fabricant fournit une dose recommandée pour le shaker (**DPS**), elle est prise en compte ; sinon, une dose standard de 30 g est utilisée pour les calculs.

Nature : Score idéalement quasi-absolu chiffré dans $[0, 10]$, **idéalement peu dépendant** de l'échantillon comparé.

Objectif : Mesurer l'efficacité du produit dans la construction musculaire.

Principe : Combinaison pondérée de 3 sous-scores concernant la densité protéique (**15%**), la quantité de leucine (**45%**), et la quantité d'AAE ainsi que leur répartition (**40%**).

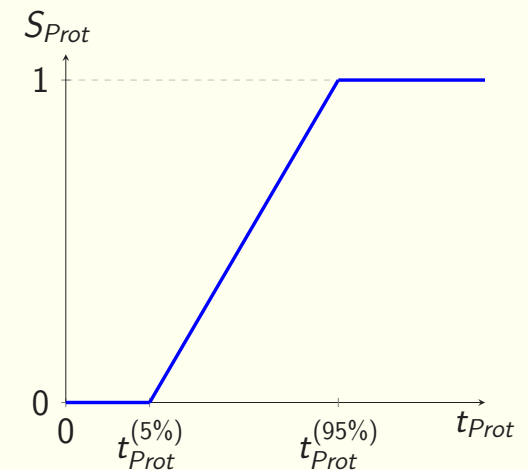
Sous-score S_{Prot}

Ce sous-score relatif dépend totalement de l'échantillon pris en compte, et évalue la densité protéique pure des produits analysés, pénalisant ceux encombrés par des éléments diluant la cinétique d'absorption des AAE.

SOUS-SCORE — Calcul du sous-score S_{Prot}

$$S_{Prot} = \begin{cases} 0 & \text{si } t_{Prot} < t_{Prot}^{(5\%)} \\ \frac{t_{Prot} - t_{Prot}^{(5\%)}}{t_{Prot}^{(95\%)} - t_{Prot}^{(5\%)}} & \text{si } t_{Prot}^{(5\%)} \leq t_{Prot} \leq t_{Prot}^{(95\%)} \\ 1 & \text{si } t_{Prot} > t_{Prot}^{(95\%)} \end{cases}$$

Avec $t_{Prot}^{(5\%)}$ et $t_{Prot}^{(95\%)}$ le 5ème et le 95ème centile de tous les taux de protéines considérés.



3. Le score Anabolique S_{Ana} (SUITE)

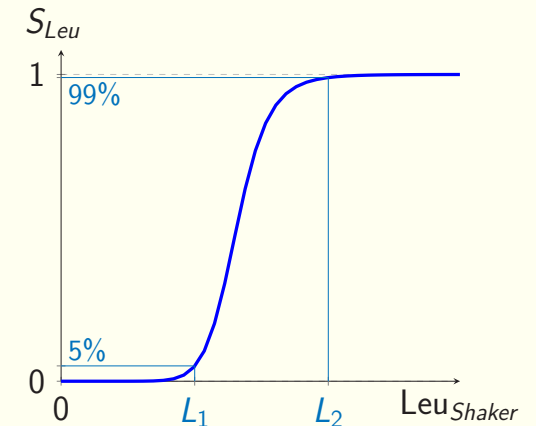
Sous-score S_{Leu}

Ce sous-score est idéalement absolu et indépendant de l'échantillon, mais dépend du poids et de l'âge de l'individu. Il évalue la quantité de leucine^[1] (*AA activateur d'anabolisme*) dans un shaker de produit analysé.

SOUS-SCORE — Calcul du sous-score S_{Leu}

$$S_{Leu} = \frac{Leu_{Shaker}^{n_{Leu}}}{Leu_{Shaker}^{n_{Leu}} + K_{Leu}^{n_{Leu}}} \quad \text{où} \quad \begin{cases} n_{Leu} = \frac{\ln 1881}{\ln L_2 - \ln L_1} \\ K_{Leu} = L_1 \times 19^{1/n_{Leu}} \end{cases}$$

Avec L_1 seuil à 5% et L_2 seuil à 99% traduisant les effets biologiques^[2].
En-dessous de L_1 , le corps ne lance pas de synthèse musculaire.
Au-dessus de L_2 , les muscles sont saturés et la leucine excédentaire est oxydée.
Entre L_1 et L_2 , l'activation de la synthèse musculaire est dose-dépendante.



Voir encadrés 4 et 5 pour la détermination systématique de L_1 , L_2 et Leu_{Shaker} .

Certaines marques fournissent l'aminogramme complet, d'autres des informations plus parcellaires (*BCAA, leucine totale, etc...*) : la détermination de la quantité de leucine est donc plus ou moins facile et fiable. Pour récompenser la transparence s'applique ainsi un coefficient de confiance C_{Leu} au sous-score leucinique. Il affecte une pénalité reflétant la fiabilité du calcul.

Voir encadré 6 pour la détermination de C_{Leu} .

3. Le score Anabolique S_{Ana} (SUITE)

Sous-score S_{AAE}

Ce sous-score est idéalement absolu et indépendant de l'échantillon, mais dépend du poids et de l'âge de l'individu. Il évalue la quantité d'acides aminés essentiels^[1] (*nécessaires à l'anabolisme*), abrégés **AAE**, des produits analysés dans un shaker, ainsi que le profil de leur répartition selon un idéal^[5] (*au sens d'une production minimale d'urée*), pour déterminer la quantité utile d'AAE dans un shaker.

	Isoleucine	Leucine	Lysine	Méthionine	Phénylalanine	Thréonine	Tryptophane	Valine	Déchets
Ratio idéal^[5]	14,83%	19,64%	14,29%	5,99%	12,89%	11,11%	3,68%	16,57%	1,00%

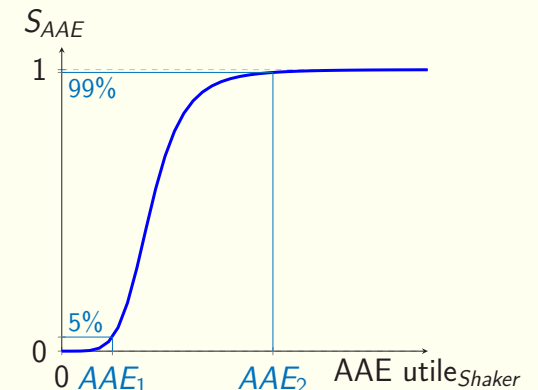
Calcul de la quantité utile d'AAE

$$\text{Utilisation d'AAE}^{[5],[6]} = 0,99 \times \min_{\substack{AA_k \in AAE, \\ His \text{ exclue}}} \frac{\text{Ratio}_{AA_k}}{\text{Ratio idéal}_{AA_k}} \Rightarrow \text{AAE utile}_{Shaker} = \text{Utilisation d'AAE} \times \text{AAE}_{Shaker}$$

SOUS-SCORE — Calcul du sous-score S_{AAE}

$$S_{AAE} = \frac{\text{AAE utile}_{Shaker}^{n_{AAE}}}{\text{AAE utile}_{Shaker}^{n_{AAE}} + K_{AAE}^{n_{AAE}}} \quad \text{où} \quad \begin{cases} n_{AAE} = \frac{\ln 1881}{\ln AAE_2 - \ln AAE_1} \\ K_{AAE} = AAE_1 \times 19^{1/n_{AAE}} \end{cases}$$

Avec AAE_1 seuil à 5% et AAE_2 seuil à 99% traduisant les effets biologiques^[5].
En-dessous de AAE_1 , pas de gain musculaire mesurable.
Au-dessus de AAE_2 , les muscles sont saturés et les AAE excédentaires sont oxydés.
Entre AAE_1 et AAE_2 , la synthèse musculaire est dose-dépendante.



Voir encadrés 4 et 5 pour la détermination systématique de chaque $Ratio_i$, AAE_{Shaker} , AAE_1 et AAE_2 .

3. Le score Anabolique S_{Ana} (SUITE)

Comme pour la leucine encore une fois, la détermination de la quantité de chaque AAE est plus ou moins facile et fiable selon la communication des marques. Pour récompenser la transparence s'applique ainsi un coefficient de confiance C_{AAE} au sous-score aminoacidique.

Il affecte une pénalité reflétant la fiabilité du calcul. Voir encadré 6 pour la détermination de C_{AAE} .

Score final S_{Ana}

La combinaison de tous les sous-scores et des coefficients de confiance donne le score anabolique.

SCORE — Calcul du score anabolique S_{Ana}

$$S_{Ana} = 1,5 \times S_{Prot} + 4,5 \times S_{Leu} \times C_{Leu} + 4 \times S_{AAE} \times C_{AAE}$$

4. Les Seuils Leuciques L_1/L_2 et Aminoacidiques AAE_1/AAE_2

Les seuils minimaux et maximaux dépendent de l'âge (*une résistance à l'anabolisme grandissant avec les années*) et du poids (*pour refléter au mieux la masse musculaire ou la résistance à l'anabolisme du tissu adipeux*).

Coefficient d'âge C_{Age}

Le coefficient d'âge reflète la résistance anabolique^{[2],[4],[6]}.

La recherche s'accorde généralement à dire qu'au-delà de 65 ans, il y a résistance anabolique. C'est pourquoi on modélisera le fait qu'a priori, avant 40 ans, il n'y a aucune résistance anabolique, qu'après 70 ans, la résistance est certaine, et qu'entre 40 et 70 ans, la résistance s'installe, de plus en plus vite que l'on prend de l'âge.

4. Les Seuils Leuciniques L_1/L_2 et Aminoacidiques AAE_1/AAE_2 (SUITE)

Calcul du coefficient d'âge C_{Age}

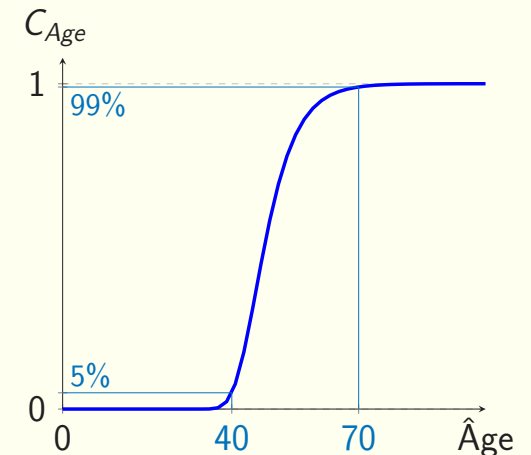
$$C_{Age} = \exp(-b \times \exp(-a \times \hat{Age})) \quad \text{où} \quad \begin{cases} a = \frac{\ln |\ln 0,05| - \ln |\ln 0,99|}{30} \\ b = -\frac{\ln 0,05}{\exp(-40 \times a)} \end{cases}$$

Avec 40 ans le seuil à 5% et 70 ans le seuil à 99% de résistance anabolique^{[2],[4],[6]}.

En-dessous de 40 ans, pas de résistance notable.

Au-dessus de 70 ans, la résistance anabolique est installée.

Entre 40 ans et 70 ans, la résistance augmente exponentiellement.



Avec l'individu-type de 67 kg et 27 ans, $C_{Age} \approx 4,33 \times 10^{-16} \approx 0$.

Seuils leuciniques L_1 et L_2

Ce sont les seuils, pour une prise isolée de leucine, reflétant le déclenchement la synthèse musculaire^{[1],[2]}.

Trop peu de leucine et les cellules ne seront pas assez stimulées (*et donc ne synthétiseront pas de muscle supplémentaire*), trop de leucine et le surplus sera oxydé pour de l'énergie^[3]. Un seuil minimal âge-dépendant est pris en compte^{[3],[4]}.

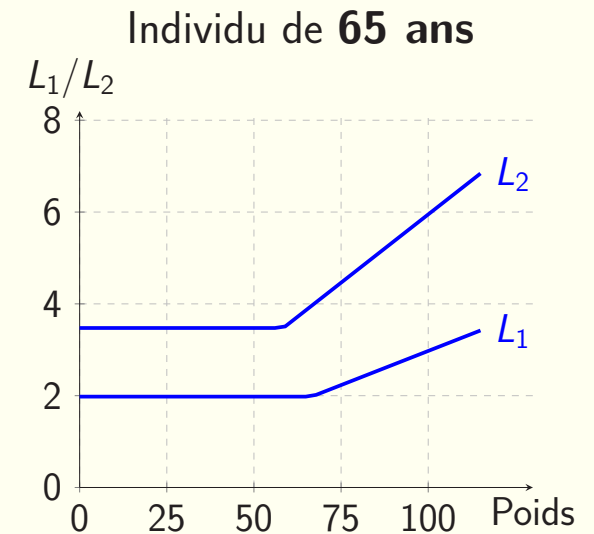
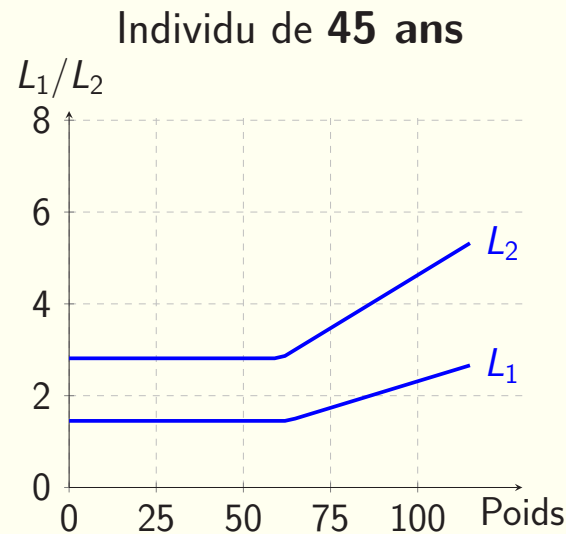
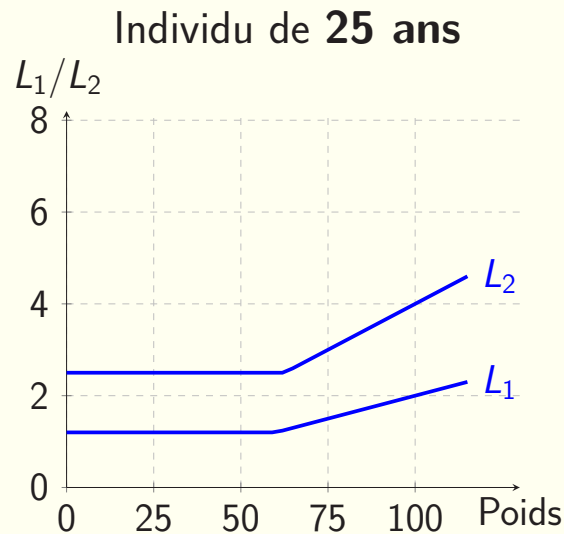
Calcul du seuil leucinique minimal L_1

$$L_1 = \max \begin{cases} 1,2 + 0,8 \times C_{Age} \\ (0,02 + 0,01 \times C_{Age}) \times \text{Poids} \end{cases}$$

Calcul du seuil leucinique maximal L_2

$$L_2 = \max \begin{cases} 2,5 + 1 \times C_{Age} \\ (0,04 + 0,02 \times C_{Age}) \times \text{Poids} \end{cases}$$

4. Les Seuils Leuciniques L_1/L_2 et Aminoacidiques AAE_1/AAE_2 (SUITE)



Avec l'individu-type de 67 kg et 27 ans, $L_1 = 1,34$ g de leucine et $L_2 = 2,68$ g de leucine par shaker.

Seuils aminoacidiques AAE_1 et AAE_2

Ce sont les seuils, pour une prise isolée d'acides aminés essentiels avec un profil parfait (*utilisation à 99%*), reflétant la synthèse musculaire^{[1],[5]}.

Trop peu d'AAE et l'anabolisme ne sera pas majoritaire face au catabolisme, trop d'AAE et le surplus sera oxydé pour de l'énergie, les cellules musculaires étant saturées^[5]. Un seuil minimal âge-dépendant est pris en compte^[6].

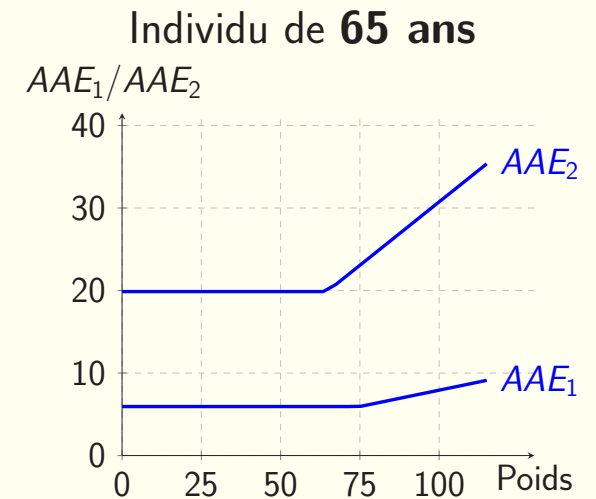
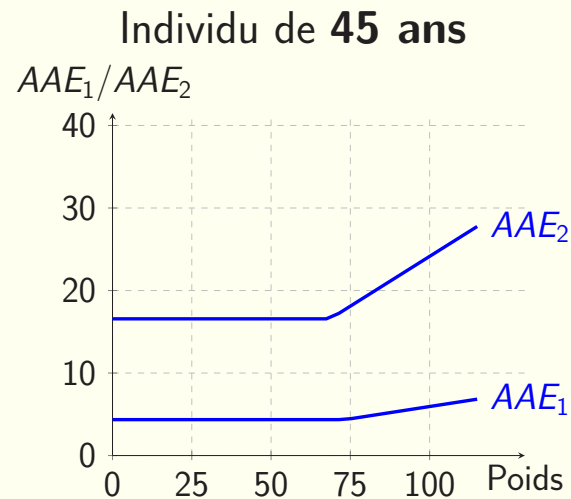
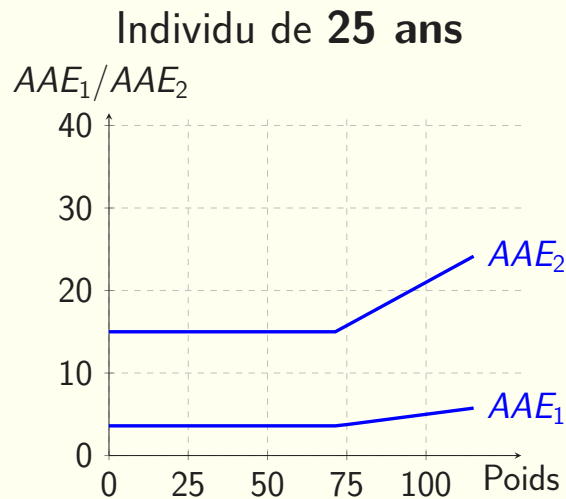
Calcul du seuil aminoacidique minimal AAE_1

$$AAE_1 = \max \begin{cases} 3,6 + 2,4 \times C_{Age} \\ (0,05 + 0,03 \times C_{Age}) \times \text{Poids} \end{cases}$$

Calcul du seuil aminoacidique maximal AAE_2

$$AAE_2 = \max \begin{cases} 15 + 5 \times C_{Age} \\ (0,21 + 0,1 \times C_{Age}) \times \text{Poids} \end{cases}$$

☰ 4. Les Seuils Leuciniques L_1/L_2 et Aminoacidiques AAE_1/AAE_2 (SUITE)



Avec l'individu-type de 67 kg et 27 ans, $AAE_1 = 3,6$ g d'AAE et $AAE_2 = 15$ g d'AAE par shaker.

⚖ 5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios

Légalement, les marques ne sont tenues de communiquer que sur le tableau nutritionnel. Certaines mentionnent l'aminogramme complet, nécessaire pour calculer le score anabolique (cf. encadré 3), d'autres non.

C'est pourquoi, pour chaque whey ne disposant pas de la description complète des 9 AAE, on appliquera un algorithme d'optimisation extrapolant au mieux les données, sur la base des informations partielles fournies d'une part, et des informations moyennes obtenues via les wheys à aminogramme complet d'autre part.

C'est la raison de l'appellation **sous-score idéalement absolu et indépendant** (cf. encadré 3).

⚖ 5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios (SUITE)

Unités, conversions et notations

Il existe 3 unités possibles **U₁**, **U₂**, **U₃** pour les données d'acides aminés.

Code	Description	Convention de nommage pour une quantité Q
U_1	g d'acide aminé aux 100g de protéines	Q
U_2	g d'acide aminé aux 100g de produit fini	$Q_{Produit}$
U_3	g d'acide aminé dans la DPS	Q_{Shaker}

*Rappel : La **DPS** est la dose par shaker recommandée par le fabricant, fixée à 30g si non-communicuée.*

Par défaut, on préférera toujours travailler, en interne, sous **U₁**, et produire, en sortie des données sous **U₃**. D'où le tableau de conversion suivant.

Entrée	Sortie	Formule	Entrée	Sortie	Formule
U_2	U_1	$Q = Q_{Produit} \times \frac{1}{t_{Prot}}$	U_1	U_3	$Q_{Shaker} = Q \times \frac{t_{Prot} \times DPS}{100}$
U_3	U_1	$Q = Q_{Shaker} \times \frac{100}{DPS \times t_{Prot}}$	U_2	U_3	$Q_{Shaker} = Q_{Produit} \times \frac{DPS}{100}$

Rappel : t_{Prot} est le taux de protéines dont le calcul est donné à l'encadré 2.

Les quantités des 9 acides aminés sont notées via les 3 premières lettres (*par exemple, His_{produit} pour la quantité d'histidine selon **U₂**, autrement dit aux 100g de produit fini*). Il en va de même pour des groupes, par exemple les BCAA, dont la quantité totale sous **U₁** est notée **BCAA**.

5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios (SUITE)

Wheys à aminogramme complet OU restreint seulement aux 9 AAE

La quantité de leucine dans la DPS **Leu_{Shaker}** est obtenue directement.

La quantité totale d'AAE dans la DPS **AAE_{Shaker}** est obtenue via somme des 9 quantités d'AAE, même si cette information est présente directement en plus de l'aminogramme (*il y a prévalence des informations particulières*).

Calcul de AAE_{Shaker}

$$AAE_{Shaker} = (\text{His} + \text{Iso} + \text{Leu} + \text{Lys} + \text{Met} + \text{Phe} + \text{Thr} + \text{Try} + \text{Val}) \times \frac{t_{Prot} \times \text{DPS}}{100}$$

Les 8 ratios de composition **Ratio_{AA_i}** (*l'histidine étant exclue*) sont obtenus via les 8 quantités d'AAE.

Calcul de Ratio_{AA_i}, AA_i ∈ AAE \ {Histidine}

$$\text{Ratio}_{AA_i} = \frac{AA_i}{\text{Iso} + \text{Leu} + \text{Lys} + \text{Met} + \text{Phe} + \text{Thr} + \text{Try} + \text{Val}}$$

Valeurs natives moyennes

Afin d'obtenir un profil natif moyen d'AAE pour extrapolation ultérieure, à la fois représentatif du marché et cohérent dans le scoring global, on raisonne sur les wheys à aminogramme complet ou restreint seulement aux AAE. Autrement dit, le profil natif moyen est déterminé par l'échantillon lui-même, pour peu qu'il contienne au moins une whey à aminogramme complet ou restreint seulement aux AAE.

Notons que ces wheys peuvent avoir été **spikées**, ou boostées en protéines, via ajout d'acide(s) aminé(s).

5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios (SUITE)

Pour ne pas introduire de biais de pondération liés aux déclinaisons commerciales (*arômes et conditionnements notamment*), le calcul des quantités natives moyennes d'AAE s'effectue ainsi :

Normalisation par gamme : Pour chaque produit source, les profils sont préalablement dé-spikés puis moyennés par fusion des variantes d'arômes et de formats.

Agrégation globale : Une moyenne simple est ensuite appliquée sur l'ensemble des profils de gamme préalablement obtenus.

Soit $\mathbf{G} = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_N\}$ l'ensemble des N gammes de produit.

Soit $\mathbf{V} = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_N\}$ l'ensemble des N ensembles de variantes avec $V_g = \{V_{g,1}, V_{g,2}, \dots, V_{g,v_g}\}$ l'ensemble des v_g variantes de la gamme G_g .

Soit $t_{\text{Prot},g,v}$ le taux de protéines de la variante v de la gamme g .

Soit $\mathbf{AA}_{i,g,v}$ la quantité d'acide aminé i affichée sur l'aminogramme de la variante v de la gamme g sous U_1 .

Soit $t_{\text{Spike},i,g,v}$ le taux de spiking de l'acide aminé i affiché sur la liste d'ingrédients de la variante v de la gamme g , le cas échéant estimé de la manière la plus cohérente possible via les règles INCO.

Calcul des quantités natives moyennes $\mathbf{AA}_i^{\text{nat}}$

$$\mathbf{AA}_i^{\text{nat}} = \frac{1}{N} \times \sum_{G_g \in \mathbf{G}} \left(\frac{1}{v_g} \times \sum_{V_{g,v} \in V_g} \max \left(0, \mathbf{AA}_{i,g,v} - \frac{100 \times t_{\text{Spike},i,g,v}}{t_{\text{Prot},g,v}} \right) \right)$$

⚖ 5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios (SUITE)

Wheys à informations partielles

Dans le cas où les informations récoltées seraient partielles, on applique un algorithme d'optimisation permettant de reconstruire un aminogramme, restreint aux 9 AAE, complet. Les détails techniques de cet algorithme sont disponibles sur demande motivée, seule l'idée générale est détaillée dans cette partie.

Il s'agit de satisfaire au mieux 2 exigences différentes :

Respecter les mesures disponibles : Chaque information partielle fournie par l'étiquette, qu'il s'agisse d'un AAE isolé, comme la leucine, d'un groupe, comme les BCAA, constitue une cible que le profil reconstruit doit approcher. Ces informations partielles (*pouvant inclure le taux de protéines t_{Prot} et les taux de spiking*) sont considérées incertaines. Les incertitudes sur les mesures d'entrée se propagent en une plage de variation possible de la sortie, dont l'amplitude maximale est bornée par les marges d'erreur cumulées.

NB : Dans le cas extrême où une whey à aminogramme complet serait traitée par l'algorithme, la sortie serait rigoureusement exacte à l'entrée.

Rester proche du profil natif moyen : En l'absence de mesure contraignante, un AAE doit demeurer cohérent avec ce qui est connu des wheys à aminogramme complet (*cf. valeurs natives moyennes calculées précédemment*). Un facteur d'échelle global assure que les corrections apportées par les mesures se répercutent proportionnellement.

NB : Dans le cas extrême où une whey sans aucune information serait traitée par l'algorithme, la sortie serait rigoureusement exacte au profil natif moyen.

Le problème d'optimisation sous-jacent est **strictement convexe** et admet **une solution unique déterministe**, se détaillant, pour chaque acide aminé, en une quantité et une incertitude associée. Cette solution ne

5. Les Quantités de Leucine, Acides Aminés Essentiels et leurs Ratios (SUITE)

demande aucun paramètre utilisateur, et est obtenue en minimisant simultanément l'écart profil reconstruit/mesures disponibles, pénalisé de façon relative, et un terme de régularisation qui attire le profil reconstruit vers le profil natif moyen, via un facteur d'échelle.

Le poids relatif des deux termes à minimiser est fixé de sorte que les mesures priment dès que l'écart dépasse le bruit d'arrondi. La somme des AAE natifs estimés ne peut excéder le maximum jamais observé dans l'échantillon de référence ayant servi au calcul des valeurs natives moyennes. Si deux mesures sont incompatibles au-delà de leurs marges d'erreur, l'algorithme détermine automatiquement le meilleur compromis.

La solution native est ensuite convertie en quantités totales par réintégration du spiking nominal.

Sont enfin appliquées les formules de calcul détaillées dans la sous-partie concernant les wheys à aminogramme complet.

6. Les Coefficients de Confiance C_{Leu} et C_{AAE}

Afin d'éviter autant que faire se peut de privilégier l'opacité d'information, dans le cas où ne pas les transmettre aboutirait, via l'algorithme précédemment décrit, à des scores leucinique et aminoacidique plus hauts que dans le cas contraire, comme présenté à l'encart 3, des coefficients de confiance s'appliquent après calcul.

Ils sont conçus pour refléter une pénalité due au manque de transparence.

Par définition, une whey à aminogramme complet aura des coefficients valant 1. À l'inverse, une whey sans aucune information donnée aura des coefficients valant 0,50 (*sous-scores divisés par 2*).

6. Les Coefficients de Confiance C_{Leu} et C_{AAE} (SUITE)

Pour une whey donnée, quelle qu'elle soit.

Soit $I_{AA_i} = \{I_{AA_{i1}}, I_{AA_{i2}}, I_{AA_{i3}}, \dots, I_{AA_{ih}}\}$ l'ensemble des h informations données au sujet de l'acide aminé i , que l'information soit certaine s'il s'agit de la quantité de cet acide aminé (*comme la leucine directement*), ou partielle s'il s'agit de la quantité d'un groupe contenant cet acide aminé (*comme les BCAA pour la leucine*).

Soit AA_i^{nat} la quantité native moyenne d'acide aminé i , telle que définie à l'encart 5.

Confiance sur le sous-score leucinique C_{Leu}

Le sous-score leucinique dépendant uniquement de la quantité de leucine, le coefficient de confiance leucinique se base sur les informations disponibles pour l'estimer.

Calcul du coefficient de confiance leucinique C_{Leu}

$$C_{Leu} = 0,50 + 0,50 \times \max_{I \in I_{Leu}} \left(\frac{Leu^{nat}}{\sum_{AA_k \in I} AA_k^{nat}} \right)$$

La logique est la suivante : plus la leucine domine nativement le plus petit groupe pour lequel on a une donnée de quantité, plus cette donnée contraint fortement sa valeur individuelle, peu ou prou à hauteur de cette dominance, et donc plus la confiance est élevée.

Les cas extrêmes sont bien représentés, puisque si on n'a aucune information sur la leucine, de quelque nature que ce soit, $I_{Leu} = \emptyset$ et donc $C_{Leu} = 0,50$; et si on a l'information pure sur la leucine, alors $\{Leu\} \in I_{Leu}$, donc $C_{Leu} = 1$.

6. Les Coefficients de Confiance C_{Leu} et C_{AAE} (SUITE)

Confiance sur le sous-score aminoacidorique C_{AAE}

Le sous-score aminoacidorique dépend à la fois de la quantité totale d'AAE, et du profil de 8 des 9 AAE (*l'histidine étant exclue*). En reprenant la construction précédente, le coefficient de confiance aminoacidorique se décompose en une partie correspondant aux informations disponibles pour estimer la quantité totale d'AAE, et une partie dépendant des 8 estimations d'AAE, histidine exclue.

En nommant, pour une whey donnée, I_{AA} l'ensemble de tous les ensembles I_{AA_i} d'informations données au sujet de l'acide aminé i , et $\chi_{I_{AA}}$ sa fonction indicatrice.

Calcul du coefficient de confiance aminoacidorique C_{AAE}

$$C_{AAE} = 0,50 + 0,50 \times \frac{\sum_{AA_j \in AAE} (AA_j^{nat} \times \chi_{I_{AA}}(I_{AA_j}))}{\sum_{AA_j \in AAE} AA_j^{nat}} \times \frac{1}{8} \sum_{\substack{AA_j \in AAE, \\ His \text{ exclue}}} \max_{I \in I_{AA_j}} \left(\frac{AA_j^{nat}}{\sum_{AA_k \in I} AA_k^{nat}} \right)$$

Le premier terme capture la fiabilité du total d'AAE, le deuxième la fiabilité moyenne des ratios. La logique pour chacun est la même que pour le coefficient leucinique.

Les cas extrêmes sont bien représentés, puisque si on n'a aucune information, de quelque nature que ce soit, $I_{AA} = \emptyset$ et donc $\chi_{I_{AA}}$ vaudra 0 pour tout ensemble de la somme, donc $C_{AAE} = 0,50$; et si on a les quantités des 9 AAE, alors d'une part I_{AA} contient les 9 ensembles, donc $\chi_{I_{AA}}$ vaudra 1 pour tout ensemble de la somme, et donc le premier terme vaudra 1, et d'autre part, par un raisonnement similaire que celui précédent sur la leucine, le deuxième terme vaudra 1 aussi, donc $C_{AAE} = 1$.

7. Le score de Digestibilité S_{Digest}

Ce score est une mesure absolue des effets des ingrédients et des méthodes de conception des produits sur la paroi intestinale lorsqu'un shaker de produit est consommé dans un cadre régulier. Il dépend de la sensibilité au lactose considérée, fixée par défaut à insensible.

Si le fabricant fournit une dose recommandée pour le shaker (**DPS**), elle est prise en compte ; sinon, une dose standard de 30g est utilisée pour les calculs.

Nature : Score absolu chiffré dans $[0, 10]$, **indépendant** de l'échantillon comparé.

Objectif : Mesurer la digestibilité du produit.

Principe : Combinaison multiplicative de 5 coefficients représentant des pénalités selon 5 axes d'analyse (4 aigus et 1 structurel).

Altération aigue de la digestibilité par le lactose - coefficient DG_{Lact}

Il s'agit de quantifier la charge de lactose résiduel dans un shaker pouvant mener à une fermentation colique chez les personnes vulnérables^[7]. Il dépend ainsi de la sensibilité considérée^[7].

Calcul de la quantité de lactose dans un shaker $Lact_{\text{Shaker}}$

$$Lact_{\text{Shaker}} = \max \left(0, \frac{\text{Qté de « dont sucres » aux 100g(g)}}{100} - \sum_{\text{sucres ajoutés}} \text{Taux de sucre } k \text{ ajouté(\%)} - 0,5 \times \sum_{\text{composés sucrés ajoutés}} \text{Taux de composé sucré } k \text{ ajouté(\%)} \right) \times \text{DPS}$$

Les sucres ajoutés comportent le sucre, les sirops, les -ose, les -ol, etc...
Les composés sucrés ajoutés comportent les éclats de biscuits, le chocolat, les poudres de fruits.
Au besoin, les taux sont estimés si la liste des ingrédients ne les fournit pas clairement.

7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Quatre niveaux de sensibilité au lactose sont considérés. Chacun influant sur la valeur minimale du coefficient DG_{Lact} , variant de 1 à DG_{Lact}^{min} . N'est pas retenue l'action potentielle des enzymes lactase, par prudence.

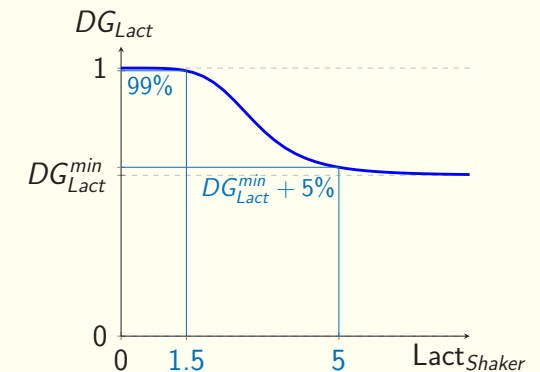
Profil de la personne	Insensible	Peu sensible	Assez sensible	Très sensible
Valeur minimale $DG_{Lact}^{min [7]}$	1,00	0,85	0,60	0,35

Calcul du coefficient DG_{Lact}

$$DG_{Lact} = \begin{cases} 1 & \text{si } DG_{Lact}^{min} = 1, \\ DG_{Lact}^{min} + \frac{(1 - DG_{Lact}^{min}) \times K_{Shaker}^{n_{Lact}}}{Lact_{Shaker}^{n_{Lact}} + K_{Lact}^{n_{Lact}}} & \text{sinon, avec} \end{cases}$$

$$\begin{cases} n_{Lact} = \frac{\ln(20 - 21 \times DG_{Lact}^{min}) + \ln(99 - 100 \times DG_{Lact}^{min}) - \ln DG_{Lact}^{min}}{\ln 5 - \ln 1,5} \\ K_{Lact} = 1,5 \times (99 - 100 \times DG_{Lact}^{min})^{1/n_{Lact}} \end{cases}$$

Avec 1,5g le seuil à 99% de digestibilité et 5g le seuil à 5% de digestibilité^[7], en rapport aux planchers.
 En-dessous de 1,5g, trop peu de lactose localement pour générer une fermentation.
 Au-dessus de 5g, la fermentation (si fermentation il peut y avoir) est certaine.
 Entre 1,5g et 5g, la fermentation est localement dose-dépendante.



7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Altération aigüe de la digestibilité par l'ajout d'AA libres - coefficient $DG_{Spiking}$

Il s'agit de quantifier l'impact des acides aminés libres ajoutés dans un shaker dont l'absorption ultra-rapide induit un appel osmotique d'eau vers le lumen intestinal provoquant des crampes, voire une chasse et une vidange rapides des intestins^[8]. $DG_{Spiking}$ varie de 1 à 0,5.

Quantité d'AA libres dans un shaker $AA_{libresShaker}$

$$AA_{libresShaker} = \left(\sum_{k \in AA} \text{Taux d'acide aminé } k \text{ ajouté}(\%) \right) \times DPS$$

Calcul du coefficient $DG_{Spiking}$

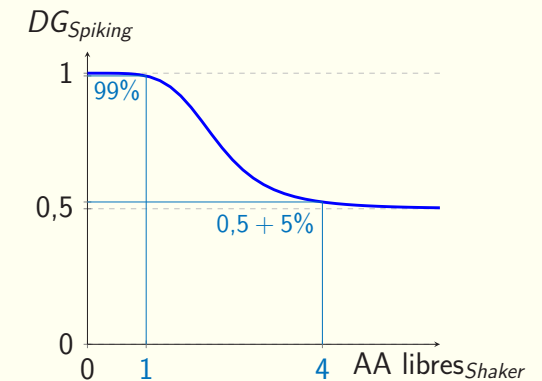
$$DG_{Spiking} = \frac{0,5 \times AA_{libresShaker}^{n_{AAL}} + K_{AAL}^{n_{AAL}}}{AA_{libresShaker}^{n_{AAL}} + K_{AAL}^{n_{AAL}}} \quad \text{où} \quad \begin{cases} n_{AAL} = \frac{\ln 931}{\ln 4} \\ K_{AAL} = 49^{1/n_{AAL}} \end{cases}$$

Avec 1g le seuil à 99% de digestibilité et 4g le seuil à 5% de digestibilité^[8], en rapport aux planchers.

En-dessous de 1g, trop peu d'AA libres localement pour appeler de l'eau.

Au-dessus de 4g, la réaction locale et la chasse intestinale sont certaines.

Entre 1g et 4g, la réaction locale et la chasse intestinale sont doses-dépendantes.



7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Altération aigüe de la digestibilité par la quantité de protéines - coefficient DG_{Prot}

Il s'agit de pénaliser la surcharge de protéines dans un shaker, tout excès dépassant la capacité d'assimilation de l'intestin grêle dérivant vers une putréfaction colique délétère pour l'organisme^[9].

Quantité de protéines dans un shaker $Prot_{Shaker}$

$$Prot_{Shaker} = t_{Prot} \times DPS$$

Avec t_{Prot} et DPS tels que définis précédemment.

Calcul du coefficient DG_{Prot}

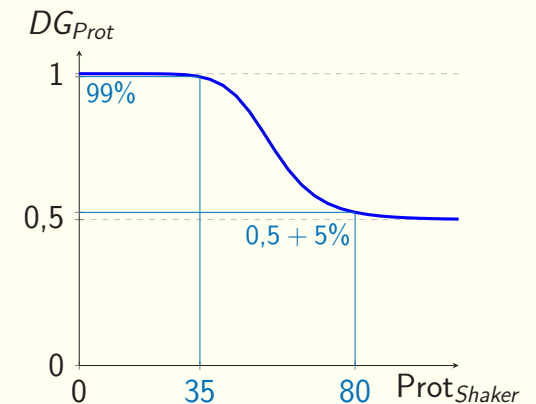
$$DG_{Prot} = \frac{0,5 \times Prot_{Shaker}^{n_{Prot}} + K_{Prot}^{n_{Prot}}}{Prot_{Shaker}^{n_{Prot}} + K_{Prot}^{n_{Prot}}} \quad \text{où} \quad \begin{cases} n_{Prot} = \frac{\ln 931}{\ln 16 - \ln 7} \\ K_{Prot} = 35 \times 49^{1/n_{Prot}} \end{cases}$$

Avec 35g le seuil à 99% de digestibilité et 80g le seuil à 5% de digestibilité^[9], en rapport aux planchers.

En-dessous de 35g, toutes les protéines sont absorbées par l'intestin grêle.

Au-dessus de 80g, une grande quantité de protéines se retrouve dans le côlon et se putréfie.

Entre 35g et 80g, la putréfaction colique est proportionnelle.



7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Altération aigüe de la digestibilité par les additifs - coefficient DG_{Additifs}

Il s'agit d'évaluer l'agression locale des édulcorants, épaississants, émulsifiants, etc... présents dans un shaker qui érodent physiquement le mucus protecteur et/ou altèrent la perméabilité intestinale^{[10],[11]}.

On se réfèrera pour ce faire au tableau fourni ci-après.

Calcul du coefficient DG_{Additifs}

$$DG_{\text{Additifs}} = \max \left(0, 1 - \sum_{\text{additifs}} p_{\text{Additif}} \right)$$

La pénalité p_{Additif} n'est pas une pénalité par type d'additif mais par additif.
Si le produit présente 4 additifs destructeurs directs de barrière intestinale, DG_{Additifs} vaudra 0.

Type d'additif	Exemples	Pénalité p_{Additif}
Destructeurs directs de barrière intestinale	Carraghénane (E407), CMC (E466), P-80 (E433)	−25%
Perturbateurs métaboliques	Sucralose (E955), Aspartame (E951), Saccharine (E954), Acésulfame-K (E950), Maltitol (E965), Sorbitol (E420), Xylitol (E967)	−10%
Catalyseurs de dysbiose ou de fermentation	Rouge Allura (E129), Gomme de Xanthane (E415), Gomme de Guar (E412), BHA (E320)	−8%
Perturbateurs légers	Lécithine de soja, Lécithine de jaune d'œuf, Érythritol (E968)	−3%
Perturbateurs très légers	Lécithine de tournesol, Stévia (E960a), Amidons modifiés	−1%
Aucune perturbation	Gomme arabique (E414)	0%

7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Altération structurelle de la digestibilité par la matrice de la whey - coefficient $DG_{Matrice}$

Il s'agit de proposer un malus général dépendant du taux d'hydrolyse de la whey, de la provenance de la whey, de la méthode de filtration de la whey et de la température maximale utilisée durant tout le processus de conception. La provenance jouant sur la présence de GMP^[12], molécules protectrices et probiotiques, et la filtration^[13] et la température^[14] jouant sur la dénaturation des protéines.

	$DG_{Matrice\ brute}$	Basse température	Haute température	NC
Pour une whey native	Filtration physique	0,95	0,85	0,85
	Filtration chimique	0,83	0,75	0,75
	NC	0,83	0,75	0,85
	$DG_{Matrice\ brute}$	Basse température	Haute température	NC
Pour une whey fromagère ^[12] ou NC	Filtration physique	1,00	0,90	0,90
	Filtration chimique	0,88	0,80	0,80
	NC	0,88	0,80	0,80

Est entendu qu'une whey 100% hydrolysée sera digestible, peu importe les traitements effectués.

Calcul du coefficient $DG_{matrice}$

$$DG_{Matrice} = (1 - H_{\%}) \times DG_{Matrice\ brute} + H_{\%}$$

$H_{\%}$ représente le taux d'hydrolyse, estimé si besoin.

7. Le score de Digestibilité S_{Digest} (SUITE)

Score final S_{Digest}

La combinaison de tous les coefficients donne le score de digestibilité.

SCORE — Calcul du score de digestibilité S_{Digest}

$$S_{Digest} = 10 \times DG_{Lactose} \times DG_{Spiking} \times DG_{Prot} \times DG_{Additifs} \times DG_{Matrice}$$

8. Le score d'Innocuité $S_{Innocuite}$

Ce score rend compte de l'innocuité des additifs de la liste d'ingrédients des produits, via l'évaluation systématique de l'association **UFC-Que Choisir**, basée sur une revue de la bibliographie scientifique disponible (*cf. lien*).

Nature : Score absolu chiffré dans $[0, 10]$, **indépendant** de l'échantillon comparé.

Objectif : Mesurer l'innocuité des additifs entrant dans la composition du produit.

Principe : Application de malus successifs selon les additifs présents, étant entendu qu'ils ne représentent jamais plus de quelques % en masse dans le produit final, avec seuillage minimal à 0.

Pour chaque additif, une limite catégorielle est fixée, et en est déduite la formule générale du sous-score :

Additif vert : Aucune conséquence pour le produit

Additif jaune : Le produit est considéré comme dangereux avec $S_{Innocuite} = 0$ à partir de **5 additifs jaunes**.

Additif orange : Le produit est considéré comme dangereux avec $S_{Innocuite} = 0$ à partir de **3 additifs orange**.

Additif rouge : Le produit est considéré comme dangereux avec $S_{Innocuite} = 0$ à partir de **2 additifs rouges**.

8. Le score d'Innocuité $S_{Innocuite}$ (SUITE)

L'application cumulative de ces règles donne la formule finale directement :

SCORE — Calcul du score d'innocuité $S_{Innocuite}$

$$S_{Innocuite} = 10 \times \left(1 - \min \left(1, \frac{\text{NB additifs jaunes}}{5} + \frac{\text{NB additifs orange}}{3} + \frac{\text{NB additifs rouges}}{2} \right) \right)$$

9. La note globale

Dans l'objectif de classer quantitativement les produits selon une note globale, on peut accorder aux 3 axes de performance des produits une pondération (**35% pour le score économique, 45% pour le score anabolique, 20% pour le score de digestibilité**), afin d'obtenir une note brute via moyenne arithmétique. Cette note brute de performance est elle-même autant considérée que l'axe sanitaire du produit que représente le **score d'innocuité**, via une moyenne géométrique, ce qui assure de pénaliser fortement et de manière égale des produits très peu performants ou dangereux.

NOTE GLOBALE — Calcul de la note globale

$$\text{Note globale} = \sqrt{(0,35 \times S_{Eco} + 0,45 \times S_{Ena} + 0,2 \times S_{Digest}) \times S_{Innocuite}}$$

10. Bibliographie

Stratégies pour augmenter l'anabolisme, focus sur la leucine et les AAE

[1] : Churchward-Venne, T. A., Burd, N. A., & Phillips, S. M. (2012). **Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise : strategies to enhance anabolism.** *Nutrition & metabolism*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-40>

Quantité de leucine nécessaire pour générer une synthèse musculaire

[2] : Zaromskyte, G., Prokopidis, K., Ioannidis, T., Tipton, K. D., & Witard, O. C. (2021). **Evaluating the Leucine Trigger Hypothesis to Explain the Post-prandial Regulation of Muscle Protein Synthesis in Young and Older Adults : A Systematic Review.** *Frontiers in nutrition*, 8, 685165. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.685165>

[3] : Churchward-Venne, T. A., Breen, L., Di Donato, D. M., Hector, A. J., Mitchell, C. J., Moore, D. R., Stellingwerff, T., Breuille, D., Offord, E. A., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2014). **Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men : a double-blind, randomized trial.** *The American journal of clinical nutrition*, 99(2), 276–286. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.068775>

[4] : Devries, M. C., McGlory, C., Bolster, D. R., Kamil, A., Rahn, M., Harkness, L., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2018). **Leucine, Not Total Protein, Content of a Supplement Is the Primary Determinant of Muscle Protein Anabolic Responses in Healthy Older Women.** *The Journal of nutrition*, 148(7), 1088–1095. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy091>

10. Bibliographie (SUITE)

Quantité d'AAE nécessaire, profil et loi du minimum de Liebig pour la synthèse musculaire

[5] : Lucà-Moretti, M., Grandi, A., Lucà, E., Muratori, G., Nofroni, M. G., Mucci, M. P., Gambetta, P., Stimolo, R., Drago, P., Giudice, G., & Tamburlin, N. (2003). **Master Amino acid Pattern as substitute for dietary proteins during a weight-loss diet to achieve the body's nitrogen balance equilibrium with essentially no calories.** *Advances in therapy*, 20(5), 282–291. <https://doi.org/10.1007/BF02849857>

[6] : Volpi, E., Kobayashi, H., Sheffield-Moore, M., Mittendorfer, B., & Wolfe, R. R. (2003). **Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults.** *The American journal of clinical nutrition*, 78(2), 250–258. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.2.250>

Tolérance au lactose dans les produits laitiers et issus de lait

[7] : Pal, S., Woodford, K., Kukuljan, S., & Ho, S. (2015). **Milk Intolerance, Beta-Casein and Lactose.** *Nutrients*, 7(9), 7285–7297. <https://doi.org/10.3390/nu7095339>

Acides aminés libres et réactions intestinales

[8] : Szmelcman, S., & Guggenheim, K. (1966). **Interference between leucine, isoleucine and valine during intestinal absorption.** *The Biochemical journal*, 100(1), 7–11. <https://doi.org/10.1042/bj1000007>

10. Bibliographie (SUITE)

Surcharge protéique et putréfaction colique

[9] : Trommelen, J., van Lieshout, G. A. A., Nyakayiru, J., Holwerda, A. M., Smeets, J. S. J., Hendriks, F. K., van Kranenburg, J. M. X., Zorenc, A. H., Senden, J. M., Goessens, J. P. B., Gijsen, A. P., & van Loon, L. J. C. (2023). **The anabolic response to protein ingestion during recovery from exercise has no upper limit in magnitude and duration in vivo in humans.** *Cell reports. Medicine*, 4(12), 101324. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2023.101324>

Altération de la barrière épithéliale intestinale par les additifs

[10] : Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaïss, C. A., Maza, O., Israeli, D., Zmora, N., Gilad, S., Weinberger, A., Kuperman, Y., Harmelin, A., Kolodkin-Gal, I., Shapiro, H., Halpern, Z., Segal, E., & Elinav, E. (2014). **Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota.** *Nature*, 514(7521), 181–186. <https://doi.org/10.1038/nature13793>

[11] : Tobacman J. K. (2001). **Review of harmful gastrointestinal effects of carrageenan in animal experiments.** *Environmental health perspectives*, 109(10), 983–994. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109983>

Propriétés digestives des GMP

[12] : Córdova-Dávalos, L. E., Jiménez, M., & Salinas, E. (2019). **Glycomacropeptide Bioactivity and Health : A Review Highlighting Action Mechanisms and Signaling Pathways.** *Nutrients*, 11(3), 598. <https://doi.org/10.3390/nu11030598>

10. Bibliographie (SUITE)

Filtrations mécanique et chimique des wheys

[13] : Marshall K. (2004). **Therapeutic applications of whey protein**. *Alternative medicine review : a journal of clinical therapeutic*, 9(2), 136–156.

Dénaturation thermique des wheys

[14] : Smithers, G. W. (2008). **Whey and whey proteins—From "gutter-to-gold"**. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>