

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB-BLIDA1-



FACULTÉ DE MÉDECINE
DÉPARTEMENT DE PHARMACIE

**SOURCES ALIMENTAIRES DU
CALCIUM ET BIODISPONIBILITE**

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en Pharmacie

Session : Juillet 2021.

Présenté par :

-DELLAL Yassamine.

-CHOTT Imane.

Devant le jury :

- Président : Pr. GHOUINI. A

- Examinatrice : Dr. TRIFL.N

- Promoteur : Dr. BENREKIA .Y

Remerciements

*Louange est à ALLAH, le Donateur Suprême et le Bienfaiteur
glorifié, qui m'a aidé à accomplir cet humble travail
et à le mener à bon terme. Ce travail n'aurait pas
pu s'accomplir sans
Son agrément et Sa Miséricorde.*

❖ *A notre promoteur : Dr .BENREKIA YUCEF*

Docteur en physiologie clinique et exploration fonctionnelle métabolique et nutrition.

Nous ne serons assez-vous remercier pour le très grand honneur que vous nous avez fait en nous confiant le sujet de ce mémoire. Qu'il nous soit permis, à travers ce travail de vous exprimer notre profond respect, et de nous témoigner notre estime et notre vive reconnaissance. La rigueur scientifique et la disponibilité dont vous avez fait preuve en faisant encadrer ce mémoire : Malgré vos multiples occupations : Ne font que rappeler les qualités qui vous caractérisent. Votre grandesse, votre pédagogie à transmettre vos connaissances et vos informations force l'admiration de tous.

❖ *Aux membres du jury:*

Pr. A. GHOUNI Professeur en physiologie.

Dr. N. TRIFI Docteur en physiologie.

Pour l'honneur que vous me faites de siéger parmi les membres du jury, veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Dédicaces

A mes parents ; à Mohamed et à Naima

Sans votre éducation, votre soutien, votre amour, et tous les sacrifices que vous avez faits pour moi, je n'en serais pas là aujourd'hui. Je vous dois tout ce que je suis. Il n'y a aucun mot pour vous témoigner tout l'amour et toute la reconnaissance que je vous porte, votre compréhension et votre encouragement sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que Dieu le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et vous protège de tout mal.

Je remercie mes frères Abderazzak et Foucef pour leur encouragement, et ma chère sœur que je l'adore : Safaa

Sans oublier ma belle chaima

A tous les membres de ma grande famille . Mes Tantes, mes oncles et tous ses enfants, à mes regrettés grands-parents.

A mes amies et collègues de ma promotion.

je remercie tous mes Amies que j'aime : Ikram , Amira , Razika et son petit prince , Feriel , Karima, Fatima , Zahra , Wided , Hassmine Pour leur sincère amitié et confiance et leur encouragement. Quisse dieu renforcer les liens d'amitié qui nous unissent, A tous ceux que j'ai pu oublier, sans le vouloir

...imene

Dédicace

A mon cher père Mohammed,

A ma chère mère Karima,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A ma chère sœur, Amira,

Pour son soutien moral, ses conseils précieux tout au long de mes études.

A mes frères, Adem et Mohammed,

A la mémoire de ma chère grand-mère,

A tous les membres de ma famille,

A mon cher binôme, Imene,

Pour son entente et sa sympathie.

*A mes chères amies, Ikram, Nardjice, Amel
et Kamélia,*

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

...YASSAMINE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS.....	I
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES FIGURES.....	IV
INTRODUCTION.....	1
Revue de la littérature	3
I. CALCIUM ALIMENTAIRE.....	4
I.1 Notions chimiques et biochimiques	4
I.1.1 Découverte de l'élément « Ca²⁺ ».....	4
I.1.2 bases physicochimiques	4
I.1.3 Aspect biochimique du calcium.....	5
I.2 Rôles du calcium dans l'organisme	7
I.2.1 La minéralisation osseuse	8
I.2.2 La dureté de l'émail dentaire.....	8
I.2.3 Rôle de second messenger et dans la communication cellulaire	8
I.2.4 La conduction nerveuse.....	9
I.2.5 La contraction musculaire.....	9
I.2.6 L'hémostase.....	9
I.2.7 Prévention de l'ostéoporose	10
I.2.8 Prévention de l'obésité et des maladies métaboliques	10
I.2.9 Prévention du cancer colorectal.....	11
I.2.10 Prévention de la pré-éclampsie.....	11
I.3 Apports alimentaires et homéostasie calcique	11
I.3.1 Apports alimentaires du calcium.....	12
I.3.2 Homéostasie calcique.....	15
I.3.3 La balance calcique	20
I.3.4 Principaux acteurs de la régulation du bilan phosphocalcique.....	21
I.3.5 Régulation endocrine secondaire.....	24
II NOTIONS D'ABSORBABILITE ET BIODISPONIBILITE DU CALCIUM.....	26
II.1.1 Différence entre : absorption, absorbabilité et biodisponibilité.....	26
II.1.2 Coefficient d'absorption réelle du calcium (CAR).....	26
II.1.3 Evaluation de la biodisponibilité	28
II.2.1 Facteurs alimentaires influençant la biodisponibilité du calcium	28

II.2.1.1	Les oxalates et les phytates	29
II.2.1.2	Les pectines et fibres	33
II.2.1.3	Le calcitriol.....	34
II.2.1.4	Les glucides et le lactose.....	34
II.2.1.5	Les acides gras	34
II.2.1.6	L'alcool, le thé, le café.....	35
II.2.1.7	Le phosphate.....	35
II.2.2	Les principaux facteurs influençant la calciurie	36
II.2.2.1	Le phosphore	36
II.2.2.2	Les bicarbonates, le potassium et l'augmentation du Ph.....	36
II.2.2.3	L'acidose, les anions sulfates et chlorures.....	36
II.2.2.4	L'excès de protéines.....	36
II.2.2.5	Le sodium.....	37
II.2.3	Autres facteurs	37
II.2.3.1	L'âge.....	37
II.2.3.2	La grossesse.....	37
II.2.3.3	L'acide chlorhydrique et stress	38
II.2.3.4	L'appartenance ethnique	38
III.	Les sources alimentaires du calcium.....	39
III.1	Classification pratique	39
III.2	Lait et produits laitiers : principales sources de calcium.....	42
III.2.1	Le lait.....	42
III.2.2	Produits laitiers : Yaourts, laits fermentés et crèmes	43
III.2.3	Les fromages.....	44
III.2.4	Contribution des produits laitiers à l'apport calcique	44
III.3	Particularités du calcium du lait	45
III.3.1	Rôle du lactose	45
III.3.2	Rôle des protéines et des phosphopeptides	46
III.3.3	Rôle des lipides du lait.....	47
III.3.4	Rôle du phosphore	47
III.4	Sources alimentaires secondaires du calcium	48
III.4.1	Teneur en calcium des aliments non lactés.....	48
III.4.2	Procédures d'amélioration de la biodisponibilité calcique des végétaux.....	50
III.5	Autres sources alimentaires du calcium	53
III.5.1	Les algues alimentaires	53
III.5.2	Les poissons avec leurs arêtes	54

III.5.3	Les eaux minérales naturelles (EMN)	54
III.6	Les produits enrichis en calcium	57
III.7	Alternatives aux produits laitiers et conseils pratiques	60
III.7.1	Cas de l'intolérance au lactose et l'APLV	60
III.7.2	Cas des régimes particuliers : végétarisme et végétalisme	62
<i>IV.</i>	<i>Méthodologie</i>	66
<i>V.</i>	<i>Résultats</i>	72
V.1.	Description générale de la population interrogée	73
V.1.1	Répartition de la population d'étude selon le sexe	73
V.1.2	Répartition de la population d'étude selon l'âge	73
V.2.	Répartition de la population selon la moyenne de la ration calcique journalière	74
V.2.1	Moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et le sexe	74
V.2.2.	Répartition de la population selon le niveau de la ration calcique journalière	75
V.2.3.	Répartition de la population en fonction du niveau de la ration calcique journalière et selon l'âge et le sexe	76
V.3.	Contribution des différentes sources alimentaires de calcium dans la ration calcique journalière	77
V.4.	Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon l'âge et le sexe	79
V.4.1.	Selon le sexe	79
V.4.2.	Selon l'âge	81
V.5.	Consommation des facteurs alimentaires limitant l'absorption du calcium	82
V.5.1.	Répartition de la population d'étude selon la consommation de quelques aliments de mauvaise biodisponibilité calcique	82
V.5.2.	Répartition des sujets enquêtés sur la consommation des aliments suscité selon l'âge et le sexe	83
V.5.3	Répartition de la population consommant des aliments de mauvaise biodisponibilité en fonction des niveaux de la ration calcique	85
<i>IV.</i>	<i>DISCUSSION</i>	87
<i>VII.</i>	<i>Conclusion</i>	93
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	96
	ANNEXES	104
	RESUME	112

LISTE DES ABREVIATIONS

ACH : Acétylcholine.

ANC : Apports Nutritionnels Conseillés.

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation de l'Environnement et du travail.

APLV : Allergie aux Protéines du Lait de Vache.

BALH : Branche ascendante large de Henle.

BD : Biodisponibilité.

BNM : Besoins Nutritionnels Moyens.

Ca : Calcium.

CAR : Coefficient d'Absorption Réelle.

CaBP : Calcium Binding Protein.

CaSR : Calcium Sensing Receptor.

CAT : Choline acétyltransférase.

DMO : Densité Minérale Osseuse.

EMN : Eau Minérale Naturelle.

GH : Growth Hormone (hormone de croissance).

HAS : Haute Autorité de Santé.

IGF1 : Insulin-like Growth Factor 1.

IMCal : Integral membrane calcium binding protein .

JNM : Jonction neuromusculaire.

MG : Matière grasse.

PA : Potentiel d'action.

PPM : Potentiel de plaque motrice.

PTH: Parathormone.

PTH1R: Parathyroid Hormone 1 Receptor.

RXR : Récepteur X des rétinoïdes.

SNC : Système nerveux central.

UHT : Lait de long conservation, stérilisé par upérisation à haute température.

UVB : Rayonnement ultra-violet type B.

VDR : Récepteur de la vitamine D.

WCRF: Fonds mondial de recherche contre cancer.

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: Repères concernant la calcémie [4].....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 2: Variation des fractions plasmatiques du calcium en fonction de l'équilibre acido-basique [5].....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 3: besoins minimaux (BNM) et apports conseillés (ANC) en calcium (mg/j) selon l'âge, le sexe et le statut physiologique (recommandations françaises) [17].....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 4: variations du coefficient d'absorption réelle.</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 5: Proportion d'acide oxalique contenu dans divers végétaux couramment consommés [39].....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 6: sources alimentaires classées selon leur teneur en calcium [38].....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 7: Composition minérale moyenne des fromages (en mg pour 100 g de produit) selon leurs classes (68).....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 8: teneur en calcium des différentes sources non laitières [65].....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 9: Teneur en calcium (mg/100 g) de plusieurs farines avant et après mise en germination des graines ou légumineuses [66].....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 10: Teneur nutritionnelle moyenne de quelques algues alimentaires (mg/100 g de matière sèche (MS). [67], [51], [68].....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 11: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie [75].....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 12: ci-dessous nous donne un aperçu sur la proportion du calcium dans les sels calciques communs [83].....</i>	<i>59</i>
<i>Tableau 13: Exemples de solutions diététiques permettant de maintenir l'ANC en calcium chez l'intolérant en lactose [92], [93].....</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 14: Les régimes végétariens [94].....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau 15: moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et le sexe.....</i>	<i>74</i>
<i>Tableau 16: répartition de la population selon le niveau de la ration calcique journalière</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 17: La répartition des sujets selon l'âge et le sexe et en fonction de leur niveau de ration calcique</i>	<i>76</i>
<i>Tableau 18): Contribution des différentes sources alimentaires dans la moyenne d'apport calcique journalier.....</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 19: Contribution de la source laitière dans la ration calcique journalière selon le sexe</i>	<i>80</i>
<i>Tableau 20: Contribution de la source laitière dans la ration calcique journalière selon l'âge</i>	<i>81</i>
<i>Tableau 21: Répartition de la population d'étude selon la consommation de certains aliments</i>	<i>82</i>
<i>Tableau 22: consommation des aliments de mauvaise biodisponibilité calcique selon l'âge</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 23 : consommation des aliments limitant l'absorption du calcium selon le sexe.....</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 24: consommation des aliments limitant l'absorption du calcium en fonction des niveaux de la ration calcique journalière de la population enquêtée.....</i>	<i>85</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: répartition du calcium dans l'organisme [4].....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 2 : Genèse du potentiel d'action dans la jonction neuromusculaire [9].....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3: Représentation mathématique des ANC [15], [70].....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 4: absorption intestinales du calcium, A : absorption transcellulaire et paracellulaire, B : action de la vitamine D [17].....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 5: élimination rénale du calcium (filtration, réabsorption, excrétion) [26].....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 6: Balance calcique : représentation schématique des flux de calcium chez un adulte normal en bilan nul [6].....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 7: synthèse et activation de la vitamine D [29].....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8: actions cellulaires du calcitriol [29].....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 9: Schéma de la régulation endocrine de la calcémie [29].....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 10: Formation d'un complexe d'oxalate de calcium à partir d'acide oxalique et de calcium ionisé [21].....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 11 :Capacité des phytates à complexer le calcium[23].....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 12:% de calcium absorbé pour une même portion : différence entre les sources d'aliments contenant ou non de l'acide phytique [23].....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 13: Ponts calciques entre deux pectines [23].....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 14: Contribution des diverses catégories d'aliments aux apports de calcium [59].....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 15: Diminution de la teneur en phytine de la pâte à pain au levain au cours de la fermentation [32].....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 16: Quelques équivalences en termes d'apports calciques [79], [45].....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 17:Proportion d'acide oxalique contenu dans divers végétaux couramment consommés.</i>	<i>70</i>
<i>Figure 18: Protocole de réalisation de l'enquête nutritionnelle.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure 19: Répartition de la population d'étude selon le sexe.</i>	<i>73</i>
<i>Figure 20: Répartition de la population d'étude selon l'âge.</i>	<i>74</i>
<i>Figure 21: moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et sexe</i>	<i>75</i>
<i>Figure 22: répartition de la population selon la ration journalière.</i>	<i>76</i>
<i>Figure 23: Répartition de la population en fonction du niveau de la ration calcique journalière et selon l'âge et sexe.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 24: Contribution de la moyenne des différentes sources alimentaires dans l'apport calcique journalier.</i>	<i>79</i>
<i>Figure 25: Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon le sexe.</i>	<i>80</i>
<i>Figure 26: Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon l'âge.....</i>	<i>82</i>
<i>Figure 27: répartition des sujets enquêtés en fonction de leur consommation des aliments de mauvaise biodisponibilité calcique.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 28: consommation des aliments limitant l'absorption du calcium selon l'âge.....</i>	<i>84</i>
<i>Figure 29: consommation des facteurs alimentaires limitant l'absorption du calcium selon le sexe.</i>	<i>85</i>
<i>Figure 30: Consommation des aliments limitant l'absorption en fonction du niveau de la ration calcique.</i>	<i>86</i>

INTRODUCTION

Au cours de ces vingt dernières années, de nombreuses études ont été consacrées aux effets bénéfiques du calcium alimentaire, cet intérêt s'explique du fait de son caractère pléiotrope ; ainsi le calcium est indispensable au bon fonctionnement de l'organisme : l'accrétion osseuse, la conduction nerveuse, la contraction musculaire, l'hémostase, et récemment un rôle métabolique et énergétique lui a été rapporté.

Le rôle du calcium dans l'équilibre nutritionnel est bien connu, et l'importance d'un apport suffisant est communément admise, il est très répondu dans l'alimentation, cependant, le lait et les produits laitiers constituent la principale source du calcium pour l'organisme du fait de sa biodisponibilité optimale.

L'intérêt d'étudier les facteurs influençant cette biodisponibilité est capitale pour une meilleure gestion des conseils diététiques et des régimes adaptés aux différentes situations couramment rencontrées afin de couvrir réellement les besoins calciques personnels.

En fait, ces besoins nutritionnels «ou le coefficient d'absorption réel du calcium (**CAR**) » tiennent compte de la quantité réellement absorbée. Cette absorption varie, essentiellement selon la source de calcium et la nature du régime alimentaire.

Le pharmacien au tant que partie prenante dans le plan de prévention des états de carences calciques doit participer à la valorisation de cet objectif et travailler en conséquence sur la surveillance et l'évaluation de la qualité des régimes alimentaires de ces patients.

Ce travail vise dans sa partie théorique à :

- 1- Définir les sources alimentaires de calcium et savoir la contribution de chacune dans la couverture des ANC
- 2- Approfondir dans l'étude des facteurs influençant l'absorbabilité et la biodisponibilité du calcium alimentaire
- 3- Adapter des régimes alimentaires spécifiques aux besoins calciques.

Dans la partie pratique, nous cherchons suite à une enquête alimentaire basée sur un auto-questionnaire de fréquence « validé » les principales sources alimentaires du calcium, le

Introduction

niveau d'apport calcique journalier et les différentes erreurs diététiques influençant sa biodisponibilité.



Revue de la littérature

I. CALCIUM ALIMENTAIRE

Avant d'aborder le calcium dans l'alimentation, cette première partie fait le point sur les bases essentielles et les notions qui définissent cet élément à deux échelles « Chimique et biochimique », de son rôle physiologique majeur dans l'organisme, et enfin, nous détaillerons le métabolisme du calcium et sa régulation.

I.1 Notions chimiques et biochimiques

I.1.1 Découverte de l'élément « Ca²⁺ »

Le nom « Calcium » provient du latin « calcis » qui signifie « la chaux », c'est un élément minéral très ancien, connu et utilisé déjà par les Romains et les Egyptiens

La chaux obtenue par calcination du calcaire était connue par les Romains, qui l'utilisaient comme mortier, tandis que les Égyptiens employaient le plâtre, mais le métal lui-même ne fut découvert qu'en 1808 par Berzelius et Magnus Martin pontin qui avaient préparé un amalgame de calcium par électrolyse de la chaux dans le mercure, et enfin Sir Humphry Davy, qui fut capable d'isoler le métal impur.[1], [2]

I.1.2 bases physicochimiques

Le calcium est un élément chimique de symbole « Ca²⁺ », c'est un cation divalent de numéro atomique 20, et de masse atomique de 40,078Dalton, il se range dans la colonne des alcalino-terreux, groupe de métaux auquel il appartient au même titre que le béryllium, magnésium, strontium, le baryum et le radium

Sa configuration électronique dans son état fondamental est : $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(4s)^2$.

Son état d'ionisation normal est obtenu en arrachant ses deux électrons de valence pour obtenir un cation doublement chargé : c'est sa configuration la plus stable.[3]

Le calcium est le plus léger des métaux alcalinoterreux vrais, il représente environ 3,45 p. 100 du poids de la croûte terrestre et se classe, par ordre d'abondance, au troisième rang des métaux, derrière l'aluminium et le fer.

Ce métal est de couleur argentée métallique, il est très réactif et très réducteur dont une des propriétés importantes est la capacité à former des complexes. Il n'existe jamais à l'état de corps pur dans la nature, alors que les principaux minéraux calciques sont constitués de carbonates simples (calcite ou aragonite), sous forme de calcaire, craie, marbre, ou de carbonates doubles comme la dolomite $MgCa(CO_3)_2$ qui peut constituer des masses rocheuses d'un volume considérable comme les Alpes dolomitiques en Italie ; les sulfates hydratés (gypse) ou non (anhydrite) sont très répandus, le calcium se trouve également sous forme de phosphates contenant parfois du fluor (apatites).[1]

Le calcium peut être produit par électrolyse du fluorure de calcium mais plus couramment par réduction sous vide de la chaux (CaO) par de la poudre d'aluminium.

Il brûle avec une flamme jaune-rouge ; exposé à l'air sec il forme une couche protectrice blanche d'oxyde et de nitrure. Il réagit violemment avec l'eau dont il déplace l'hydrogène et forme alors de l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$. [2]

I.1.3 Aspect biochimique du calcium

Le calcium est présent, chez un très grand nombre d'êtres vivants : les os et les dents des vertébrés, les coquilles des œufs des oiseaux, celles des mollusques ont un support essentiellement calcique, et de très nombreuses plantes possèdent des concrétions minérales souvent constituées de sels de calcium : carbonate, oxalate et tartrate.

*** Répartition du calcium dans l'organisme humain :**

Le métabolisme du calcium est fortement lié à celui du phosphore, ce sont les principaux constituants de l'os dont ils représentent environ 65% de sa masse.

L'organisme contient ≈ 1 kg de calcium soit 25 moles, dont 99% est contenu dans le squelette, le reste (1%) se répartit entre les secteurs intracellulaire (0,9%) et extracellulaire (0,1%).

Le calcium osseux est principalement déposé autour de la trame osseuse protéique sous forme de cristaux d'hydroxyapatite $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ qui confèrent à l'os ses propriétés de résistance mécanique. Cette masse cristalline représente une abondante réserve, lentement mobilisable, dans les situations où la balance métabolique du calcium demeure durablement négative.

Le reste du calcium osseux ($\approx 5-10$ g) est déposé sous forme de phosphate de calcium complexé et constitue le « pool calcique rapidement échangeable ». Ce pool est capable de compenser rapidement une variation brutale du bilan calcique.

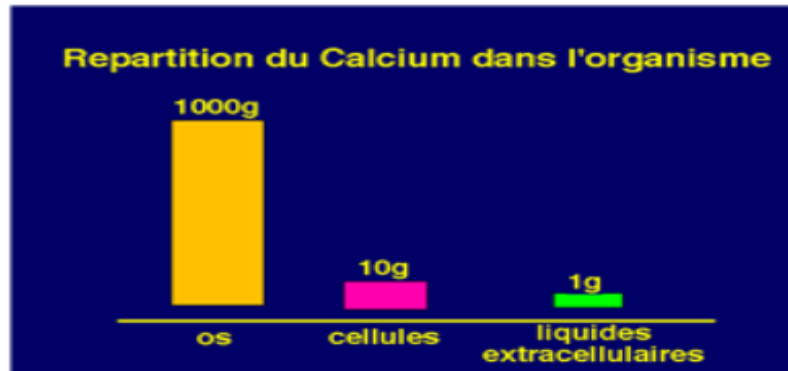


Figure 1: répartition du calcium dans l'organisme [4]

Le calcium extracellulaire représente seulement 0,1 % du calcium de l'organisme (1000mg), il définit la calcémie.

*** La calcémie :**

Pour pouvoir appréhender la biochimie du calcium, il est nécessaire de définir une valeur de base : la calcémie. Dans le sang, le calcium est essentiellement plasmatique, les globules rouges n'en contenant que très peu. [4] On définit la calcémie comme la concentration de calcium plasmatique totale, exprimée en milligrammes par litre (mg/L) ou en millimoles par litre (mmol/L).

La calcémie normale est comprise entre 2,20 et 2,60mmol/l, elle comprend deux fractions :

*** Une fraction diffusible :**

- calcium ionisé actif (50%)

- calcium lié aux citrates, lactates, et phosphates avec lesquels il forme des complexes solubles (10%)

*** Une fraction non diffusible :**

Environ 40% de la calcémie totale, il s'agit du calcium lié aux protéines : globulines et surtout albumine

Les bornes des valeurs normales de la calcémie permettent de définir les seuils d'hypo et d'hypercalcémie : on parle d'hypocalcémie pour des valeurs en-dessous de 2,20 mmol/L et d'hypercalcémie pour des valeurs supérieures à 2,60 mmol/L. [4]

Tableau 1: Repères concernant la calcémie [4]

Hypocalcémie	Calcémie normale	Hypercalcémie
< 2,20mmol/L	[2,20 – 2,60] mmol/L	> 2,60 mmol/L

La calcémie dépend essentiellement de la protidémie et du pH sanguin :

1- Lorsque la protidémie varie (en particulier le taux d'albumine et des immunoglobulines), la calcémie totale varie dans le même sens, mais sans lien avec le calcium ionisé donc sans effets physiologiques

2- Les variations du pH plasmatique modifient la liaison du calcium aux protéines : une acidose aiguë augmente proportionnellement la calcémie ionisée sans changement de la calcémie totale. Inversement, l'alcalose aiguë entraîne une crise tonico-clonique sans variation notable de la calcémie totale.

Tableau 2: Variation des fractions plasmatiques du calcium en fonction de l'équilibre acido-basique [5]

	Calcium lié aux protéines	Calcium ionisé	Calcium total
Acidose aiguë	Diminué	Augmenté	Normal
Acidose chronique	Diminué	Normal	Diminué
Alcalose aiguë	Augmenté	Diminué	Normal
Alcalose chronique	Augmenté	Normal	Augmenté

I.2 Rôles du calcium dans l'organisme

Le calcium est l'élément minéral le plus abondant dans l'organisme, il remplit différents rôles physiologiques

I.2.1 La minéralisation osseuse

Le calcium fait partie de la substance fondamentale solide minéralisée du tissu osseux. Ce dernier renferme 25 à 30 moles de calcium, soit 1,0 à 1,2 kg[6]. Ainsi, en plus de son rôle structural évident, le squelette est une importante réserve de calcium pour l'organisme, il joue un rôle primordial dans la régulation de la calcémie, par le biais d'échanges avec le liquide extracellulaire. En effet, l'os est un tissu en perpétuel remaniement et on estime qu'il est renouvelé tous les 10 à 12 ans en moyenne.

Pendant la croissance, l'accrétion osseuse est plus importante que la résorption ; le bilan calcique est donc positif dans le but de constituer l'ossature. Chez les sujets âgés en revanche, la résorption osseuse prédomine et le bilan devient négatif, entraînant de fait une perte de la densité minérale osseuse. [7] De plus, on peut observer une plus forte résorption lorsque les besoins ne sont plus couverts (période de jeun) ou lorsque la consommation augmente sans être compensée suffisamment (lactation, vieillissement pathologique).

I.2.2 La dureté de l'émail dentaire

L'émail est la partie externe de la couronne des dents. C'est un matériau acellulaire qui recouvre la dentine. Il est très fortement minéralisé, à 96%, le reste de sa composition étant faite d'eau et de matière organique. Sa partie minérale est principalement composée d'un réseau de cristaux d'hydroxyapatite de calcium : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Le fort pourcentage de minéraux dans l'émail est responsable non seulement de sa force et de sa dureté mais aussi de sa friabilité.

I.2.3 Rôle de second messenger et dans la communication cellulaire

Quelle que soit sa nature, la cellule capte, enregistre et traite en permanence une masse importante d'informations : c'est la communication cellulaire. Via de nombreux récepteurs situés au niveau de sa membrane, elle détecte les signaux extracellulaires. S'en suit un recodage de l'information par différents seconds messagers intracellulaires dont fait partie le calcium. Ceci permet au final une modification du métabolisme de la cellule, en réponse au signal reçu. La modulation dans le temps et dans l'espace de la concentration calcique est à la base de cette communication cellulaire. [8]

I.2.4 La conduction nerveuse

L'arrivée d'un influx nerveux au niveau de la terminaison d'une cellule pré-synaptique va induire une entrée massive du calcium par ouverture des canaux calciques voltage-dépendants VDCC. Ceci aboutit en cascade à la libération de neuromédiateurs [9](acétylcholine par exemple) à l'origine de la transmission synaptique)[9]

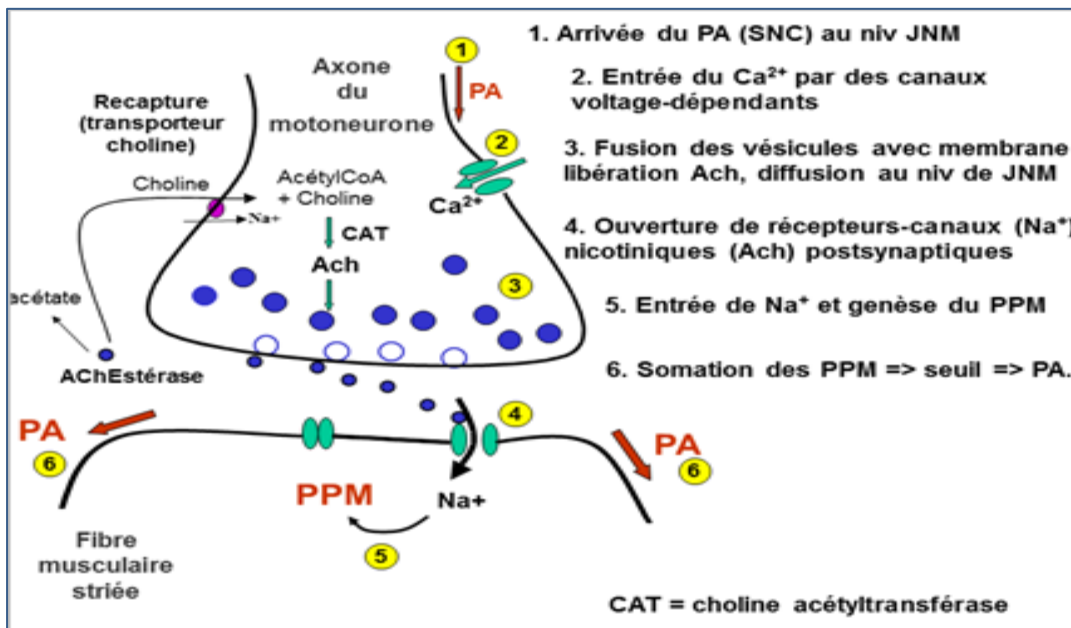


Figure 2 : Genèse du potentiel d'action dans la jonction neuromusculaire [9]

I.2.5 La contraction musculaire

C'est une fois de plus l'augmentation de la concentration intracellulaire en calcium qu'est l'évènement à la base du déclenchement de la contraction musculaire. Au repos, cette concentration est d'environ $0,1 \mu\text{mol/L}$ dans les myocytes et lors d'une stimulation, elle peut grimper jusqu'à $0,1 \text{ mmol/L}$ soit une augmentation d'un facteur 1000. Dans les muscles squelettiques, cette augmentation est majoritairement due à la libération massive dans le sarcoplasme du calcium stocké dans le réticulum sarcoplasmique. [9]

I.2.6 L'hémostase

L'hémostase permet la protection vasculaire lorsqu'une brèche apparaît. La coagulation correspond à la fabrication puis la dégradation contrôlée d'un caillot permettant d'obturer la brèche pour réparer le vaisseau.

Le calcium a un rôle clé dans la coagulation puisque sa présence est indispensable à toutes les étapes pour l'activation enzymatique de nombreux facteurs[10]

I.2.7 Prévention de l'ostéoporose

Selon la Haute Autorité de Santé, une carence en calcium et/ou en vitamine D constitue un important facteur de risque d'ostéoporose et de ses complications, les tassements vertébraux et les fractures. La supplémentation en calcium et en vitamine D réduit les chutes et les fractures chez des personnes âgées vivant en institution et initialement carencées. En revanche, l'intérêt d'une supplémentation en calcium dans la population générale n'est pas démontré. La revue de 26 essais d'intervention a trouvé un bénéfice modeste et inconstant à supplémenter en calcium, parfois associé à de la vitamine D, pour réduire le risque des fractures. L'examen de 59 essais indique qu'une supplémentation en calcium augmente légèrement la densité minérale osseuse durant la première année d'intervention, mais ne réduit pas significativement les fractures.

L'HAS indique aussi que l'apport nutritionnel conseillé est suffisant chez les adultes ou les personnes âgées et qu'une supplémentation en calcium n'est nécessaire qu'en cas de carence. En outre, l'ostéoporose est multifactorielle : le risque est accru en cas d'antécédents familiaux, de maigreur, de tabagisme ou de consommation excessive d'alcool et chez la femme, en l'absence de traitement hormonal substitutif après la ménopause (la carence en œstrogènes accélère la déminéralisation osseuse).

I.2.8 Prévention de l'obésité et des maladies métaboliques

Plusieurs études d'observation, menées sur de grandes cohortes de populations, trouvent un lien entre faible apport de calcium et indice de masse corporelle plus élevé. Par exemple, dans une cohorte québécoise, avoir un apport en calcium inférieur à 600 mg par jour, s'avère un important facteur de risque d'obésité. Les études d'intervention donnent quant à elles des résultats divergents. L'analyse de plusieurs essais conclut que la supplémentation en calcium a un effet favorable mais faible pour perdre du poids ou ne pas en prendre. En l'état actuel des connaissances, il semble que la supplémentation ne soit efficace que chez les personnes dont les apports sont insuffisants. Avoir des apports nutritionnels satisfaisants pourrait en revanche contribuer à se protéger contre la prise de poids.

I.2.9 Prévention du cancer colorectal

Plusieurs études d'observation constatent une diminution du risque de cancer colorectal chez les plus forts consommateurs de calcium ou de lait. En 2011, le Fonds mondial de recherche contre le cancer (WCRF) a conclu dans son rapport à une diminution probable du risque de cancer colorectal lié à la consommation de lait. Depuis, l'analyse de 19 études a trouvé un risque réduit de 17 % du cancer du côlon, chez les plus forts consommateurs de lait, comparés aux plus faibles consommateurs. L'effet protecteur du lait pourrait être lié à son apport de calcium, qui agirait par divers mécanismes, notamment en "piégeant" des composés carcinogènes (acides biliaires secondaires par exemple) dans le côlon. Une revue récente des essais d'intervention conclut que la supplémentation en calcium pourrait modestement contribuer à prévenir le cancer colorectal, mais qu'en l'état actuel des connaissances, il n'est pas justifié de préconiser une supplémentation en calcium pour prévenir ce cancer [3], Enfin, trois essais cliniques contrôlés montrent que la prise d'un supplément de carbonate de calcium (1-2 g/j) diminue la récurrence des polypes de 15 à 30 % chez des volontaires : Il semble donc que le calcium prévienne le cancer colorectal. [2]

I.2.10 Prévention de la pré-éclampsie

La pré-éclampsie est une maladie qui peut survenir au cours d'une grossesse, associant hypertension artérielle, œdèmes et présence anormale de protéines dans les urines. De multiples travaux suggèrent un effet préventif d'une supplémentation en calcium au cours des grossesses, chez les femmes dont les apports sont faibles. Ainsi, l'analyse de 13 essais d'intervention conclut à une diminution du risque de 55 % avec un apport de calcium d'au moins 1000 mg par jour. Toutefois, la supplémentation n'est efficace que chez les femmes à risque de pré éclampsie ou chez celles dont les apports en calcium sont bas. Plusieurs organisations professionnelles, Organisation mondiale de la Santé, Collège américain des obstétriciens et des gynécologues, Société internationale pour l'étude de l'hypertension artérielle pendant la grossesse, recommandent un supplément de 1 500 à 2 000 mg de calcium pendant la grossesse chez les femmes dont l'apport est inférieur à 600 mg par jour.

I.3 Apports alimentaires et homéostasie calcique

Pour aborder pleinement le versant nutritionnel du calcium, il convient au préalable de définir et d'expliquer certaines grandes notions à la base des recommandations, à savoir les

besoins, les apports nutritionnels conseillés, etc. Il est important de savoir jongler avec ces termes sans faire de confusion.

I.3.1 Apports alimentaires du calcium

I.3.1.1 Les besoins

Les besoins en un nutriment donné, se définissent comme la « quantité nécessaire pour assurer l'entretien, le fonctionnement métabolique et physiologique d'un individu en bonne santé, comprenant les besoins liées à l'activité physique et la thermorégulation, et les besoins supplémentaires pendant certaines périodes de la vie telles que la croissance, la gestation et la lactation ». (26) Sous cette définition générale, on distingue :

I.3.1.2 Les besoins nutritionnels

Il s'agit d'une notion globale. Les besoins nutritionnels expriment la quantité de calcium par exemple devant être ingérée pour couvrir les besoins nets. Ils tiennent compte de la quantité réellement absorbée. Cette absorption est variable, selon la nature du régime alimentaire [45], la source de calcium, ou encore, selon les variations interindividuelles.

I.3.1.3 Les besoins nutritionnels minimaux

Ils correspondent à la quantité de calcium permettant de maintenir les fonctions prioritaires, éventuellement aux dépens des autres, ou aux dépens des réserves (calcium échangeable de l'os) puisque la calcémie est maintenue constante. Lorsque les besoins nutritionnels minimaux ne sont pas couverts, la probabilité d'apparition de signes cliniques de carence devient importante, à court ou moyen terme.

I.3.1.4 L'Apport Nutritionnel Conseillé (ANC)

L'ANC est un apport de sécurité, qui vise à couvrir les besoins de la quasi-totalité de la population. Il est calculé en ajoutant deux écarts types (représentant chacun le plus souvent 15% de la moyenne) au besoin nutritionnel moyen (BNM), pour prendre en compte la variabilité interindividuelle. Ainsi, par convention la valeur de l'ANC est obtenue en augmentant le BNM de 30%. [15], [70], [71]

Il s'agit donc d'un concept fondé sur des notions de probabilité, et sur le principe suivant lequel, puisque le besoin de chaque individu n'est pas connu, l'apport qui doit être conseillé à

chacun doit présenter une marge de sécurité statistique, pour couvrir 97,5% de la population. Ainsi, l'ANC a été déterminé sur la base de 130% du besoin moyen [33].

L'ANC étant bien un apport de « sécurité », il est évident que des apports légèrement inférieurs peuvent encore assurer une couverture suffisante chez un individu. Cependant, lorsqu'ils sont inférieurs aux deux tiers des ANC, ils sont considérés comme « à haut risque de déficience » [72].

La figure (03) illustre la relation mathématique (courbe de Gauss) entre l'ANC et les besoins nutritionnels.

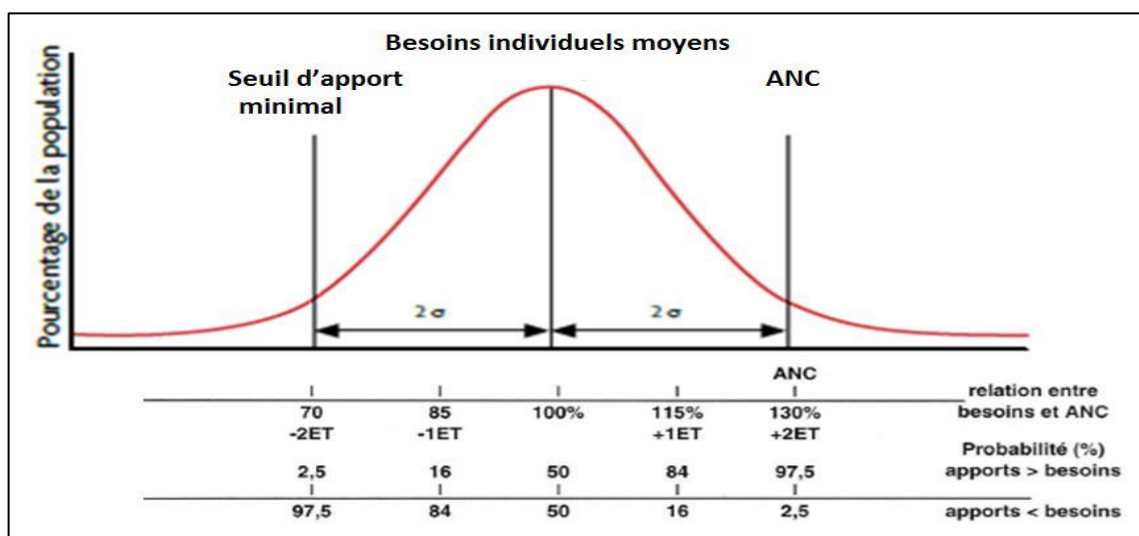


Figure 3: Représentation mathématique des ANC [15], [70]

La courbe de Gauss et la 1ère ligne en dessous permettent de situer les ANC par rapport à la valeur des besoins moyens. La 2ème ligne donne à partir de la valeur d'un apport déterminée, la fraction de la population correspondante ayant des apports supérieurs ou inférieurs aux besoins, par différence avec la valeur 100. (26)

I.3.1.5 Besoins calciques et apports nutritionnels conseillés (ANC)

Les besoins en calcium ont été évalués à l'aide de la méthode factorielle, c'est à dire à partir des valeurs moyennes adaptées pour les besoins nets (entretien, croissance, gestation, lactation) et pour le coefficient d'absorption réelle [11] Les besoins nets pour la croissance, la gestation et la lactation sont évalués par analyse des tissus correspondants. Le besoin net pour l'entretien est égal aux pertes minimales obligatoires par les voies urinaire, endogène fécale et sudorale.

La perte endogène fécale ne peut être estimée qu'en ayant recours à des techniques isotopiques et sa connaissance est indispensable pour le calcul du coefficient d'absorption réelle (CAR).

Les apports nutritionnels conseillés pour la population française ont ainsi été évalués et viennent d'être révisés (Afssa-Cnera 2 000) [12]

Ces apports sont légèrement inférieurs aux dernières valeurs adoptées par l'Institut de médecine américain [13] recommandant 1 000 mg/j de calcium (au lieu de 900) chez les adultes et 1 300 mg/j (au lieu de 1 200) chez les adolescents.

Il est possible que les seuls critères osseux ne suffisent pas pour définir les besoins nutritionnels optimaux. En effet, il est maintenant connu que, en diminuant l'absorption intestinale des acides gras et des acides biliaires, l'excès de calcium non absorbé contribue à prévenir les troubles cardiovasculaires, l'hypertension et le cancer du colon.

Des apports très élevés de calcium (jusqu'à 2 g/j) ne semblent pas exercer d'effet défavorable chez le sujet sain [14]. Cependant, de tels apports prolongés peuvent conduire, chez des sujets sensibles à l'hypercalciurie et donc à la lithiase urinaire et à la néphrocalcinose, ce risque étant aggravé en cas d'hypervitaminose D. La lithiase oxalique, la plus fréquente, ne semble toutefois pas concernée puisqu'un excès de calcium, en contrecarrant l'absorption intestinale de l'acide oxalique, serait un facteur protecteur [15]. L'hypercalcémie et l'insuffisance rénale résultant d'un très gros apport calcique (syndrome des buveurs de lait) est exceptionnelle [16]

Enfin, un excès de calcium alimentaire peut aussi inhiber l'absorption intestinale d'autres éléments comme le magnésium, le zinc et surtout le fer.

Il semble donc prudent de maintenir **la limite de sécurité à 2 g de calcium par jour.**

Tableau 3: besoins minimaux (BNM) et apports conseillés (ANC) en calcium (mg/j) selon l'âge, le sexe et le statut physiologique (recommandations françaises) [17]

	BNM (besoins minimaux)	ANC (apports conseillés)
Enfant 1-3 ans	350	500
Enfant 4-9 ans	600	800
Adolescent 10-14 ans	930	1200

Adolescent 15-18 ans	920	1200
Adulte > 18 ans	690	900
Femme > 55 ans	930	1200
Homme > 65 ans	930	1200
Femme enceinte (3 ^{ème} trimestre)	760	1000
Femme allaitante	800	1000

En général, un apport d'environ 800 mg de calcium par jour peut être suffisant. Cette quantité de calcium peut être obtenue par une alimentation saine incluant au quotidien des aliments riches en calcium.

Le Guide alimentaire canadien recommande aux personnes de 50 ans et plus de prendre au moins 3 portions de lait (ou substituts) par jour et aux adultes de moins de 50 ans, au moins 2 portions à tous les jours.

Il y'a beaucoup de sources végétales de calcium, y compris les haricots noirs, certains légumes à feuilles vertes, le brocoli, certains types de tofu, les amandes...etc. [4].

I.3.2 Homéostasie calcique

L'intestin, l'os et le rein sont les trois sites de régulation et du maintien de l'homéostasie calcique. Cette dernière répond à trois contraintes :

- Accumuler et maintenir un stock suffisant de phosphate de calcium (essentiellement sous forme stable d'hydroxyapatite) au sein du squelette osseux afin de lui conférer une résistance mécanique optimale.
- Maintenir stable, à court terme, la concentration extracellulaire de calcium ionisé mais aussi le stock cellulaire de phosphates qui permet les réactions de phosphorylation indispensables à la signalisation cellulaire ainsi qu'aux transferts d'énergie ;
- Protéger les tissus mous, en particulier les parois vasculaires, de dépôts intempestifs de phosphate de calcium alors que les conditions d'une accréation osseuse sont obtenues.

I.3.2.1 L'absorption intestinale

L'absorption intestinale du calcium est incomplète et fortement variable (de 10 à 50 % de l'apport), elle est limitée à l'intestin grêle et comporte deux mécanismes intriqués [18]

➤ Une absorption paracellulaire passive tout au long du grêle, peu efficace mais non saturable, c'est un mouvement passif qui s'effectue soit par diffusion, soit par entraînement en suivant le mouvement d'eau et des solutés osmotiquement actifs comme le sodium et le glucose, ce mouvement est d'autant plus important que le gradient chimique est favorable.

On estime que cette voie d'absorption du calcium est loin d'être négligeable puisqu'elle pourrait permettre le passage de 60 à 70 % de la totalité du Calcium absorbé [20] Une absorption transcellulaire active essentiellement duodénale mais aussi jéjunale,

qui est particulièrement efficace mais saturable. Cette absorption active est dépendante du calcitriol (1-25(OH)₂ vitamine D₃).

Le flux transcellulaire correspond à un mouvement actif qui s'effectue en trois étapes : l'entrée dans la cellule épithéliale, la traversée du cytoplasme et la sortie à travers la membrane basolatérale.

1- L'entrée dans l'entérocyte ne requiert pas d'énergie métabolique. Elle est largement favorisée par le gradient électrochimique qui existe de part et d'autre de la membrane luminale, il faut noter que toute diminution importante de la concentration de sodium dans la lumière de l'intestin conduit à une augmentation de l'entrée du calcium dans l'entérocyte à la suite d'une hyperpolarisation de la membrane apicale. Par opposition, toute situation où existe une dépolarisation de la membrane entraîne une diminution de l'entrée du calcium dans l'entérocyte.

L'entrée du calcium suggère l'implication d'un transporteur dans la membrane de la bordure en brosse, Ainsi a-t-on fait jouer un rôle à l'**IMCal** (Intégral membrane calcium-binding

-protein), à **la calmoduline** (qui maintient la stabilité du cytosquelette et pourrait s'associer à une protéine apparentée à la myosine) et à **la calbindine**[22]

2- Le mode de passage précis du calcium du côté apical vers le côté basal reste encore bien discuté aujourd'hui.

On a proposé que le calcium se lie à la calbindine pour être en quelque sorte véhiculé à travers le cytoplasme [14, 15]. L'implication de la calbindine est soutenue par de nombreuses études expérimentales [23]Récemment certains auteurs proposent que le transport du Calcium dans la cellule puisse être effectué au moyen de vésicules membranaires formées par le contact du calcium avec la membrane de la bordure en brosse. Ils ont même proposé que ce soit le complexe calcium-calbindine qui est véhiculé jusqu'au pôle basolatéral de l'entérocyte où il serait libéré par exocytose [24]

3- Le processus de sortie du calcium hors de la cellule à travers la membrane basolatérale vers les capillaires sanguins s'effectue contre un gradient électrochimique et met en jeu, outre le processus d'exocytose, une pompe à Calcium ou Ca-ATPase stimulée par le complexe Ca-calmoduline et même par le complexe Ca-calbindine[25]. On a également évoqué la possibilité de faire sortir le calcium hors de la cellule en utilisant l'échangeur Na-Ca, mais cette voie ne semble jouer qu'un rôle secondaire dans l'intestin dans les conditions physiologiques.

➤ Il existe également un transport actif de calcium dans le colon, mais il ne représente qu'une faible part de l'absorption intestinale du calcium [17]

La figure (04) illustre ces deux voies d'absorption intestinale du calcium

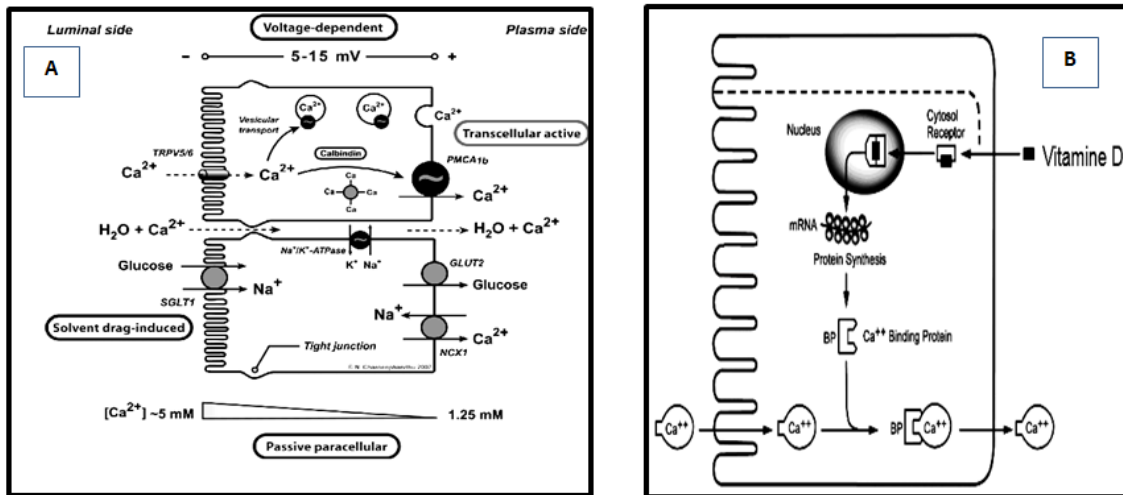


Fig : absorption intestinale du calcium, A : absorption transcellulaire et paracellulaire, B : action de la vitamine D

Figure 4: absorption intestinales du calcium, A : absorption transcellulaire et paracellulaire, B : action de la vitamine D [17]

Au total, L'absorption du calcium se fait principalement dans le duodénum. Elle est régulée par la vitamine D3. Elle est facilitée par l'acidité du pH duodénal et est diminuée par précipitation du calcium en présence d'un excès d'apport alimentaire en phytates (céréales complètes riches en hémicellulose), en oxalates (haricots verts, amandes, thé, cacao...) ou en cas d'excès de phosphore. Le rendement net de l'absorption calcique n'est que de 20 à 30 %, le solde étant éliminé dans les fèces. Le rendement est augmenté durant la grossesse par un effet positif des œstrogènes.

I.3.2.2 L'excrétion rénale

L'excrétion rénale contrebalance l'absorption intestinale. La réabsorption rénale du calcium représente plus de 98 % de la quantité filtrée et est finement régulée.

En cas d'augmentation du calcium extracellulaire, le rein est capable d'excréter une importante quantité de calcium, tant que la filtration glomérulaire est préservée.

- Lors de la filtration glomérulaire, seul le calcium ionisé ou complexé est filtré (soit 55 à 60 % de la calcémie totale). Pour une filtration glomérulaire normale de 180 litres par jour, la quantité de calcium filtrée quotidiennement représente environ 10 g (240 mmol).
- La réabsorption au niveau tubulaire proximal représente 70 % du calcium filtré et Est passive, par voie paracellulaire, à la faveur de la réabsorption de sodium et d'eau.

- Plus loin, au niveau de la branche ascendante large de Henle (BALH), 20 % du Calcium est réabsorbé par voie paracellulaire de façon dépendante de celle du chlorure de sodium par le cotransporteur NaK2Cl . Ce transporteur est bloqué par les diurétiques de l'anse (furosémide), ce qui induit une augmentation de la calciurie.
- Finalement, le tubule distal ne réabsorbe que 8 % de la charge filtrée, par voie Transcellulaire active sous la dépendance de la parathormone (qui réduit physiologiquement la calciurie). Les diurétiques thiazidiques (indapamide, hydrochlorothiazide), en bloquant la réabsorption du NaCl dans ce segment, favorisent la réabsorption du calcium, diminuent la calciurie et augmentent la calcémie.

L'excrétion urinaire quotidienne de calcium dépend, chez l'adulte sain, de l'absorption intestinale nette de calcium. La calciurie est en général de l'ordre de 3 à 5 mmol/24 h. On parle d'hypercalciurie pour des valeurs supérieures à 7,0 mmol/24 h chez l'homme et supérieures à 6,0 mmol/24 h chez la femme.[18]

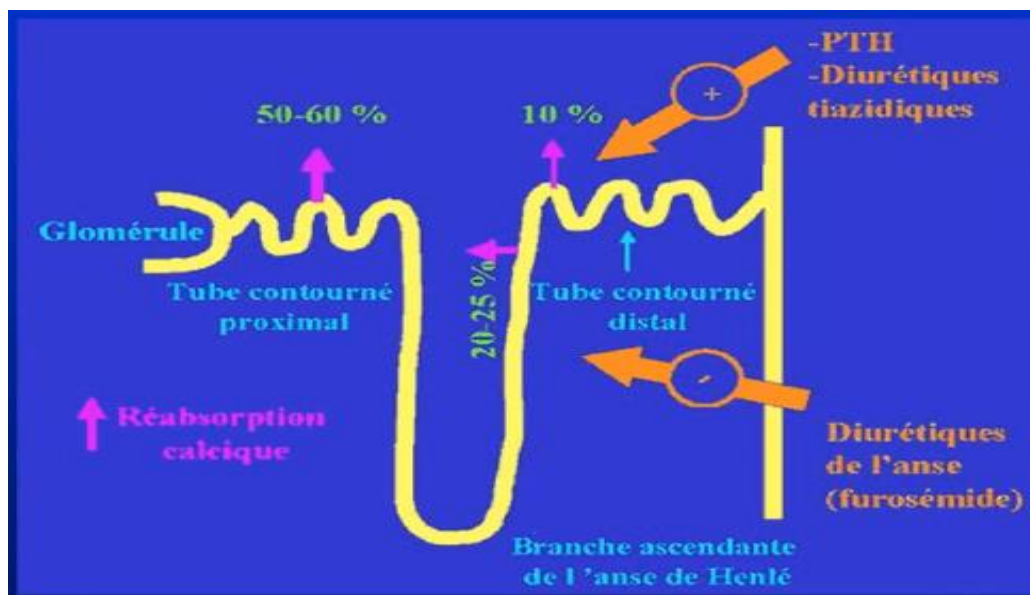


Figure 5: élimination rénale du calcium (filtration, réabsorption, excrétion) [26]

I.3.2.3 La part de l'os

L'hydroxyapatite, qui constitue la substance minérale de l'os, est de nature proche d'un phosphate tricalcique et contient environ 99 % du calcium de l'organisme, soit environ 1 200 g pour un homme adulte, avec un rapport pondéral calcium / phosphore voisin de 2.

Les échanges calciques entre l'os et le pool échangeable de calcium sont constants et témoignent du remodelage osseux lié à une balance d'activité entre les ostéoclastes ostéolytiques et les ostéoblastes ostéogéniques.

Pendant la croissance, l'accrétion calcique domine avec un gain net de la masse osseuse, l'équilibre caractérise l'âge adulte. Avec l'âge, et particulièrement après la ménopause, la balance se déplace vers la perte osseuse dont l'exagération aboutit à l'ostéoporose.

Les échanges calciques sont très intenses durant la grossesse et la lactation. Ils sont sous la dépendance de la PTH, de la vitamine D et de la calcitonine.[17]

Presque toutes les études épidémiologiques récentes, rétrospectives ou d'intervention, montrent qu'une forte consommation de calcium pendant l'enfance et l'adolescence[27]Il a un effet positif sur la densité osseuse à l'âge adulte, également il était démontré que l'apport d'un supplément de calcium, de préférence associé à un supplément de vitamine D[28], permet encore de réduire nettement la perte osseuse et l'incidence des fractures secondaire à l'ostéoporose.

I.3.3 La balance calcique

A l'état physiologique, un adulte jeune a un bilan calcique nul (fig06). La balance calcique étant définie comme la différence entre les entrées et les sorties, cela revient à dire que chez un adulte en bonne santé, les entrées de Ca^{2+} dans l'organisme équilibrent les sorties. Cet équilibre est assuré par un système puissant de contrôle endocrinien qui met à contribution principalement l'hormone parathyroïdienne et le calcitriol.

En fait, A jeun, la calcémie est maintenue constante par un flux de calcium sortant de l'os, qui compense les sorties rénales dites obligatoires. Lorsque les apports alimentaires ou l'absorption intestinale de calcium sont défectueux, il se produit alors une libération du calcium des os et donc une perte minérale osseuse. Chez un sujet normal ayant une alimentation équilibrée, on admet qu'à l'état d'équilibre la calciurie des 24 heures reflète l'absorption nette digestive [6]

Prenons par exemple un sujet consommant 1000mg de calcium/j, il existe au niveau intestinale une sécrétion du calcium endogène de l'ordre de 200mg/j, ce qui donne un apport dans la lumière intestinale de 1200mg/j, 400mg sont absorbés et le reste soit (800mg) est éliminée dans les fèces.

L'absorption digestive nette est la différence entre l'absorption et la sécrétion elle avoisine 200mg/j. cette fraction sera retrouvée soit partiellement (bilan calcique positif) soit totalement (bilan calcique nul) dans les urines.

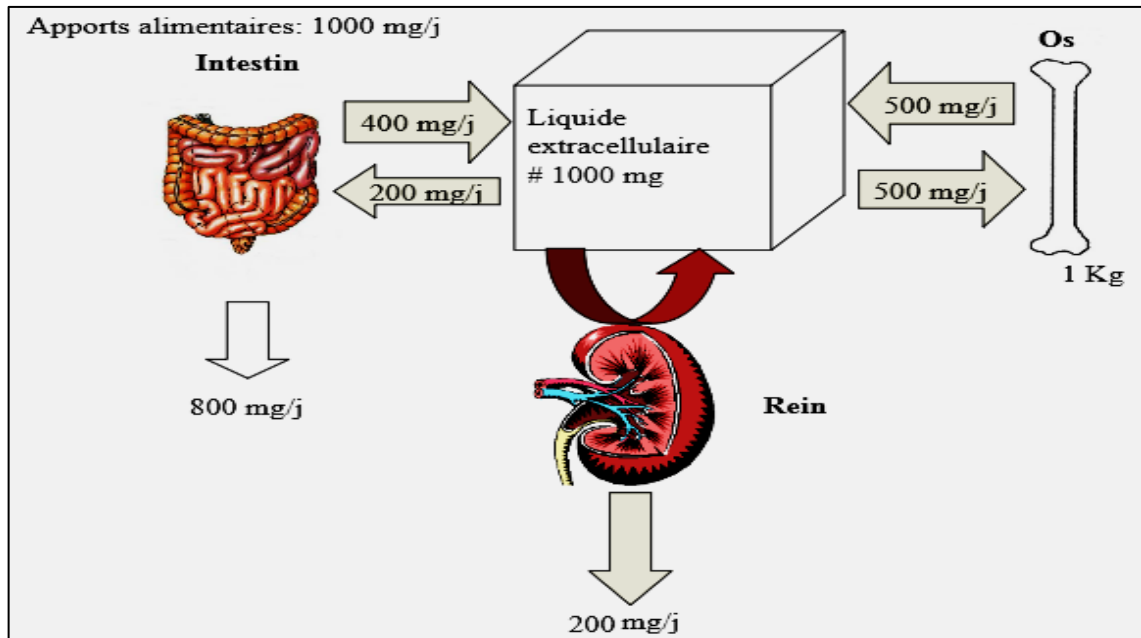


Figure 6: Balance calcique : représentation schématique des flux de calcium chez un adulte normal en bilan nul [6]

I.3.4 Principaux acteurs de la régulation du bilan phosphocalcique

La régulation de la balance phosphocalcique est sous l'influence des facteurs hormonaux et nutritionnels. L'objectif prioritaire est de maintenir l'homéostasie calcique tout en permettant une minéralisation satisfaisante du squelette qui constitue un réservoir calcique.

Nous détaillerons dans cette partie les principales hormones qui régulent le métabolisme phosphocalcique, alors, l'impact des facteurs nutritionnels sera détaillé ultérieurement.

I.3.4.1 Récepteur sensible au calcium (CaSR)

La concentration du calcium ionisé extracellulaire est détectée dans différents tissus par un récepteur sensible au calcium (CaSR, pour « Ca⁺⁺ sensingreceptor »). Ce récepteur est principalement exprimé à la membrane des cellules principales des parathyroïdes, des cellules C de la thyroïde (où il stimule la sécrétion de calcitonine), dans le rein, mais aussi dans d'autres tissus ou organes tels le tube digestif et l'os.

Au niveau des parathyroïdes, CaSR permet une régulation fine et rapide de la sécrétion de PTH en réponse à des variations du calcium ionisé extracellulaire.

Le CaSR est aussi exprimé dans différents segments du tubule rénal où il module la perméabilité de l'épithélium au calcium et au magnésium.

I.3.4.2 Parathormone (PTH)

La PTH est une hormone polypeptidique synthétisée dans les cellules principales des glandes parathyroïdiennes, sa sécrétion dépend directement de la concentration du calcium extracellulaire détectée par le CaSR.

La PTH agit sur le rein et l'os, en se liant à son récepteur (PTH1R). Lorsqu'elle est sécrétée, par exemple en cas d'hypocalcémie, elle augmente la libération de calcium osseux et stimule la réabsorption rénale du calcium, ce qui tend à normaliser la calcémie.

La PTH stimule aussi l'expression et l'activité de la **1-alpha hydroxylase** dans le tubule proximal, augmentant la synthèse de calcitriol et donc indirectement l'absorption intestinale de calcium.

Au-delà de son action sur le métabolisme minéral, la PTH contribue fortement à la régulation du turn-over osseux en stimulant la synthèse protéique osseuse via les ostéoblastes, et, dans certaines conditions, la différenciation et l'activité ostéoclastique.

I.3.4.3 La vitamine D et ses métabolites

La vitamine D a une double origine :

- **Exogène**, correspondant à l'apport alimentaire : sous deux formes : la vitamine D2 ou ergocalciférol, produite essentiellement par les végétaux, et la vitamine D3 ou cholécalciférol, d'origine animale (poissons gras....)
- **Endogène**, résultant d'une néosynthèse au niveau de l'épiderme sous l'action des UVB (figure7). L'activation de la vitamine D3 nécessite une double hydroxylation :
- En position 25 au niveau hépatique, par la 25-hydroxylase. Ceci donne la 25-OH vitamine D3 ou calcidiol ; reflétant le stock en vitamine D
- En position 1 au niveau rénal, par la 1 α -hydroxylase. Ceci donne la forme active : le 1,25(OH)₂D3 ou calcitriol.

Ce dernier a comme principales actions l'homéostasie phosphocalcique et la régulation du métabolisme osseux. En effet, il permet le recrutement des cellules souches osseuses précurseurs des ostéoclastes.

La quantité de 7- déhydrocholestérol stockée dans la peau diminue avec l'âge, ce qui induit une nette diminution de la synthèse cutanée de vitamine D au cours du vieillissement

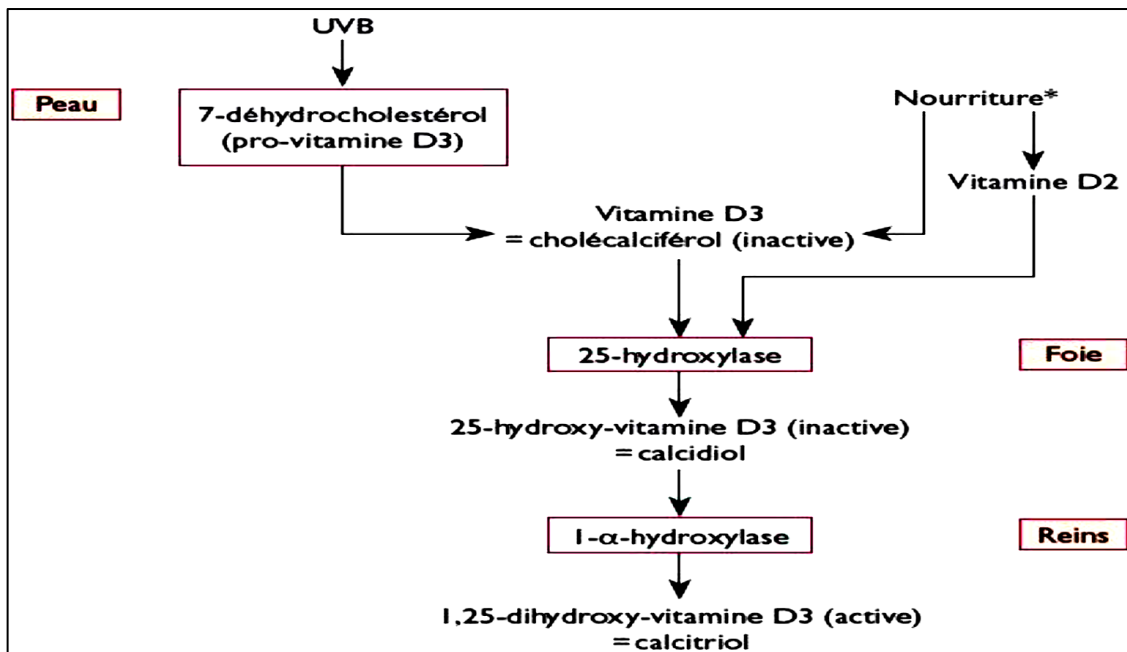


Figure 7: synthèse et activation de la vitamine D [29]

- Au niveau intestinal, le calcitriol active la synthèse de plusieurs protéines qui stimulent l'absorption du calcium, essentiellement :
 - la CaBP apicale
 - la phosphatase alcaline
 - la Ca-ATPase basolatérale ;
 - des protéines de la bordure en brosse intestinale. [29]
- Au niveau osseux, le calcitriol favorise le turn-over et la minéralisation osseuse. Il induit la différenciation dans la moelle osseuse des cellules souches en ostéoclastes. La calcitriolémie est d'ailleurs plus élevée en phase de croissance rapide. Son déficit peut être à l'origine de pathologies telles que le rachitisme chez l'enfant et l'ostéomalacie chez l'adulte.
- En fin, la sécrétion de calcitriol favorisée par la PTH induit un feed-back négatif sur la sécrétion de cette dernière.

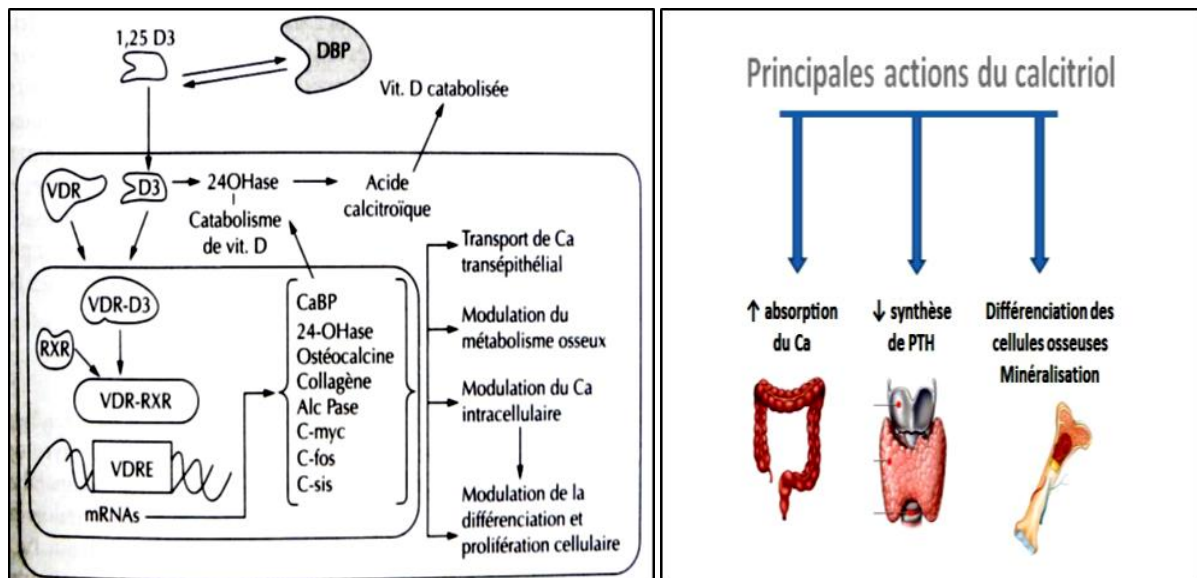


Figure 8: actions cellulaires du calcitriol

[29]

(Le calcitriol pénètre son récepteur, VDR,

où elle forme des complexes avec l'élément RXR et induit ensuite la synthèse de protéines nécessaires au transport du calcium, à son catabolisme, à la formation osseuse et à la prolifération cellulaire.)

dans la cellule, se fixe à pénètre dans le noyau

I.3.4.4 La calcitonine

La calcitonine est une hormone synthétisée et sécrétée par les cellules C de la thyroïde. Elle a une action directe sur l'os et sur le rein :

- Elle freine l'activité sécrétoire, la mobilité, le nombre et le renouvellement des ostéoclastes. Ceci amène à la réduction du catabolisme osseux.
- Elle diminue la réabsorption tubulaire du calcium et augmente la calciurie.

A l'inverse des deux hormones précédentes, la calcitonine est donc hypocalcémiante, elle est d'ailleurs utilisée en thérapeutique dans la maladie de Paget (remodelage osseux excessif) ou dans l'hypercalcémie aiguë.

I.3.5 Régulation endocrine secondaire

D'autres hormones participent à la régulation phosphocalcique :

I.3.5.1 L'hormone de croissance (GH) favorise l'absorption intestinale et l'excrétion urinaire du calcium. Elle se révèle hyperphosphorémiante en cas de production excessive ;

I.3.5.2 Les hormones thyroïdiennes diminuent l'absorption intestinale, augmentent l'élimination calcique urinaire et favorisent la résorption osseuse ;

I.3.5.3 les œstrogènes : la synthèse de la vitamine D3 et, de ce fait, l'absorption calcique. Ils contribuent à l'équilibre entre l'ostéogenèse et l'ostéolyse

I.3.5.4 La prolactine : elle stimule la synthèse de calcitriol au niveau rénal et augmente l'absorption intestinale de calcium, indépendamment de la vitamine D. Elle favorise également la libération de PTH et, dans le cas d'une grossesse, rééquilibre la distribution du calcium en augmentant son transport vers le fœtus.

I.3.5.5 Les glucocorticoïdes : inhibent la synthèse de la protéine de transport du calcium au niveau de l'intestin ; ils constituent un facteur puissant de négatification de la balance calcique et d'un hyperparathyroïdisme secondaire.

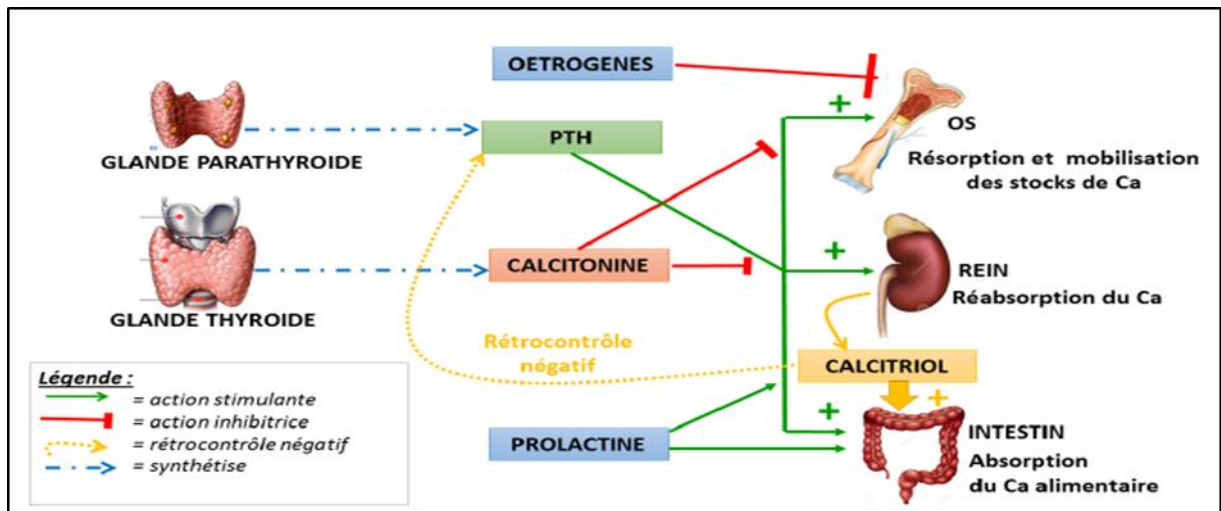


Figure 9: Schéma de la régulation endocrine de la calcémie [29]

II NOTIONS D'ABSORBABILITE ET BIODISPONIBILITE DU CALCIUM

Dans cette deuxième partie on détaillera les facteurs diététiques qui influencent la biodisponibilité calcique en passant par la définition de l'absorbabilité et la biodisponibilité.

II.1.1 Différence entre : absorption, absorbabilité et biodisponibilité

Pour que le calcium soit absorbé au niveau de la paroi intestinale, il doit être extrait de l'aliment dont il provient - lequel doit donc avoir une bonne digestibilité - puis, il doit être mis en solution au niveau gastrique.

L'absorbabilité est la capacité du calcium à être absorbé au niveau intestinal en conditions physiologiques. C'est une caractéristique de l'aliment. Elle est souvent utilisée à tort et de façon réductrice comme synonyme de biodisponibilité (BD). En réalité, elle n'en constitue que la première étape. [30], [31]

L'absorbabilité est différente de l'absorption, qui est dépendante de la capacité de l'intestin, elle-même influencée par des facteurs physiologiques tels que l'état des besoins et des réserves en calcium, la régulation hormonale, ou les niveaux antérieur et actuel des apports calciques.

La biodisponibilité du calcium est sa capacité à être retenu par l'os et les organes [32]. Celle-ci est la résultante de l'absorbabilité intestinale du calcium et de son utilisation ultérieure par les différents tissus de l'organisme.

$$\text{Biodisponibilité} = \text{Absorbabilité intestinale} + \text{Utilisation tissulaire}$$

Certains facteurs alimentaires ont des actions agonistes ou antagonistes sur la biodisponibilité, et sur l'homéostasie calcique. Pour la biodisponibilité du calcium, le lait et les produits laitiers servent de référence

II.1.2 Coefficient d'absorption réelle du calcium (CAR)

Il s'agit du coefficient d'absorption moyen, déterminé dans des conditions d'alimentation courante. Physiologiquement le CAR du calcium augmente lorsque la quantité ingérée

diminue [30], [31], [33]. C'est pourquoi, il ne reflète pas l'absorption du calcium dans des conditions d'alimentation extrême.

- De façon logique, le CAR moyen adopté correspond à des apports « raisonnablement faibles » [30], obtenus lorsque l'apport alimentaire est légèrement supérieur aux besoins nets. Dans ces conditions (sauf en cas d'absorbabilité modifiée par des facteurs inhibiteurs), il est de l'ordre de 35 à 40 % chez l'adulte.
- Il varie également en fonction du statut physiologique :
 - Augmentation à la puberté (45%), pendant la grossesse (55%) ou la lactation (45%).
 - Diminution après la ménopause (30%), et chez les sujets âgés, par baisse de la production de calcitriol.

Tableau 4: variations du coefficient d'absorption réelle.

	CAR (%)
Enfant 1-3 ans	40
Enfant 4-9 ans	40
Adolescent 10-14 ans	45
Adolescent 15 – 18 ans	40
Adulte > 18 ans	38
Femme > 55 ans	30
Homme > 65 ans	30
Femme enceinte (dernier trimestre)	55
Femme allaitante	45
Femme après allaitement³	50

II.1.3 Evaluation de la biodisponibilité

C'est l'évaluation de la capacité potentielle du calcium à être absorbé et retenu par l'os, elle dépend en partie des caractéristiques physicochimiques de l'aliment.

L'absorbabilité du calcium est en général évaluée par la mesure de l'absorption, en réalisant pendant plusieurs jours un bilan « entrée – sortie », soit « apports contrôlés - excrétion intestinale ». Cette méthode de mesure dite « des bilans » ou « méthode de la balance » est la plus courante. Cependant, elle ne fournit que l'absorption calcique apparente.[35], [36]. Pour obtenir l'absorption réelle, il faut donc recourir à une méthode isotopique, Il importe alors que le marquage soit homogène et réel, sinon le résultat concerne le traceur et non le calcium, ce qui surestime souvent l'absorption.[35], [36]. Le marquage extrinsèque est simple et possible dans le cas

des produits laitiers. En revanche, les végétaux exigent un marquage intrinsèque (après introduction du traceur dans le milieu de culture)[37]. Ces difficultés expliquent le fait que les données sur la biodisponibilité du calcium des végétaux soient peu nombreuses par rapport à celles des produits laitiers.

Enfin, pour mesurer la biodisponibilité osseuse, il faut mesurer la rétention nette, c'est-à-dire, tenir compte de la perte urinaire.[35]

II.2.1 Facteurs alimentaires influençant la biodisponibilité du calcium

L'absorption intestinale et l'excrétion rénale sont les déterminants majeurs de la biodisponibilité réelle du calcium et donc, du bilan calcique.

L'absorbabilité qui est l'étape initiale de la biodisponibilité, dépend de la forme d'apport du calcium, mais aussi et surtout, de l'environnement physicochimique créé par les constituants des aliments et des sécrétions digestives.

Certains facteurs physiologiques influencent l'absorption du calcium, en fait, elle est augmentée lors d'un repas, par rapport à une prise à jeun, de même, le ralentissement de la vidange gastrique permet un contact plus long des minéraux avec les villosités intestinales.[38]

L'absorption est aussi augmentée lorsque l'apport diminue, et inversement [38], [34],[37], [39] Ceci est un mécanisme de sécurité pour l'organisme, mais qui ne suffit pas à protéger le tissu osseux de la déminéralisation lorsque l'insuffisance d'apport devient chronique.

La croissance et la grossesse sont des situations qui induisent une augmentation physiologique de la biodisponibilité via l'augmentation des capacités d'absorption du calcium. A l'inverse, la sénescence est à l'origine d'une perte d'efficacité de l'organisme pour l'absorption. [38]

Au total ; la régulation nutritionnelle de la biodisponibilité calcique est secondaire à des facteurs qui agissent sur la solubilité du calcium, sur la perméabilité des entérocytes, ou bien à des agents qui influencent la calciurie.

II.2.1.1 Les oxalates et les phytates

Bien que la source laitière soit la plus connue, certains végétaux contiennent une quantité non négligeable de calcium. Néanmoins, ils présentent presque tous un inconvénient commun : le calcium qu'ils renferment se trouve en grande partie insolubilisé par deux acides :

- **l'acide oxalique** ou oxalate (du latin *oxalis* = oseille), présent dans de très nombreux végétaux notamment les épinards, l'oseille, la betterave, ou encore la rhubarbe.
- **l'acide phytique** ou phytate, présent en grande quantité dans l'enveloppe des légumineuses et des céréales comme le son, le soja, les lentilles, les haricots rouges ...

Le calcium végétal est alors moins absorbé, et donc moins biodisponible que celui des produits laitiers et des sels organiques ou minéraux.

II.2.1.1.1 L'acide oxalique :

L'acide oxalique, de structure chimique ($C_2H_2O_4$), est présent à l'état naturel dans les racines et rhizomes de toutes les plantes de la famille des *oxalis*, essentiellement sous la forme d'oxalate de calcium ou de potassium.[40] C'est donc un élément très fréquemment ingéré (tableau 12): épinards, céleris, blettes, carottes, certaines salades comme la roquette, haricots verts, haricots secs, cacao, noix, noisettes, baies, fraises, agrumes, thé, café et vin.

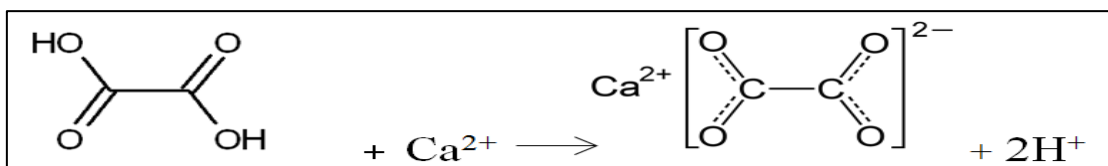
Tableau 5: Proportion d'acide oxalique contenu dans divers végétaux couramment consommés [39]

Végétaux consommés	Teneur en acide oxalique (mg/100 g, masse sèche)
Betterave (feuille)	> 12000
Thé	3700
Cacao	4500
Epinard	460 à 3200
Rhubarbe	500 à 2400
Blette	690
Amandes	400
Oseille	300 à 500
Persil	190

Une fois dans l'organisme, l'acide oxalique se trouve sous deux formes : soluble et insoluble, chacune ayant un effet négatif sur l'organisme. [41]

La forme insoluble se présente sous l'état de cristaux d'oxalate de calcium, agissant comme un « anti-nutriment », en empêchant l'absorption intestinale du calcium ingéré. En effet, l'acide oxalique a la capacité de déplacer et complexer les ions métalliques alcalino-terreux, au premier rang desquels se trouve le calcium (La figure 10)

La consommation d'aliments riches en acide oxalique est donc associée à la complexation du calcium, ce qui en diminue l'absorption. A ce titre, il possède l'effet inhibiteur le plus fort.[42], [43], [39]

**Figure 10: Formation d'un complexe d'oxalate de calcium à partir d'acide oxalique et de calcium ionisé [21]**

Les épinards cuits sont souvent vantés pour leur teneur en calcium. Effectivement, ils renferment 141 mg de calcium pour 100 g [45], mais ils sont pourtant une source de calcium peu intéressante en terme de biodisponibilité, car la quantité très importante d'acide oxalique qu'ils contiennent est théoriquement suffisante pour complexer la totalité du calcium présent.[46] En réalité, une faible quantité de calcium des épinards reste échangeable et peut être absorbée[42].

Ainsi, l'acide oxalique est un inhibiteur de l'absorption connu depuis longtemps puisqu'en 1935 on retrouvait déjà une publication expliquant la différence entre le « bon » calcium du chou (dépourvu d'acide oxalique) et le « mauvais » calcium des épinards [26]

L'acide oxalique peut s'avérer toxique au-delà d'une certaine dose. Il peut être à l'origine de troubles gastro intestinaux graves, de violentes douleurs spasmodiques ou de la formation, par sa forme soluble, de lithiase rénale (oxalate de calcium)[46], [18].

II.2.1.1.2 L'acide phytique :

L'acide phytique de formule brute $C_6H_{18}O_{24}P_6$ est le constituant phosphoré le plus abondant des végétaux chez lesquels il constitue une substance de réserve de phosphates, d'éléments métalliques et d'inositol. Il est naturellement présent dans l'enveloppe des graines de nombreuses céréales et légumineuses. Du fait du grand nombre de radicaux phosphorés dans sa molécule, les charges négatives du phosphore viennent facilement se lier avec les cations. Ainsi, comme l'acide oxalique, il complexe le calcium (figure 11), ce qui en fait un autre inhibiteur de son absorption intestinale.[47] (figure 12)

L'acide phytique se lie au calcium de façon moins forte qu'avec les autres cations divalents comme le zinc ou le magnésium. De fait, son potentiel inhibiteur de l'absorption est moins important que celui de l'acide oxalique, [46], [39] mais son abondance dans les végétaux reste un inconvénient majeur.

Certaines études montrent néanmoins que des aliments comme le pain au levain, ou certaines céréales comme le son de blé, riche en phytates, permettent quand même au calcium d'être absorbé. C'est une enzyme, la phytase, présente dans le blé ou produite par fermentation qui inhibe l'action complexante des phytates par hydrolyse. [48], [39]

Cependant l'inactivation des phytases végétales au cours de la cuisson et l'absence de ces enzymes dans notre tube digestif empêchent en pratique le métabolisme de l'acide

phytique. Une fois le végétal ingéré, les phytates libérés forment avec le calcium des complexes insolubles qui ne sont pas absorbés par l'intestin, et qui sont par la suite éliminés dans les fèces. [27]

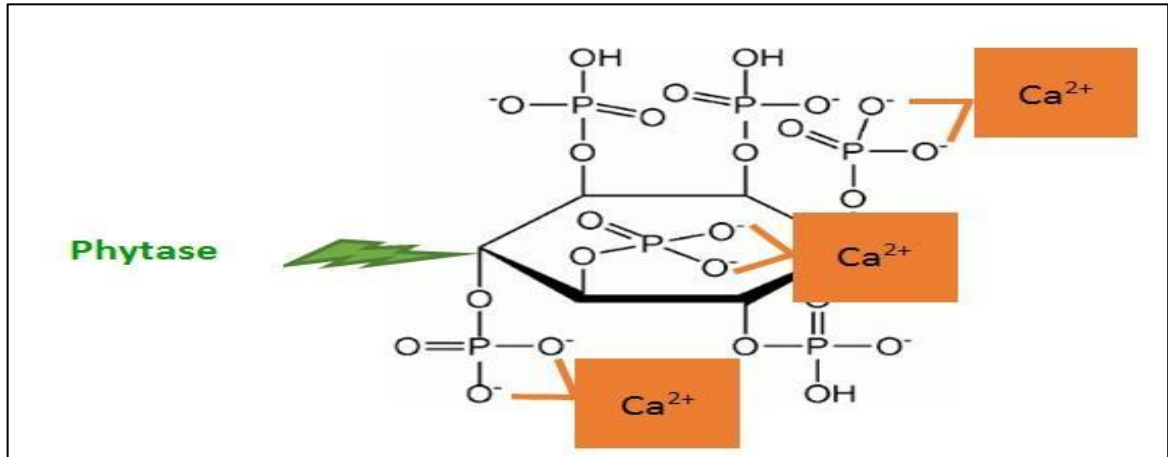


Figure 11 :Capacité des phytates à complexer le calcium[23]

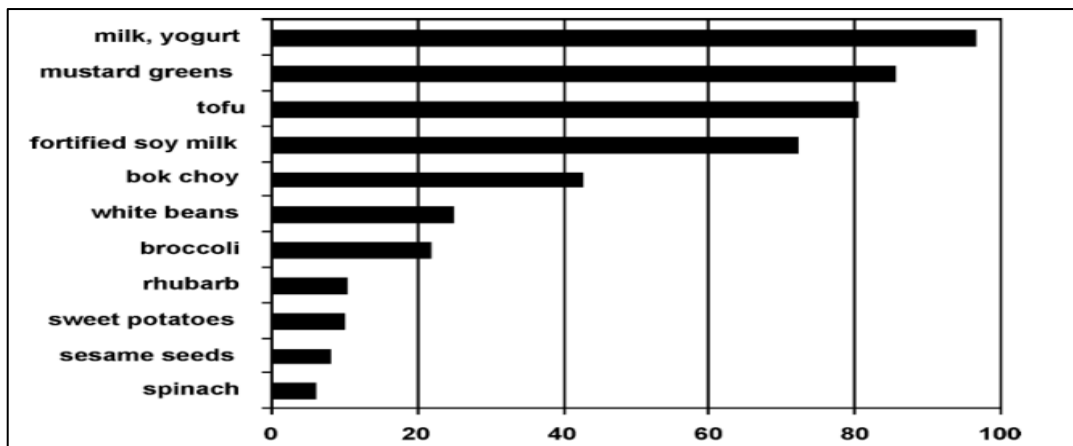


Figure 12:% de calcium absorbé pour une même portion : différence entre les sources d'aliments contenant ou non de l'acide phytique [23]

II.2.1.2 Les pectines et fibres

II.2.1.2.1 Les pectines

Ce sont des polysides d'origine végétale, présents dans les parois de nombreux fruits et légumes. Ce sont des fibres solubles, composées d'un squelette d'acide α -D-galacturonique et de faibles quantités de α -L-rhamnose plus ou moins ramifiés. [49]

C'est la fonction carboxylique présente sur les acides α -D-galacturoniques qui confère aux pectines la capacité d'échanger des ions, et c'est le calcium qui est mis en jeu dans la plupart du temps. Des ponts calciques peuvent se former entre deux groupements carboxyles de deux molécules de pectine. (Figure 13).

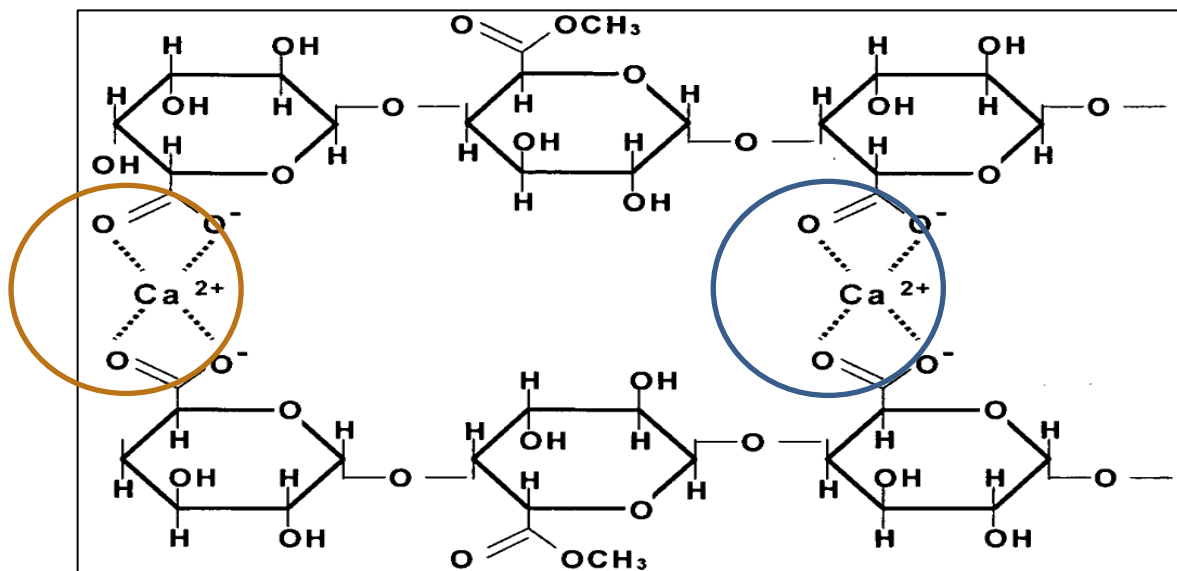


Figure 13: Ponts calciques entre deux pectines [23]

II.2.1.2.2 Les fibres :

Ce sont aussi des glucides présents dans la paroi des végétaux, mais à la différence des pectines, les fibres ne sont pas digérées et elles ne se lient pas aux minéraux. [39] Contrairement aux idées reçues, les fibres proprement dites ou insolubles (cellulose, lignine, carraghénane...) ne diminuent pas directement l'absorption intestinale du calcium

Néanmoins, la présence de fibres insolubles dans le bol alimentaire accélère le transit, ce qui diminue le temps de contact du calcium avec la surface d'absorption de la muqueuse intestinale. Ceci peut donc réduire indirectement son absorption.[50]

II.2.1.3 Le calcitriol

Le dérivé actif de la vitamine D «le calcitriol» est le déterminant majeur de la régulation du transport actif du calcium, son effet s'exerce au niveau du duodénum, où il stimule de façon prolongée le transport transcellulaire du calcium, en augmentant le passage à travers la bordure en brosse.[51]

La vitamine D aide également à maintenir un taux de calcium sanguin normal, essentiel à la vie et à la fonction cardiaque. Un supplément de calcium pris dans 1 à 2 heures d'exposition au soleil permet à la vitamine D d'améliorer son absorption. La vitamine D est également disponible sous forme de gouttes orales supplémentaires [36].

Outre sa synthèse endogène suite aux rayonnements UV, la consommation de poissons gras : maquereau, saumon..., permet un apport de calcitriol et potentialise l'absorption du calcium ingéré.

II.2.1.4 Les glucides et le lactose

Beaucoup de sucres stimulent l'absorption intestinale du calcium. En dehors du lactose, le mannose, le raffinose, le xylose et le sorbitol stimulent le transfert iléal du calcium. Cet effet des disaccharides est plus marqué dans les parties distales de l'intestin grêle que dans les segments proximaux. [51] Le glucose semble de son côté moins efficace.

Le mécanisme de cette stimulation par les glucides n'est pas encore connu. Il pourrait s'expliquer par le fait que leur présence entraîne une diminution de la concentration endoluminale en sodium, lui-même hypercalciuriant. [52]

L'effet du lactose est plus complexe et sera détaillé dans la partie dédiée au lait et aux produits laitiers.

II.2.1.5 Les acides gras

Les graisses alimentaires peuvent interférer avec le calcium après leur ingestion. De façon physiologique les acides gras saturés non absorbés chélatent le calcium avec lequel ils forment des savons insolubles. [51], [50], [33] Ceci sert d'argument aux publications qui tentent de démontrer la nocivité des produits laitiers sur la minéralisation osseuse, ces derniers étant riches en acides gras qui limiteraient la biodisponibilité minérale.

Toutefois, la formation de ces savons se fait dans l'intestin grêle distal, à partir du calcium normalement non absorbé. [50], [17]

Ainsi, hormis lors de stéatorrhées majeures (insuffisance pancréatique exocrine par exemple), les acides gras du lait n'ont pas d'action inhibitrice de l'absorption du calcium. [51] En effet, la malabsorption des graisses et leur accumulation dans le tube digestif entraîne dans ce cas une saponification au site de l'absorption, diminuant alors la quantité de calcium captée par les entérocytes. [51]

II.2.1.6 L'alcool, le thé, le café

La consommation chronique d'alcool diminue l'absorption du calcium :

- Par action directe : il diminue le transport intestinal ;
- Par action indirecte : il entraîne une malabsorption des vitamines liposolubles dont fait partie la vitamine D.

Par ailleurs, les tanins du vin, de la même manière que les oxalates contenus dans le thé et le café, peuvent une fois encore complexer le calcium et tous les cations divalents, réduisant la part absorbable. [51]

II.2.1.7 Le phosphate

L'absorption intestinale du calcium est dépendante du rapport calcium/phosphate du régime alimentaire. La plupart des publications estiment qu'un régime relativement pauvre en phosphates contribue à une meilleure absorption intestinale du calcium. [50], [17], [46],[51]

Il y a au moins deux raisons à cela :

- D'une part, le calcium est complexé par les phosphates dans la lumière digestive, ce qui limite sa solubilité, et donc, son transport à travers la paroi intestinale. Par conséquent, une teneur en phosphates relativement basse dans l'intestin permettrait une meilleure absorption du calcium.
- D'autre part, des apports alimentaires de phosphates limités s'accompagnent d'une

stimulation de la synthèse rénale de calcitriol qui augmente secondairement le transport actif du calcium.

Cependant, le phosphate reste un élément essentiel du cristal osseux. Il est indispensable à l'ostéo-renouvellement et il favoriserait la rétention du calcium fixé. [53], [54]

Il n'y a pas de consensus clair sur la résultante de ses effets, toutefois on comprend que'il n'est pas promoteur de l'absorption intestinale, un apport de phosphate suffisant reste nécessaire pour la fixation et la rétention du calcium au niveau de l'os.

II.2.2 Les principaux facteurs influençant la calciurie

II.2.2.1 Le phosphore

Dans le rein, le phosphore (élément de base, participant à la composition des phosphates) est hypocalciuriant :

- il augmente directement la réabsorption distale du calcium [55] ;
- Il exerce un effet indirect sur la calciurie en stimulant la sécrétion de PTH. [52]

Tous les aliments courants étant riches en phosphore, sa présence a donc une double influence. En effet, s'il n'est pas bénéfique à l'absorption intestinale sous forme de phosphate du calcium, il le retient au niveau rénal.

II.2.2.2 Les bicarbonates, le potassium et l'augmentation du Ph

La perte urinaire de calcium est diminuée par les régimes alcalogènes, soit à base de légumes et fruits qui augmentent le pH, soit à base de bicarbonates ou de sels de potassium [52].

II.2.2.3 L'acidose, les anions sulfates et chlorures

A l'inverse de l'alcalose induite par les bicarbonates, l'acidose métabolique chronique est associée à une augmentation de l'excrétion urinaire de calcium. [56],[52] Cette acidose peut être induite par le régime alimentaire lorsqu'il amène un excès d'anions sulfates ou chlorures.

Une étude montre d'ailleurs qu'à apport égal de calcium, une eau calcique très sulfatée entraîne une calciurie plus élevée qu'une eau non sulfatée ou que le lait.

II.2.2.4 L'excès de protéines

Des apports protidiques importants s'accompagnent d'une augmentation de la calciurie, parfois masquée par l'effet opposé du. Cette influence sur l'excrétion urinaire du calcium est surtout marquée dans le cas des protéines riches en acides aminés soufrés car leur catabolisme libère du soufre oxydé en sulfate. Ceci conduit à une acidose modérée, favorable à la calciurie comme nous venons de l'exposer [56].

II.2.2.5 Le sodium

Enfin, la perte rénale de sodium est corrélée à celle du calcium, et l'effet d'un excès de sel alimentaire sur la calciurie est bien démontré. [52], [51] Ainsi, chaque augmentation de 2grammes de sodium ingéré (soit 5 grammes de sel de chlorure de sodium) augmente la calciurie de 30 mg [52]

II.2.3 Autres facteurs

II.2.3.1 L'âge

L'absorption naturelle du calcium devient moins efficace à mesure que le corps vieillit. Les nourrissons et les enfants absorbent environ 50 à 70% du calcium alimentaire. Les adultes n'absorbent que 30 à 50% de calcium. Les aînés absorbent environ la même quantité de calcium que l'adulte moyen; cependant, le régime alimentaire des aînés peut souvent inclure moins de calcium alimentaire, ce qui les expose davantage au risque de carence en calcium. Selon le Centre médical de l'Université du Maryland, les personnes âgées de 51 ans et plus devraient recevoir une dose recommandée de 1,200 mg/jour [36]

II.2.3.2 La grossesse

La grossesse a un effet important sur l'absorption du calcium. Les femmes enceintes prêtent toutes leurs vitamines et minéraux disponibles directement au fœtus en croissance. Toute substance nécessaire dans l'utérus est prélevée sur le corps de la mère et fournie à l'enfant. Cette action assure que le bébé recevra tout le calcium dont il a besoin, tout en privant la mère de ses nutriments à moins qu'elle absorbe et assimile suffisamment de calcium pour elle-

même et pour l'enfant. Selon le Centre médical de l'Université du Maryland : toute femme enceinte ou allaitante devrait obtenir environ 1 000 mg de calcium alimentaire tous les jours.

II.2.3.3 L'acide chlorhydrique et stress

L'acide chlorhydrique, ou HCL, est sécrété dans l'estomac au cours de la digestion pour commencer la dégradation des protéines alimentaires. L'HCL est nécessaire pour l'absorption du calcium dans le duodénum. Le stress peut avoir un effet négatif sur la production d' HCL dans l'estomac et sur le comportement digestif normal dans le corps, et peut donc avoir un effet négatif sur l'absorption du calcium.[57]

II.2.3.4 L'appartenance ethnique

Il apparaît que les Africains et les Asiatiques absorbent mieux le calcium que les caucasiens.[58]

III. Les sources alimentaires du calcium

Cette partie est consacrée aux diverses sources alimentaires de calcium. Le but est de mettre en évidence l'intérêt nutritionnel de chaque aliment présenté pour l'apport minéral. Sans se montrer exhaustif, nous présenterons la grande famille des produits laitiers, mais aussi des denrées moins connues et pourtant riches en calcium.

La connaissance de ces différentes sources, et des modérations qu'il faut apporter à certaines d'entre elles nous permettent d'établir des conseils nutritionnels adaptés à chaque situation.

III.1 Classification pratique

Nous avons choisi de présenter de manière pratique différentes denrées alimentaires, de consommation courante, en fonction de leur teneur en calcium (mg/100 g).

Tableau 6: sources alimentaires classées selon leur teneur en calcium [38]

Petit Déjeuner	Calcium (mg/100g)
Yaourt nature	173
Lait entier – 1/2 écrémé – écrémé	120
Sucre roux	85
Céréales au son ou complètes	70
Muesli	63
Pain complet	58
œuf dur	53
Orange	40
Kiwi	27

Petit Déjeuner		Calcium (mg/100g)
Baguette pain blanc		23
Eaux de boisson		
Aquafine		105
Ifri		99
Nestlé		70

Déjeuner – Dîner		Calcium (mg/100g)
Légumes		
Cerfeuil frais		260
Persil frais		200
Cresson cru		157
Épinard frais		104
Brocolis cru		93
Haricot blanc cuit		60
Lentilles cuites		29
Viandes et poissons		
Boudin noir cuit		50
Sardine conserve		380

Déjeuner – Dîner	Calcium (mg/100g)
Anchois filets à l'huile	210
Fromages	
Parmesan	1275
Emmental	1185
Beaufort	1040
Cantal	970
Fromage type Bleu – Roquefort	900 à 600
Fromage fondu à pâte molle	570 à 320
Coulommiers	243
Fromage de chèvre sec	190
Crottin – Brie cru	117

Les tableaux ci-dessus montrent bien que le calcium est largement présent dans l'alimentation, cependant, les aliments déjà exposés ont des propriétés différentes en termes d'absorption, de biodisponibilité et de coût qui font qu'ils ne sont pas tous exploitables dans l'alimentation courante.

III.2 Lait et produits laitiers : principales sources de calcium

Le lait et les produits laitiers forment une famille d'aliments à part entière du fait de leur richesse naturelle en calcium, mais aussi en protéines, vitamines, autres minéraux et oligoéléments.

En nutrition, l'appellation « produits laitiers » regroupe les laits, les fromages, les laits fermentés y compris les yaourts et les crèmes.

Nous allons exposer dans cette partie les caractéristiques du calcium du lait et des produits laitiers surtout et nous expliquons quelques situations connexes fréquentes et conseils associés

III.2.1 Le lait

La teneur moyenne en calcium du lait est de 120 mg/100 mL. Ainsi un verre (150 mL) et un bol de lait (250 mL) apportent respectivement 180 mg et 300 mg de calcium, soit entre un cinquième et un tiers des ANC. Il paraît d'ores et déjà évident que la consommation de lait est déterminante pour atteindre de façon simple et économique ces apports.

Il est à noter que ni le type de traitement thermique, ni l'écémage du lait ne semblent affecter sa teneur en calcium.

➤ Sources du lait et avantage du lait de vache :

En général le lait de vache sert de référence et il apparaît comme le plus adapté à nos besoins humains. Sa composition en calcium, autres minéraux, nutriments, vitamines et oligoéléments, permet une consommation quotidienne, et ce pour un faible coût par rapport aux autres laits souvent bien plus onéreux. Il est donc le plus à même de participer à la couverture des apports nutritionnels recommandés en calcium, tout en fournissant un complexe nutritionnel extrêmement riche et nécessaire au tissu osseux.

Cependant, la consommation de lait d'autres espèces est possible. Celui de bufflonne est le plus concentré en calcium des laits de consommation, avec 195 mg de calcium pour 100 mL. Le lait de brebis en contient 187 mg/mL. Tous deux d'aspect plus visqueux et plus riche, leurs compositions restent pourtant assez voisines, toutefois celui de brebis présente l'avantage d'avoir des caséines différentes de celle des bovins, ce qui peut être utile en cas d'allergie aux protéines du lait de vache (APLV). Cependant, il contient également du chlore en grande

quantité, ce qui empêche en pratique son usage quotidien, et le contre indique chez le nourrisson. [52]

Le lait de jument contient lui aussi du calcium en quantité notable, mais il manque en contrepartie d'autres minéraux. Il contient seulement 64 mg/100mL de potassium (contre 167 mg pour le lait de vache demi-écrémé UHT) et 54 mg/100mL de phosphore (contre 91,9 mg), ce qui ne permet pas non plus de recommander sa consommation courante.

III.2.2 Produits laitiers : Yaourts, laits fermentés et crèmes

Le lait se prête à de nombreuses transformations qui donnent naissance aux produits laitiers, dont font partie les crèmes et les laits fermentés. Ces produits gardent les bénéfices nutritionnels du lait dont ils dérivent, mais leur composition minérale leur est propre, notamment leur teneur en calcium. La teneur en calcium des laits fermentés et des yaourts est relativement constante quel que soit le type de produit : elle avoisine généralement les 120 mg/100 g. Elle est souvent plus importante dans les yaourts par rapport au lait ; ceci grâce à l'augmentation de l'extrait sec. Ainsi on passe de (120mg/100ml) dans le lait à (170mg/100g) en moyenne dans les yaourts. On parle alors de densité calcique plus élevée. Le yaourt fait partie des aliments dont la densité calcique est plus élevée ($d = \text{quantité de calcium} / 100 \text{ Kcal}$) $d = 346 \text{mg} / 100 \text{ Kcal}$ pour le yaourt nature.

L'avantage des laits fermentés est qu'ils peuvent être enrichis en calcium lors de la fabrication, par simple ajout de poudre de lait, elle-même d'une densité calcique très importante.[45]

Ainsi, il est préconisé d'utiliser trois produits laitiers par jour pour l'atteinte des ANC en calcium. La consommation de crèmes, laits fermentés et yaourts s'inscrit donc dans cet objectif et présente un avantage qui ne s'arrête pas à leur richesse minérale. En effet, un intérêt majeur des produits fermentés est la présence de bactéries lactiques, bénéfiques notamment pour la digestion du lactose et le confort intestinal.

L'allègement des crèmes et des laits fermentés n'altère en rien leur teneur en calcium. Au contraire, certains yaourts dits « 0% » concentrent plus de minéraux que leurs homologues non allégés, on constate qu'une crème fraîche à 30% de matière grasse (MG) contient 75 mg de calcium pour 100 g, contre 95 mg pour la même quantité de crème fraîche légère (15 à 20% MG), ce qui est bénéfique pour une alimentation équilibrée avec apport faible en calories

III.2.3 Les fromages

La teneur calcique des produits laitiers est variable, souvent dépendante des procédés de transformation du lait. Ceci est particulièrement vrai pour les fromages où le caillage et l'égouttage constituent les étapes cruciales car elles influencent directement la richesse minérale du produit fini.

Les plus riches en calcium sont ceux à pâte dure, avec en tête le parmesan qui renferme non moins de 1200 mg de calcium pour 100 g, suivi du gruyère avec ses 1020 mg /100 g et de l'emmental avec ses 971 mg/100 g.

Alors les fromages frais n'apporte que 110 mg/100g. Ainsi, la contribution d'une portion courante de 100 g de fromage frais est sensiblement comparable à celle des laits fermentés et des yaourts.

Tableau 7: Composition minérale moyenne des fromages (en mg pour 100 g de produit) selon leurs classes (68)

Type de fromage	Ca	P	Mg	K	Na	Zn
Pâte dure	1100	740	45	135	500	10
Pâte ferme pressée	800	450	35	130	780	7
Pâte persillée	600	400	26	135	1500	6,5
Pâte molle à croûte lavée	600	420	28	120	770	7
Pâte molle à croûte moisie	300	280	16	150	865	4
Fromages de chèvre	200	300	25	230	900	1,5
Pâte fondue	<150	645	18	100	1100	8

III.2.4 Contribution des produits laitiers à l'apport calcique

Comme le montre la figure 14, le lait et les produits laitiers assurent plus des deux tiers (70%) des apports calciques moyens. La part revenant au lait liquide et aux yaourts est prépondérante chez les enfants et adolescents, mais elle devient minoritaire chez les adultes au profit des fromages.

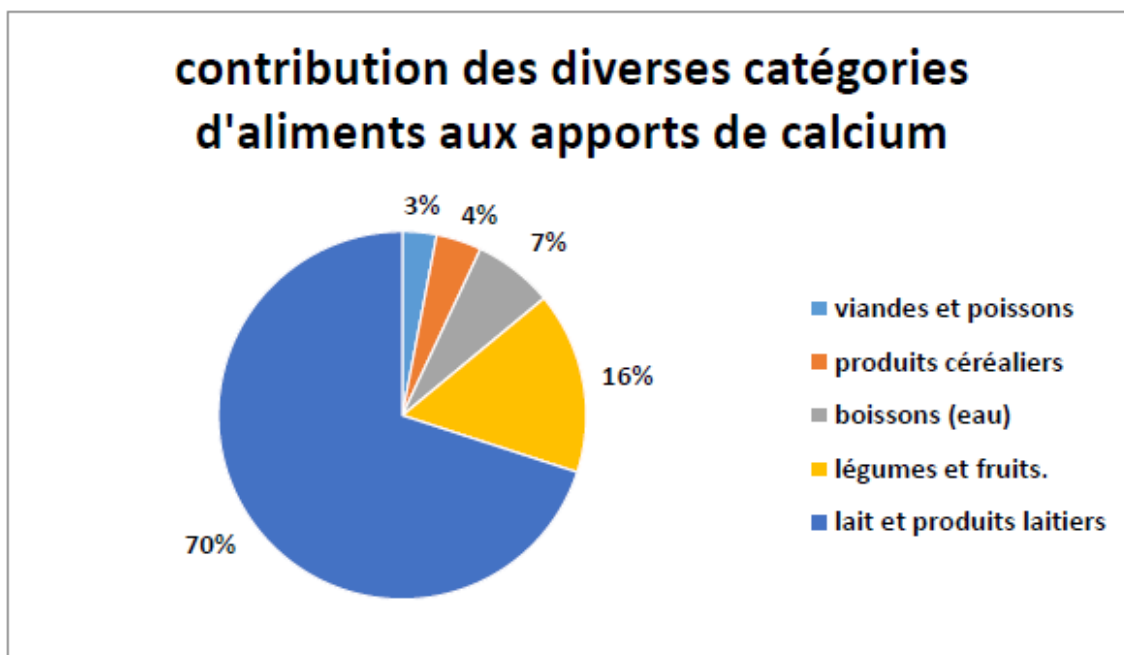


Figure 14: Contribution des diverses catégories d'aliments aux apports de calcium [59]

Le régime d'éviction des produits laitiers ne permettrait qu'un apport limité d'environ 350 mg de calcium par jour, c'est-à-dire, un tiers des ANC, ce qui est très insuffisant.

L'avantage du lait pour l'apport calcique n'est pas seulement quantitatif mais aussi qualitatif, le lait provoque un « effet-repas », favorable à la minéralisation osseuse. En effet, l'absorption étant étalée du fait d'une vidange gastrique lente, la biodisponibilité du calcium du lait est protégée et prolongée.

III.3 Particularités du calcium du lait

Tout le monde est d'accord : le lait est source majeure de calcium de haute biodisponibilité de par le rapport calcium/phosphore optimal (=1,4), la présence de la vitamine D (0,08µg/100g), de lactose et d'autres constituants qui augmentent son absorption

III.3.1 Rôle du lactose

Le lactose est certainement le constituant du lait qui a fait l'objet du plus grand nombre de travaux, notamment pour étudier son action sur l'absorption du calcium. La plupart des études s'accordent sur un point : l'action du lactose se fait par un processus passif, indépendant de la vitamine D. L'importance du lactose serait alors plus nette en cas d'apport élevé de calcium,

lorsque la solubilité est un facteur limitant, et que l'absorption passive devient prédominante. [40], [41]

Plusieurs hypothèses sont à noter :

1- Le lactose, comme d'autres glucides lentement absorbés, agit en prolongeant la présence du calcium dans le tube digestif. Le contact prolongé avec les villosités augmentant l'absorbabilité.

2- Le lactose maintient la solubilité du calcium, dans les parties distales de l'intestin. Ceci soit par formation de chélates solubles, soit par compétition avec des inhibiteurs de l'absorption comme les phosphates. L'hypothèse sur l'antagonisme lactose-phosphates vis-à-vis de l'absorption du calcium a été particulièrement étudiée. [60], [51], [61], [62], [17] Le lactose est un glucide phosphorylable qui agirait dans ce cas comme un accepteur de phosphates, par l'intermédiaire de la phosphatase alcaline. Ceci réduirait donc l'inhibition due aux phosphates présents dans la lumière intestinale.

3- « L'effet lactose » peut être expliqué également par le fait que sa présence entraîne une diminution de la concentration luminale en sodium, lui-même hypercalciuriant.

4- Certains auteurs américains privilégient l'hypothèse d'un conditionnement par le lactose de la muqueuse intestinale, dont la perméabilité deviendrait accrue. [61] par élargissement des espaces de jonction intercellulaire.

En conclusion, les mécanismes par lesquels le lactose potentialise l'absorption intestinale du calcium restent à ce jour mal codifiés. Il est probable que « l'effet lactose » qui se manifeste sur l'absorption passive soit masqué par le transport actif, en général suffisant quand l'apport calcique est modéré et en présence de vitamine D.

III.3.2 Rôle des protéines et des phosphopeptides

Les protéines et les phospholipides du lait font également l'objet d'un grand nombre de travaux in vitro et in vivo. Ces derniers montrent qu'il existe un effet favorable des constituants azotés du lait sur l'absorption du calcium.

C'est en particulier le cas des phosphopeptides issus de l'hydrolyse enzymatique des caséines. Ils ont la propriété bien démontrée de séquestrer le calcium, et donc de le protéger vis-à-vis des anions tels que les phosphates, susceptibles de le précipiter dans l'intestin. [60], [62]. Ces

phosphopeptides faciliteraient la mise en solution du calcium jusqu'aux parties distales de l'intestin, permettant ainsi son absorption par diffusion. [63]

Les protéines du lactosérum comme l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline peuvent également lier le calcium, la première avec une force de liaison telle qu'elle s'apparenterait à une véritable protéine liante comme la calmoduline. [62]

Par ailleurs, les protéines du lait - et notamment la caséine - stimulent la sécrétion d'IGF1, facteur anabolisant indispensable à l'acquisition et au maintien d'un bilan osseux positif. [53], [64]

III.3.3 Rôle des lipides du lait

Les lipides du lait et des produits laitiers sont parfois soupçonnés de diminuer l'absorption et donc la biodisponibilité du calcium, par la formation de savons insolubles. Si cette réaction chimique est possible, elle n'influence pratiquement pas l'absorption intestinale. Comme nous l'avons expliqué, les acides gras saturés libres du lait ont le pouvoir de déplacer le calcium des phosphates dans l'iléon, et de former des savons insolubles qui sont ensuite excrétés. Néanmoins, ces savons formés sont dissociés dans l'estomac (à cause du pH acide) et ils ne peuvent se reconstituer que dans l'iléon, après le site principal d'absorption du calcium.

Ils sont donc formés à partir d'acides gras saturés libres et de calcium ayant échappé à l'absorption. [42] Ceci est d'ailleurs plus un avantage qu'un inconvénient, car ce calcium non absorbé réduit l'absorption des acides gras libres dans le côlon. [9]

III.3.4 Rôle du phosphore

Le phosphore est abondant dans le lait. Il peut entraîner la formation de phosphate de calcium, a priori insoluble. Cependant, l'influence d'un excès relatif de phosphore sur l'absorption de calcium a été contestée par plusieurs études. [15], [42], [9] Chez le jeune en croissance, l'absorption simultanée de calcium et de phosphore (contenus tous deux dans le lait), dans un rapport compris entre 1,5 et 2,0 est d'ailleurs indispensable à l'efficacité de la rétention osseuse du calcium.

De plus, comme nous l'avons vu, les autres constituants du lait, et en particulier le lactose, peuvent contre carrer l'effet chélateur du phosphore.

En l'état actuel des choses, on retient donc que les constituants du lait ne vont pas à l'encontre de l'absorption du calcium, bien au contraire. A l'inverse des végétaux, ils ne présentent pas de substance (oxalate, phytate) susceptible de l'insolubiliser. Cependant, la confirmation par des essais réalisés chez l'homme manque encore à l'appel. Le lait et les produits laitiers servent donc de référence pour l'absorption et pour la biodisponibilité du calcium. Celle-ci est bien documentée [43], [13] et varie entre 30 et 40 % dans des conditions normales d'apports.

III.4 Sources alimentaires secondaires du calcium

III.4.1 Teneur en calcium des aliments non lactés

Le calcium est principalement apporté par les aliments d'origine lactée, toutefois les légumes verts, les crucifères (toutes les variétés de choux), les fruits oléagineux, les fruits frais et séchés, le persil, les légumineuses, les œufs et les céréales peuvent contribuer secondairement aux apports [65]. Permettant ainsi de compléter la ration de calcium quotidienne nécessaire, néanmoins, ces derniers peuvent difficilement remplacer les produits laitiers. À titre d'exemple : l'épinard cuit (112mg/100g), figes sèches (160mg/100g), persil (200mg/100g), poids-chiches (56mg/100g), œuf dur (53mg/100g), pain (40mg/100g)

Certains poissons et leurs arêtes contiennent aussi une proportion considérable de calcium comme les sardines (400mg/100g) [66]Le calcium est également bien plus présent dans certaines plantes aromatiques telles que le meloukhia, le thym, la cannelle ou encore le cumin. La poudre de Meloukhia est l'épice la plus riche en calcium avec 2000 mg/100 g, il est impossible d'en utiliser une quantité suffisante pour pouvoir assurer une partie significative des apports calciques journaliers, mais son utilisation comme condiment reste intéressante pour l'enrichissement minéral de certains plats.

Une source de calcium à ne pas omettre est représentée par l'eau quelle que soit son origine, avec des teneurs très variables suivant les régions comme les eaux de boisson du sud de l'Algérie qui ont un taux moyen supérieur à 150mg/L et les eaux minérales entre 50-80mg/L suivant les étiquetages [67]

Tableau 8: teneur en calcium des différentes sources non lactières [65]

Aliment	Taux de calcium en mg pour 100g
Féculeux	
Pain complet	150
Pain, baguette, aux céréales et graines artisanal	135
Biscotte multi céréale	39.5
Pâtes alimentaires au blé complet, crues	26.1
Riz complet, cuit	20
Riz blanc cuit	8.17
Fruits et graines oléagineuses	
Citron, zeste	171
Figue, séchée	167
Jus d'orange enrichi en calcium	135
ananas en jus concentré	80
Compote de pomme	74
raisin pur jus	70
datte séchée	45
Fruit rouge, frais (fraise, framboise, groseilles)	27
Graines de sésame	962
Amandes avec peau	248
Céréales pour petit déjeuner en moyenne	201
Noisettes	135
Pistache, grillée, salée	98.5
Légumes et légumes secs	
Epinard, cuit	141
Cresson, cru	130
Bette, cuite	66.8
Chou vert, cuit	58.5

Haricot vert, cuit	56.3
Brocoli, cuit	55.8
Radis noir, crue	54.8
Carotte, cuite	46
Légume sec, cuit en moyenne	31.2
Produit animal	
Sardine à l'huile d'olive, égouttée	798
Crevette, cuite	225
Sole cuite au four	155
Œuf à la coque	150
Lapin, viande cuite	124
Fruit de mer	122
Bœuf et mouton, cuite	35.9
Poulet	34.1
Poisson cuit en moyenne	27.7
Boissons	
Thé infusé, non sucré	104
Café noir, non sucré	99

III.4.2 Procédures d'amélioration de la biodisponibilité calcique des végétaux

III.4.2.1

La fermentation :

La fermentation présente l'avantage de ne pas être seulement une méthode de conservation d'un aliment. C'est aussi un procédé d'enrichissement en micronutriments et en bactéries (probiotiques).

L'intérêt majeur mis en avant pour le calcium est qu'il permet la destruction de l'acide phytique des végétaux fermentés, facteur limitant de la biodisponibilité calcique.

Lors de fermentations suffisamment longues à pH suffisamment acide, les phytases sont activées, ce qui permet la destruction de l'acide phytique. En pratique, ces conditions sont

respectées pour la majorité des fermentations ce qui confère au procédé un réel intérêt nutritionnel.

Cependant, la consommation de produits fermentés provoque parfois une certaine répulsion de la part du consommateur. Un nombre d'aliments courants sont issus des fermentations : choucroute, pain au levain, brioche, olive et saucisson traditionnel.

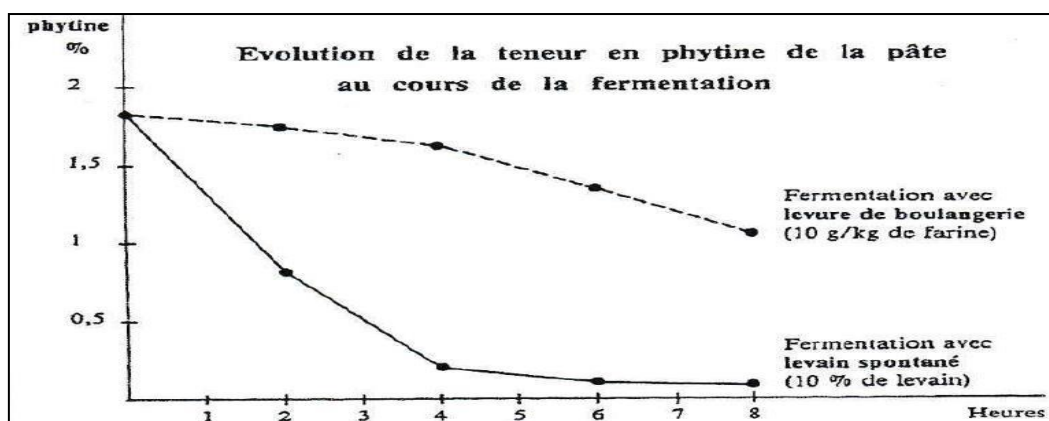


Figure 15: Diminution de la teneur en phytine de la pâte à pain au levain au cours de la fermentation [32]

Le procédé de fermentation est universellement utilisé. Il est facile de s'en rendre compte au travers de quelques habitudes culinaires. Le but n'est pas

l'enrichissement en calcium ; mais il n'empêche que de nombreuses préparations permettent l'absorption du minéral là ou sans fermentation, elle ne serait pas possible :

- Les *idlis* (gâteaux salés) ou *dosai* (équivalent sous forme de crêpes) en Inde sont préparés à base de lentilles fermentées et de riz ;
- Le *pozoleau* Mexique est un ragout à base de maïs fermentés ;
- Le *falafelau* Moyen-Orient est à base de pois chiches fermentés ;
- Le *kimchi* est un plat traditionnel coréen à base de légumes lacto-fermentés, c'est-à-dire trempés dans de la saumure pendant plusieurs semaines jusqu'au développement d'une acidité.

Ainsi, le calcium issu des lentilles, du maïs, des pois-chiches et des légumes de ces préparations présente une meilleure absorbabilité. Ceci est d'autant plus avantageux que dans nombre de ces pays, la population ne consomme pas ou peu de produits laitiers.

Par ailleurs, la solubilité du calcium est augmentée par l'acidification du pH qu'engendre la fermentation. Ceci est donc indirectement en faveur de l'absorption intestinale.

III.4.2.2

La germination :

Très utilisées actuellement dans les préparations culinaires diététiques, les graines germées sont elles aussi intéressantes en termes de densité calcique : Haricot mongo, dit soja vert (qui donne les germes de soja), blé germé (qui sert à la confection de boulghour après avoir été séché et concassé), quinoa... ; toutes sont issues du procédé de germination.

Cette technique est depuis longtemps connue et utilisée pour moduler la composition nutritionnelle des graines. En effet, la germination multiplie de 3 à 12 fois la quantité de vitamines suivant le type de graine. [68] Ainsi, toutes les graines citées ci-dessus bénéficient d'améliorations nutritionnelles, très proches de celles obtenues par fermentation.

En plus de l'enrichissement en minéraux et vitamines, la mise en germination est un procédé qui permet l'activation enzymatique endogène des graines. Ceci impacte donc directement l'activité phytasique. [52], [68] Aussi, la dégradation partielle de ces acides par les phytases permet une meilleure libération du calcium et donc, une plus grande absorbabilité.

Tableau 9: Teneur en calcium (mg/100 g) de plusieurs farines avant et après mise en germination des graines ou légumineuses [66]

Farine	Teneur en Ca ²⁺ sans germination	Teneur en Ca ²⁺ après germination
Haricot rouge	13,8	16,1
Pois d'Angole	12,5	15,5
Cornille (haricot d'Afrique de l'Ouest)	11,8	13,8

L'augmentation de la teneur en calcium après germination peut paraître faible, mais associée à l'augmentation de la biodisponibilité de celui-ci, la consommation de ces denrées est utile en termes d'apports calciques.

En outre, cette technique rend meilleure la digestibilité des légumineuses et elle diminue l'apport énergétique de la graine sèche initiale. La digestibilité est un réel gain, car la consommation des légumineuses est souvent délaissée pour cette raison. Concernant l'apport énergétique, ceci pourrait être un inconvénient dans un contexte de dénutrition, mais dans notre société il est avantageux de bénéficier d'une richesse minérale importante pour un apport calorique modéré.

A titre indicatif, de plus en plus de boulghours (Borghol) sont vendus sous forme de blé concassé, mais qui n'a pas bénéficié de germination au préalable. Ces derniers ne présentent donc aucun avantage pour la teneur en calcium.

III.5 Autres sources alimentaires du calcium





III.5.1 Les algues alimentaires

Dans les mœurs alimentaires de certains pays on retrouve « la consommation d'algues » Appellées encore « légumes de la mer », les algues constituent une des sources végétales de calcium les plus importantes avec des teneurs pouvant atteindre 7 % de la masse sèche chez les macro-algues. Encore plus intéressant, l'algue calcaire lithothamne contient de 25 à 34 % de calcium soit une teneur moyenne impressionnante de 30445 mg pour 100 g de matière sèche.

L'idée de l'utilisation des algues dans l'alimentation peut surprendre, mais cela fait longtemps qu'elles sont exploitées et consommées en France. En effet, les industriels les utilisent sous la forme d'additifs, surtout pour leurs propriétés gélifiantes. Bon nombre de flans, plats cuisinés et même produits cosmétiques en contiennent. Dans l'industrie agroalimentaire on les trouve soit sous forme pure, soit sous forme d'acide alginique (E 400)

La consommation quotidienne devrait donc être encouragée surtout pendant la grossesse et l'allaitement, où les besoins minéraux et vitaminiques sont potentiellement plus élevés. Il est également intéressant de les proposer en complément alimentaire.

Tableau 10: Teneur nutritionnelle moyenne de quelques algues alimentaires (mg/100 g de matière sèche (MS). [67], [51], [68]

Nom	Na	K	Mg	Ca	P	Fe	I	
<i>Ulva</i> sp. Laitue de mer	1974	1952	2776	1198	181	78,9	9,2	
<i>lithothamniumcalcareum</i> Lithothamne	317	92	2653	30445	113	144,3	6,4	
<i>Laminaria</i> japonica Kombu	2564	10582	1052	803	761	13,3	235,9	
<i>Porphyra</i> sp. Nori, Porphyre	1983	1733	486	318	518	37,2	5,1	

III.5.2 Les poissons avec leurs arêtes

Les arêtes des petits poissons de différentes espèces renferment une quantité importante de calcium. Ce dernier s'y trouve sous forme d'hydroxyapatite [70], donc associé à du phosphore. Le ratio Ca/P de ces arêtes est en moyenne de 1,67, de plus, ces poissons sont bien souvent source de vitamine D; Ce qui est en faveur de l'absorption calcique. Aujourd'hui, les arêtes de certains poissons sont récupérées, puis transformées en poudre utilisable pour l'enrichissement de certaines denrées alimentaires. [71]

La sardine, l'anchois ou le maquereau sont facilement accessibles et relativement peu onéreux, ce qui nous permet de soutenir leur consommation, par exemple, les sardines à l'huile d'olive (en conserve et égouttées) ont une teneur en calcium de 798 mg/100 g. [45] Ainsi, une portion de seulement 37,5 g suffit à apporter 300 mg de calcium, soit 1/3 des ANC chez un adulte sans besoin supplémentaire particulier.

III.5.3 Les eaux minérales naturelles (EMN)

L'eau du robinet peut être une bonne source de calcium dans les régions où elle est dite « dure ». En effet, sa teneur calcique varie de 1 mg par litre pour l'eau très douce, à 160 mg par litre pour l'eau très minéralisée.

L'échelle des teneurs est encore plus grande pour les eaux minérales naturelles (EMN) qui peuvent renfermer de 10 à plus de 500 mg de calcium par litre.[11] Les minéraux de l'eau sont bien absorbés [72], [73], [74], [35], [75], ce qui fait de l'EMN une bonne source de calcium, certainement la plus intéressante après le lait et les produits laitiers. [73]

Tableau 11: Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales en Algérie [75]

Physicochemical characteristics of mineral water in Algeria.							
Sources	Année	anions en (mg/l)		cations en (mg/l)			pH
		SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Benharoun	2006	514	1809	413	680	10	6,7
Mouzaia	2006	85	822	136	138	01	6,5
Guedila	2006	171	317	97	47	01	7,1
Ifri	2006	35	265	74	16	2,1	7,2
Saïda	2006	65	376	68	58	02	7,6
Messereghine	2006	35	331	63	63	08	7,3
Toudja	2006	21	212	61	52	0,8	7,4
Sidi Elkebir	2007	21	230	55	34	0,5	07
Lalla Khadidja	2007	07	172	53	05	0,5	7,2
El Golia	2006	36	118	24	28	05	7,4

Cependant, les anions contenus dans ces eaux pourraient influencer la calciurie et l'absorption intestinale du calcium mis en jeu. En effet, avec une eau fortement sulfatée, la calciurie est plus élevée qu'avec le lait. Ceci est dû à l'action acidifiante des sulfates. [57] Par contre, l'intérêt des bicarbonates est lui totalement admis. A apport égal, une eau sulfatée calcique entraîne toujours une calciurie plus importante qu'une eau bicarbonatée calcique. Ces dernières vont dans le sens d'une balance calcique positive. En fin, La composition en sel de ces eaux est un facteur certainement très important à considérer pour juger de la biodisponibilité calcique.

Pour conclure sur les EMN, qu'elles soient sulfatées ou non, leur consommation nous semble pertinente pour participer à la couverture des apports calciques recommandés. Elle pourrait permettre de réduire l'écart qu'il existe entre les ANC et les apports réels. [59] Dans ce sens, elles peuvent être conseillées dans la mesure où elles sont peu salées, et d'autant plus si elles sont riches en bicarbonates.

❖ Réponse à la question

« Peut-on assurer les apports calciques conseillés sans produit laitier ? »

Celle-ci dépend en effet des valeurs adoptées pour les apports conseillés, du degré d'acceptation des contraintes diététiques, et de la durée de l'éviction.

Les apports nutritionnels conseillés varient selon les pays et l'âge mais globalement ils oscillent entre 900 et 1200 mg de calcium par jour. [77], [17],[75]. Comme un régime courant sans produit laitier ne fournit pas plus de 350 mg de calcium par jour, il en manquerait donc entre 550 et 850 mg.

➤ Les auteurs qui prônent l'éviction des produits laitiers avancent souvent l'argument Que le besoin en calcium de l'homme adulte ne dépasse pas 500 mg par jour. [78]. Dans ces conditions, il est évidemment plus simple de se passer des produits laitiers. Cependant, cet avis repose sur l'apport minimum prescrit par l'OMS, adapté aux pays qui ne disposent pas aisément des produits laitiers.

➤ D'autres arguments peuvent être exposés :

1- Les alternatives au calcium lacté existent bel et bien. Il n'est donc pas juste d'affirmer que seuls les produits laitiers sont utiles à la couverture des besoins. Ces aliments peuvent à ce titre aider à couvrir les besoins journaliers et, pourquoi pas, suppléer les produits laitiers de façon ponctuelle.

➤ Le problème réside dans la couverture des ANC au quotidien. Pour une personne Qui, par choix, adopterait certaines modifications alimentaires, une réflexion doit être engagée. Si elle a recourt à des eaux minérales calciques peu salées, à une alimentation pauvre en sodium, ainsi qu'à une consommation importante de toutes les autres sources de calcium que nous avons présenté, alors la somme de toutes ces mesures peut lui permettre d'accumuler des apports modestes, et aboutir ainsi à un apport de calcium suffisant. Cependant les contraintes que cela implique en pratique nous laissent penser que ceci n'est pas applicable au quotidien. **« En effet, on peut envisager de consommer du Bourghol au déjeuner, des sardines au diner, de privilégier les graines oléagineuses pour un encas, tout en buvant de l'eau minérale calcique mais non sur long terme »**. Ce choix nutritionnel ne correspond pas à un régime courant, rares étant les personnes qui mangent quotidiennement 700 g de légumes cuits. Par ailleurs, il engendre rapidement des déséquilibres non souhaitables, entre excès d'apport lipidique et carences en nutriments, minéraux et vitamines. [64], [48]

➤ Pour une personne qui elle, s'abstiendrait de consommer des produits laitiers, tout En gardant une alimentation occidentale courante (comme nous en rencontrons beaucoup), la réponse à notre question est manifestement non. Là est donc la nuance : si on peut atteindre les ANC en calcium sans utiliser de lait ou de produit laitier, ceci se fait au détriment d'une

alimentation équilibrée. La figure 16 illustre bien la difficulté qu'engendre un tel régime en termes de choix diététiques.

➤ Quels que soit les chiffres des recommandations en termes d'ANC, il semble Nécessaire de motiver à la consommation de produits laitiers qui restent indéniablement la source de calcium la plus intéressante de l'alimentation. Si l'utilisation de ces produits n'est pas possible, on peut alors discuter de la mise en place d'une supplémentation adaptée, **puisque'une alimentation lactoprivative ne satisfait tout au plus qu'un tiers des ANC** pour un régime équilibré.

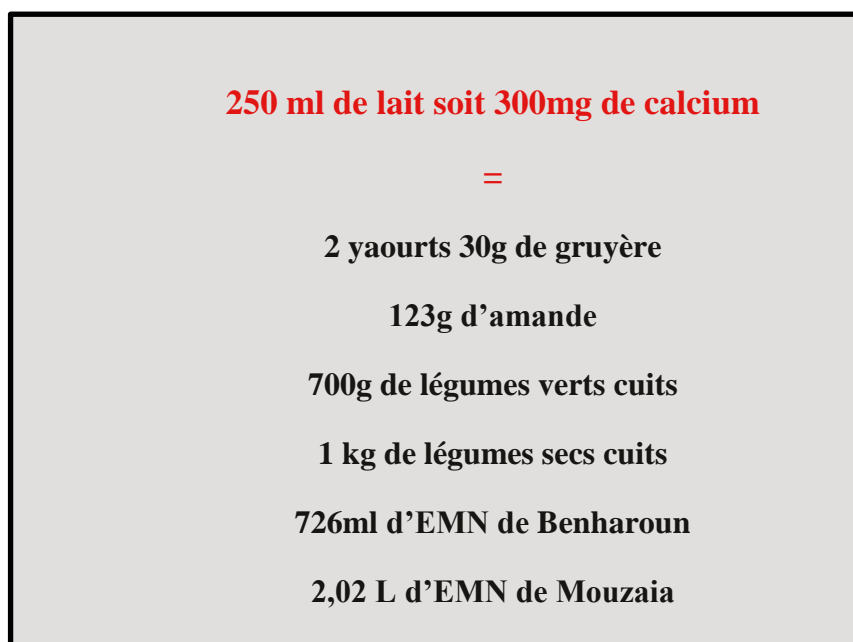


Figure 16: Quelques équivalences en termes d'apports calciques [79], [45]

III.6 Les produits enrichis en calcium

Il est souhaitable que toute personne qui ne peut ou ne veut pas consommer de produits laitiers puisse disposer d'un apport complémentaire de calcium, qui lui permettrait d'atteindre les ANC. C'est pourquoi nous nous sommes penchés enfin sur l'enrichissement en calcium des produits de consommation courante.

Ces dernières années, on observe une diversification des produits enrichis en calcium en particulier aux Etats-Unis dont l'accessibilité devient de plus en plus importante. Ce sont les américains qui ont initié l'enrichissement minéral des aliments et entre 1999 et 2006, 1100 nouveaux produits enrichis ont fait leur entrée sur le marché[48]

L'objectif principal est celui de réduire l'écart entre les apports recommandés et les apports réels de calcium de la population américaine. C'est d'ailleurs le Dr John Harvey Kellogg, qui a mis au point les corn-flakes enrichis en calcium pour le petit-déjeuner des américains, signant dès 1895 le début de l'enrichissement minéral des produits de consommation courante.

Aujourd'hui les produits enrichis sont très variés : jus de fruits, boissons végétales, céréales pour petit déjeuner, barres de céréales ou «snack », pâtes, pains, margarines, sirop de chocolat et même sodas ou boissons dites « fitness ». [48], [80]

L'étiquetage doit alors indiquer qu'il n'est pas recommandé de consommer ces produits en association avec une forte consommation de lait ou de produits laitiers. En effet, compte tenu de l'enrichissement, la consommation quotidienne de telles boissons, associée à un régime riche en produits laitiers induirait un risque de dépassement de la limite de sécurité. [81],[82], [83]

L'ANSES précise en 2009 que les quantités maximales de calcium ajoutées doivent être définies en tenant compte :

- de la limite supérieure de sécurité ;
- de la différence des niveaux de sensibilité de différents groupes de consommateurs ;
- des apports en calcium provenant d'autres sources alimentaires.

Le choix du sel de calcium utilisé pour l'enrichissement est un point important. Chacun présente des propriétés différentes en termes de compatibilité avec le produit enrichi, de texture, de coût etc.

La contrainte de la solubilité du sel est primordiale. En effet, lorsqu'il est hautement soluble, il peut être ajouté à une boisson en plus grande quantité, sans précipiter.

Malheureusement, le carbonate de calcium n'est que peu soluble dans les boissons enrichies bien que ce soit le sel le plus utilisé. [84], [85], [86]

D'autre part, les anions comme le citrate de calcium ou le malate de calcium (autres sels utilisés pour l'enrichissement) peuvent influencer la saveur des aliments. Ils sont cependant compatibles avec les jus de fruits.

Enfin, la quantité de sel de calcium nécessaire à l'enrichissement des aliments dépend de leur propre densité minérale.

Tableau 12: ci-dessous nous donne un aperçu sur la proportion du calcium dans les sels calciques communs [83]

Sel de calcium	% de calcium contenu
Carbonate de calcium	40
Phosphate tricalcique	38
Phosphate dicalcique; dihydrate	31
Citrate malate de calcium	30
Citrate de calcium	21
Lactate de calcium	13
Gluconate de calcium	9
Glubionate de calcium	6.5

Il est de même de rappeler que la quantité de sel de calcium ajouté dépend aussi de la matrice de l'aliment enrichi. L'absorption du phosphate tricalcique ajouté au jus de soja est moins bien absorbé que celui du lait de vache bien que les sels de calcium issus des deux boissons aient la même absorbabilité à l'état pur (75% du calcium absorbé pour le jus de soja en prenant celui du lait de vache comme base de référence). [87] Ceci montre encore une fois le rôle prépondérant de la matrice alimentaire.

En conclusion ; les produits enrichis en calcium peuvent être utiles aux personnes sujettes aux carences, afin qu'elles puissent accéder à un apport calcique suffisant. Ces produits ne doivent pourtant pas remplacer le lait et les produits laitiers quand la consommation de ces derniers peut être encouragée, en fait, les produits enrichis fournissent davantage de glucides, de lipides saturés, de sodium et moins de protéines, phosphore, potassium, et vitamine A que les produits laitiers. L'usage de produits laitiers reste donc la façon la plus simple, économique et équilibrée de satisfaire les apports calciques recommandés pour la santé osseuse. [64]

III.7 Alternatives aux produits laitiers et conseils pratiques

III.7.1 Cas de l'intolérance au lactose et l'APLV

III.7.1.1 Intolérance au lactose / Malabsorption du lactose / APLV

L'intolérance au lactose est une raison donnée par de nombreuses personnes ayant fait le choix d'éviter les produits laitiers. Elle fait l'objet d'idées préconçues et elle est souvent confondue avec la malabsorption du lactose ou l'allergie aux protéines du lait de vache (ALPV).

➤ La malabsorption du lactose est fréquente mais elle n'entraîne pas toujours l'intolérance [88]. Elle est le plus souvent asymptomatique [89], [90], [91] et c'est lorsqu'elle génère des troubles digestifs que, dans ce cas-là seulement, il faut parler d'intolérance. [89] Elle n'a aucune conséquence pathologique, hormis les plaintes fonctionnelles qu'elle engendre.

➤ L'APLV repose sur des mécanismes physiopathologiques totalement différents de l'intolérance au lactose. Comme toute allergie, elle résulte d'une réponse inadaptée du système immunitaire. Elle peut provoquer des manifestations bénignes comme un eczéma mais également une urticaire, de l'asthme, voir même un choc anaphylactique dans les cas graves. Elle touche les jeunes enfants, chez qui elle implique l'éviction de toute protéine laitière (et non de sucre comme l'intolérance au lactose). Dans 90% des cas, elle s'amende spontanément avant l'âge de 6 ans, et elle est très rare chez l'adulte, pour qui le lait est en 15^{ème} position dans la liste des allergènes alimentaires. [92]

➤ L'intolérance au lactose est due à un déficit en une enzyme, la lactase, qui métabolise le lactose au niveau de l'intestin grêle. Son expression décline physiologiquement chez l'adulte jusqu'à environ 10% de sa valeur initiale (maximale chez le nouveau-né). [90] Le lactose non digéré accélère le transit par effet osmotique au niveau de l'intestin grêle. [89] Au niveau colique, il se comporte comme une fibre : il est fermenté par la flore microbienne, et la production de gaz qui en résulte est responsable des symptômes tels que les ballonnements et les douleurs abdominales. [64], [89], [64]

III.7.1.2 Conseils nutritionnels pratiques :

S'il s'agit bien d'un déficit partiel en lactase et non d'une absence totale d'enzyme, l'intolérance au lactose n'interdit pas la consommation de quantités modérées de lait et elle

n'altère pas l'absorption du calcium. Même les sujets alactasiques pourraient tolérer sans symptôme **12 g de lactose par jour**, équivalant à **environ 250 mL de lait** en une seule prise, soit 300 mg de calcium en moyenne (ou 25 à 30% des ANC). [89], [64], [60], [90] Elle n'empêche pas non plus la consommation de yaourts qui permet une ingestion de lactases contenues par les bactéries lactiques. Enfin, elle ne contre-indique pas la consommation de fromages qui ne renferment que très peu ou pas de lactose s'ils sont affinés. [64]

L'excès de prudence dans le régime d'éviction des produits laitiers dans le cas d'une intolérance au lactose peut ainsi se comprendre. Cette attitude est fréquemment initiée à tort [89]. En pratique la tolérance est améliorée par le fractionnement des prises et le ralentissement de la vidange gastrique : l'ingestion du lait au cours d'un repas est donc mieux tolérée. [89] ; En effet, le temps de transit intestinal est un facteur important modulant la digestibilité du lactose. Par ailleurs, quelques auteurs avancent l'hypothèse qu'une consommation régulière de lactose pourrait induire des modifications de la flore intestinale qui amélioreraient la tolérance, sans modifier l'activité lactasique. [89]

En définitive, la stratégie de prise en charge nutritionnelle de l'intolérance au lactose doit permettre de préserver des apports en calcium suffisants sans engendrer de troubles digestifs. Elle repose sur une adaptation personnelle de la consommation de produits laitiers, chaque individu devant apprendre à se connaître. [89]

Plusieurs moyens simples permettent d'éviter les symptômes :

- Diminuer la charge en lactose : en réduisant les portions de lait ingérées, et en préférant les produits pauvres en lactose comme les fromages affinés et les laitages. Selon nous, c'est la méthode la plus simple pour couvrir les besoins en calcium sans symptôme.
- Rajouter de la lactase à l'alimentation, sous forme de bactéries vivantes par exemple, via la consommation de yaourts.
- Un autre moyen simple et souvent suffisant consiste à supprimer la consommation de lait à jeun pour privilégier celle au cours des repas, toujours en petites quantités.

Pour les plus intolérants, un lait dé lactosé ou une préparation pharmaceutique à base de lactase (comprimés ou gélules) peuvent être conseillés. Cette dernière doit être prise juste avant les repas.

En ce qui concerne la composition des repas, plusieurs solutions simples peuvent être adoptées : (tableau 13)

Tableau 13: Exemples de solutions diététiques permettant de maintenir l'ANC en calcium chez l'intolérant en lactose [92], [93]

Repas	Alternatives pour l'intolérant au lactose
Petit-déjeuner	<ul style="list-style-type: none"> -Remplacer le lait par un yaourt nature -Si maintien d'une consommation de lait, choisir un lait entier (mieux toléré), y ajouter du chocolat en poudre (améliore la tolérance), sinon choisir un lait dé lactosé ou prendre de la lactase <i>per os</i>
Déjeuner ou Dîner	<ul style="list-style-type: none"> -Rajouter du gruyère / emmental / parmesan râpé aux féculents -Incorporer le lait ou la crème aux préparations : béchamel, flan, quiche, soupe, purée... -Choisir une eau minéralisée à forte teneur en calcium -Consommer une portion (30g) de fromage affiné (Cantal, Beaufort, Comté...) - Penser aux sources non lactiques de calcium (choux, graines oléagineuses ou germées, légumes fermentés, sardines avec les arêtes...)
Collation (non nécessaire chez l'adulte)	<ul style="list-style-type: none"> -Préférer un yaourt nature ou aromatisé pour accompagner un fruit ou un biscuit -Toujours penser à l'eau minéralisée calcique

Concernant le diagnostic de l'intolérance au lactose, il est possible d'effectuer un test d'éviction des produits laitiers pendant une dizaine de jours. Si lors de leur réintroduction les symptômes réapparaissent, il faut confirmer le diagnostic par un test dit « de l'hydrogène expiré ». Il consiste à évaluer la présence d'hydrogène expiré par la personne, avant et dans les heures qui suivent la consommation d'une quantité déterminée de lactose, un niveau élevé dans l'air expiré témoigne ainsi d'une mauvaise digestion du lactose.

III.7.2 Cas des régimes particuliers : végétarisme et végétalisme

III.7.2.1 Définitions :

Le terme « végétarien » est non spécifique. Il est souvent utilisé pour décrire une large gamme de régimes, pratiqués avec différents degrés de restriction. Cependant l'alimentation végétarienne est un mode alimentaire qui ne se définit pas seulement par l'absence de viande, mais par une plus grande place accordée aux produits végétaux, et notamment aux aliments sources de protéines végétales. Ainsi, à la base de l'alimentation végétarienne se trouvent des végétaux en abondance: fruits, légumes, légumineuses, graines, noix... [95]

Ce mode d'alimentation est un choix ; il varie d'un individu à l'autre. Il n'y a donc pas de règle en la matière. C'est pourquoi on peut dire qu'il n'existe pas un seul mais plusieurs régimes végétariens.

Le végétalisme (ou végétarisme strict) consiste en une suppression de tous les produits d'origine animale, y compris les œufs et les produits laitiers (lait, yaourts, fromages, beurre, crème...), allant dans certains cas jusqu'à la suppression du miel et de la gélatine. Sont exclues également toutes les préparations pouvant contenir ces produits.

Tableau 14: Les régimes végétariens [94]

Les régimes Végétariens	Semi végétariens ou néo végétariens	Végétariens mixtes	(ovo) lacto végétariens ou végétariens	Végétaliens
Viande	Occasionnellement	Non	Non	Non
Poissons	Occasionnellement	Occasionnellement	Non	Non
Volaille	Occasionnellement	Occasionnellement	Non	Non
Œufs	Oui	Oui	Oui/non	Non
Lait et dérivés	Oui	Oui	Oui	Non
Miel	Oui	Oui	Oui	Non
Remarques	Consommation de viande 1 ou 2 fois par semaine		Suppression de tout produit carné terrestre ou marin	Suppression de tout produit d'origine animale

III.7.2.2 Carences nutritionnels :

La diversité de ces régimes, pouvant aller du simple « semi-végétarisme », autorisant occasionnellement la viande et le poisson, au « végétalisme strict », excluant tous les produits d'origine animale, rend complexe l'étude et l'analyse des bienfaits et des méfaits de ces types de régimes alimentaires, ainsi il est important de connaître les raisons et motivations des adeptes qui sont également très variées et très nombreuses religieuses, éthiques, économiques, de santé... Autant de critères qui rendent multiples les convictions de ces adeptes, et par là

même rendent considérables les choix d'exclusion, Onon, de certains produits alimentaires[96]

Généralement, nous invitons à la plus grande prudence vis-à-vis de l'adoption d'un régime végétarien ou végétalien. En effet, pour ce qui est de l'équilibre nutritionnel, les végétariens (et encore plus les végétaliens) sont souvent carencés en calcium, vitamine D, vitamine B12, protéines et oméga 3. Or, nous savons que ces éléments sont essentiels au maintien de la densité minérale osseuse (DMO).

Du fait d'un apport en calcium insuffisant, les végétariens auraient d'ailleurs une DMO plus faible de 4%, et les végétaliens de 6%, au niveau du col du fémur et du rachis lombaire par rapport aux non végétariens. [94][94]

L'impact de ces deux régimes sur les apports calciques reste toutefois très différent, et il dépend fortement du moment auquel ils sont initiés.

➤ Le régime végétarien se caractérise par le refus de consommer de la chair animale. Mais dans le cas le plus commun, la consommation d'œuf, de lait et de produits laitiers est maintenue (on parle d'ovo-lacto-végétariens). De fait, les ANC en calcium sont facilement maintenus et un apport de 3 à 4 produits laitiers par jour est recommandé pour couvrir les besoins non seulement en calcium mais aussi en protéines, en zinc et en vitamine B12, importante pour la formation osseuse. [94], [97], [98]. Ainsi, le régime végétarien n'empêche pas d'atteindre les ANC en calcium à condition d'un peu de vigilance et d'une consommation quotidienne de produits laitiers. [94]

➤ A l'inverse, l'apport en calcium des végétaliens est une réelle source de préoccupation. Ce régime est caractérisé par un rejet de tout produit animal ou issu de l'exploitation animale.

Au-delà de toutes les autres carences auxquelles il expose, il n'offre pas de source alimentaire de calcium permettant de couvrir les besoins quotidiens. De plus en plus d'études tendent à montrer le caractère à risque de ce régime. [79], [99], [100]

III.7.2.3 Conseils nutritionnels :

L'interrogatoire est conseillé afin de déceler des éventuelles carences et d'initier des conseils nutritionnels adaptés. Concernant les apports calciques du végétariens, les conseils à donner

sont les mêmes que pour la population générale. En revanche, pour les végétaliens, il faut composer différemment :

- Mettre l'accent sur toutes les autres sources de calcium : eaux minérales calciques en premier lieu car elles ne déséquilibrent pas le régime ;
- Conseiller les boissons végétales enrichies en calcium (et en vitamineD) : jus d'amande, de riz, ou d'orange ;
- Proposer systématiquement une évaluation des apports calciques
- Le cas échéant, inciter à une consultation médicale pour bénéficier d'un réel entretien nutritionnel et ainsi, discuter de l'intérêt d'une supplémentation médicamenteuse ;
- Enfin, mettre en garde sur la dangerosité d'un tel régime chez l'enfant et l'adolescent.

Il est impératif de transmettre le message qu'un régime végétalien chez l'enfant n'est pas souhaitable, voir même dommageable. Les publications scientifiques concernant les apports en calcium chez les enfants et adolescents sont rares, mais globalement, elles montrent des apports calciques bien inférieurs aux apports recommandés : de l'ordre de 500 à 550 mg/j [96]avec pour probable conséquence une mauvaise densité osseuse et une forte augmentation ultérieure du risque fracturaire et d'ostéoporose



IV. Méthodologie

A. Problématique et objectifs du travail :

En Algérie, comme aux nombreux pays, la prévalence d'un apport inadéquat en calcium alimentaire est élevée. Cet apport insuffisant est associé à des risques pour la santé des os, et à l'installation de l'ostéoporose avec toutes ses complications à un âge avancé. Ainsi, une étude menée ces dernières années a révélé une prévalence de 35,8 % de cette affection chez les femmes âgées de plus de 45 ans [92].

A ce déficit d'apport, s'ajoute la variabilité importante de la biodisponibilité du calcium alimentaire, ainsi, cette dernière est influencée par de grand nombre de facteurs, notamment des facteurs nutritionnels qui jouent un rôle non négligeable en modulant son absorption intestinale.

L'étude de la biodisponibilité du calcium et sa rétention osseuse reste toutefois difficile à préciser, C'est pourquoi la plupart des études, notamment celles effectuées chez l'homme, ont été consacrées à l'absorbabilité via l'évaluation de la quantité de calcium apportée par l'alimentation et l'estimation du pourcentage de calcium absorbé.

C'est pour toutes ces raisons qu'il nous a paru important :

- 1- D'apprécier l'apport alimentaire en calcium et en préciser les principales sources
- 2- D'évaluer la biodisponibilité calcique par l'identification de la fréquence de consommation de certains aliments riches en facteurs limitant son absorption

B. Patients et méthodes :

a) Type de l'étude

Il s'agit d'une étude transversale descriptive basée sur une enquête alimentaire type « auto-questionnaire de fréquence »

Nous avons adopté l'auto-questionnaire de Fardellone dans sa version traduite en arabe (Annexes 02) comme modèle d'interrogatoire pour la consommation des principaux aliments sources de calcium.

b) Echantillon

Notre étude a ciblé une population de 100 personnes des deux sexes, âgées entre 20 et 60 ans, appartenant à différentes régions : Chlef, Médéa, Ain-defla

Pour constituer notre population d'étude, nous avons procédé à un échantillonnage non aléatoire volontaire, car c'est une méthode moins coûteuse, simple et rapide.

Notre enquête s'est déroulée en trois mois (février, mars et avril 2021), et elle est réalisée au sein des secteurs de santé publique des régions sus-citées

c) Critères d'inclusion et d'exclusion :

Les enquêtés ont été retenus selon certains critères :

***Critères d'inclusion :** Sujets volontaires, sains, et ayant un âge compris entre 20 et 60 ans.

***Critères d'exclusion :** ont été exclus de l'étude les personnes présentant :

* Une pathologie du tractus digestif comme : une maladie coéliqua, un cancer du tractus digestif, une résection du grêle...

* Une maladie pouvant agir sur l'absorption du calcium à savoir l'allergie aux protéines du lait de vache et l'intolérance au lactose

* Une supplémentation calcique

* Un dysfonctionnement : thyroïdien, parathyroïdien, rénal....

* Un diabète et toutes personnes sous régimes particuliers (restrictifs, énergétiques, végétarien....)

* Grossesse et allaitement .

d) Considérations éthiques :

Les sujets recrutés ont été informés des objectifs de l'étude, seuls les sujets adhérents après consentement libre et éclairé ont été recrutés tout en respectant le strict anonymat et la confidentialité de leurs informations.

e) Description de l'auto-questionnaire de Fardellone :

C'est un auto-questionnaire fréquentiel qui comporte 20 items dont la teneur en calcium est évaluée au moyen des tables d'équivalence de Fardellone, chaque item est associé à un coefficient multiplicateur permettant d'obtenir un résultat en mg/j.

Ces aliments sont schématiquement répartis en six groupes :

- 1- Groupe des laitages : lait, yaourt, crème dessert, fromages
 - 2- Groupe des céréales, féculents et légumes sec (pain, pâtes, pommes de terre, frites...
 - 3- Groupe des viandes, poissons, œufs et charcuteries
 - 4- Groupe des fruits et légumes verts
 - 5- Groupe des chocolats (chocolat au lait, chocolat blanc et chocolat noir)
 - 6- Groupe des boissons (EMN, eau de robinet, jus de fruits, vin, bière et cidre)
- Au plan qualitatif, la teneur en calcium de chacun des 20 items du questionnaire a été établie au moyen des tables d'équivalence de Fardellone.
 - Au plan quantitatif, les questions ont porté d'une part sur l'importance de la portion ingérée (petite/moyenne/grosse) et d'autre part sur la fréquence journalière et/ou hebdomadaire de la prise

La moyenne du temps nécessaire pour remplir le questionnaire est de 10 minutes.

f) Les aliments de mauvaise biodisponibilité calcique à la base de notre étude :

Bien que certains végétaux contiennent une quantité non négligeable de calcium, ce dernier est en grande partie insoluble par certains acides : comme l'acide oxalique, qui est présent dans un grand nombre des végétaux, notamment les épinards, la betterave, le thé et le café. Ces aliments de consommation courante et de disponibilité permanente ont été définis comme des aliments de mauvaise absorbabilité calcique (absorbabilité du calcium des épinards ne dépasse pas 5% [37]) ils ont été choisis comme des aliments de référence pour notre 2^{ème} partie d'étude (partie B)

« Est considéré comme consommateur : toute personne apportant au moins un de ces aliments une fois par jour »

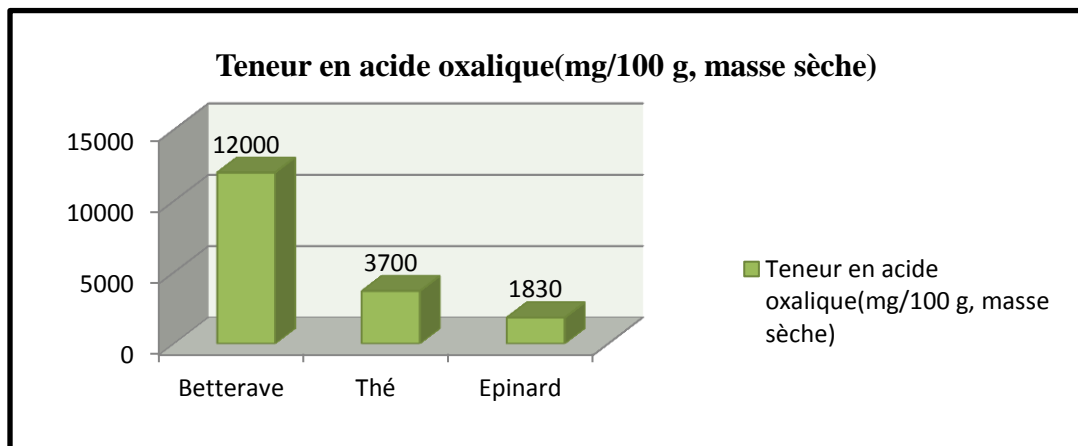


Figure 17:Proportion d'acide oxalique contenu dans divers végétaux couramment consommés.

g) Recueil des résultats et analyses statistiques :

L'analyse descriptive de la population est représentée par des moyennes et des écarts-types pour les variables quantitatives et des pourcentages pour celles qui sont qualitatives

La saisie et l'analyse statistique des données sont réalisées à l'aide du logiciel statistique SPSS 4

Schéma représentatif de l'enquête

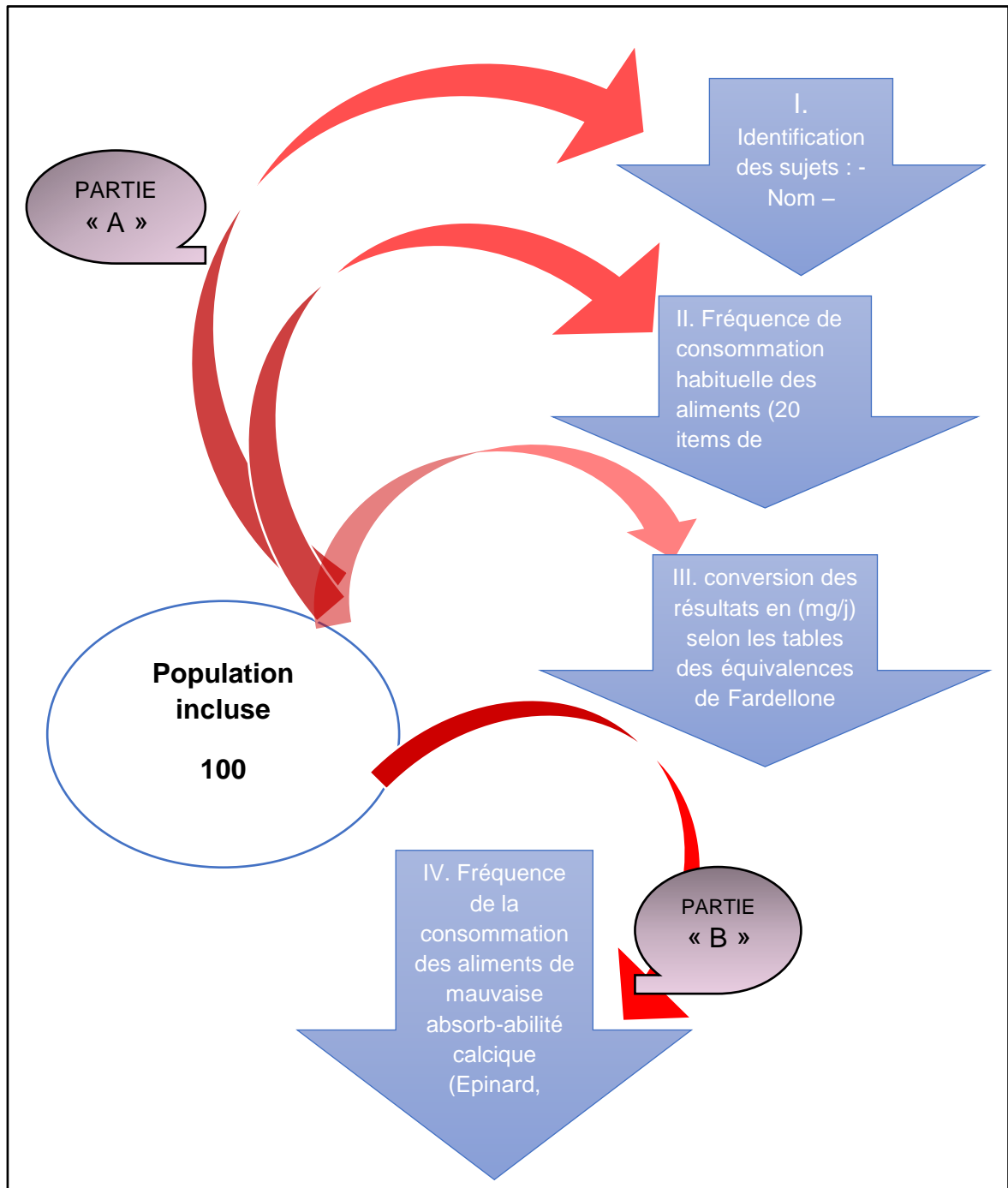
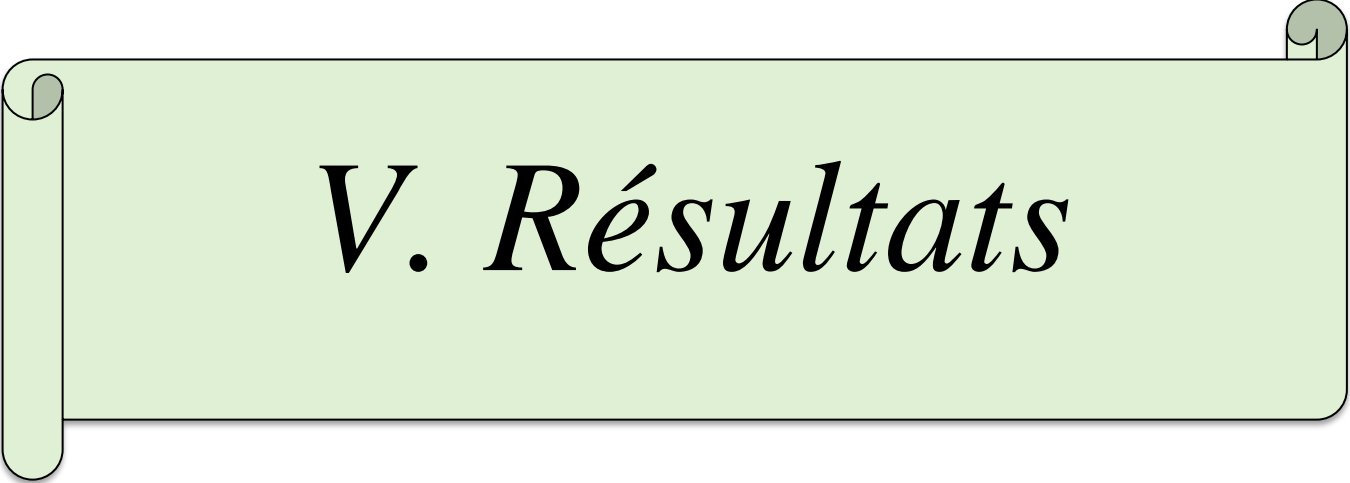


Figure 18: Protocole de réalisation de l'enquête nutritionnelle



V. Résultats

V.1. Description générale de la population interrogée

Dans cette rubrique sont représentés les résultats de la description des 100 sujets selon leur sexe, âge.

V.1.1 Répartition de la population d'étude selon le sexe

La population incluse est constituée de 100 sujets, dont 60 femmes (60%) et 40 hommes soit 40% (figure 19).

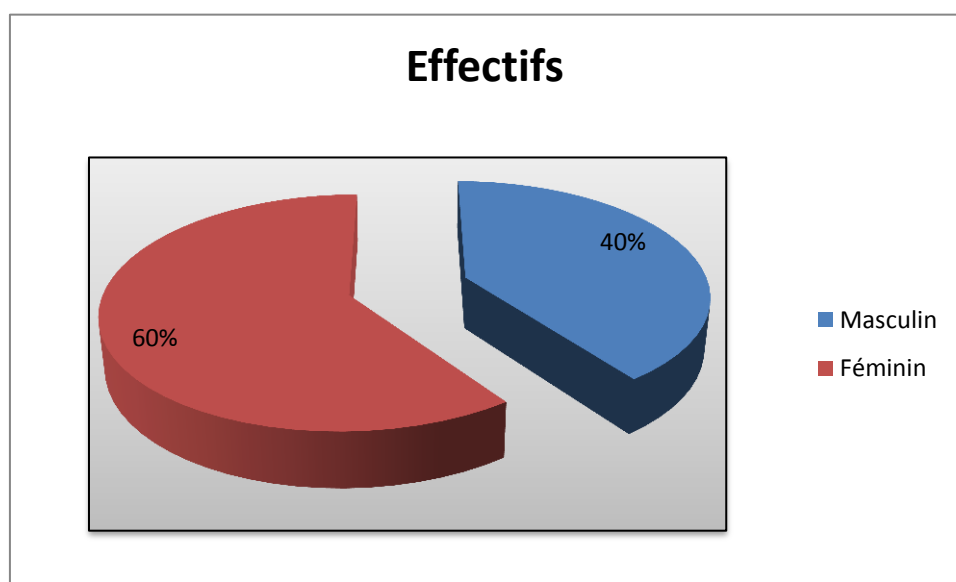


Figure 19: Répartition de la population d'étude selon le sexe.

V.1.2 Répartition de la population d'étude selon l'âge

L'âge moyen des personnes recrutées est de 28,27 ans avec des âges extrêmes allant de 20 à 58 ans.

La population a été répartie en deux groupes d'âge, le premier groupe concerne les personnes âgées de < 40 ans, le deuxième celles qui sont âgées de 40 à 60 ans.

Le groupe âgé de moins de 40 ans constitue 71% de la population étudiée (figure 20).

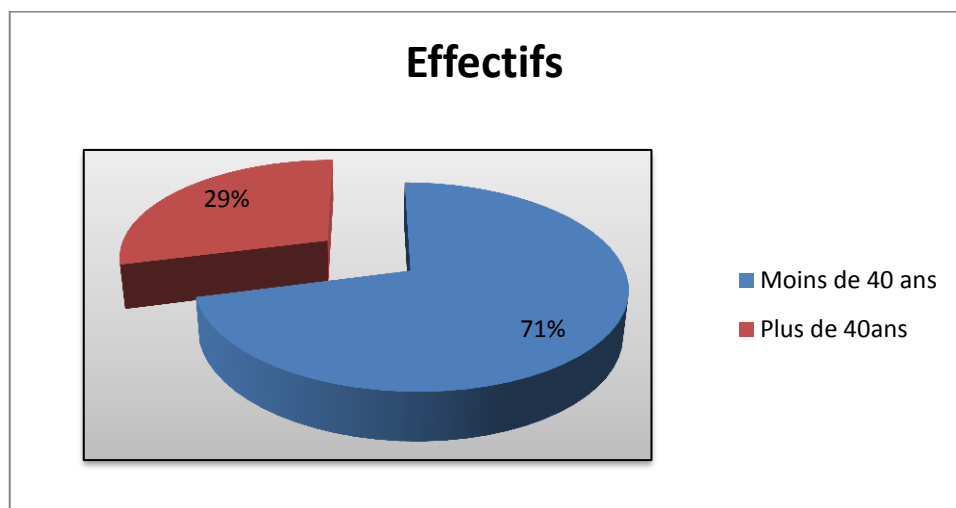


Figure 20: Répartition de la population d'étude selon l'âge.

V.2. Répartition de la population selon la moyenne de la ration calcique journalière

V.2.1 Moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et le sexe

Le tableau (15) présente la moyenne de la ration calcique quotidienne des personnes interrogées selon l'âge et le sexe

Tableau 15: moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et le sexe

	<40ans		≥40ans	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Moyenne de la ration calcique (mg/j)	729.41 ±161.18	589.73 ±312.14	659.12 ±185.16	736.62 ± 90.28

Quel que soit le groupe étudié, les sujets enquêtés ont une moyenne de ration calcique journalière dite médiocre (entre 500 et 999 mg/jour).

Le groupe des sujets de moins de 40 ans apporte une moyenne de calcium de 729,41mg/j et 589,73mg/j respectivement pour les hommes et les femmes, tandis-que le groupe des sujets de 40 ans et plus apporte une moyenne plus importante cette dernière est estimée à 659,12 mg/j et 736,62 mg/j respectivement pour les hommes et les femmes (figure 21).

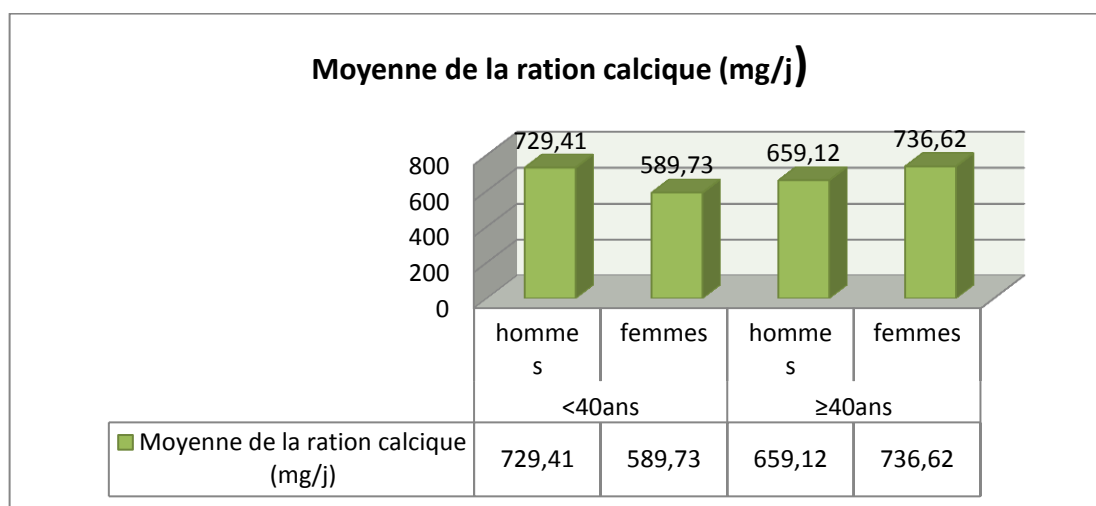


Figure 21: moyenne de la ration calcique journalière selon l'âge et sexe

V.2.2. Répartition de la population selon le niveau de la ration calcique journalière

La population étudiée est répartie en fonction de leur niveau d'apport calcique journalier comme il est mentionné dans le tableau (16), ainsi, la consommation calcique quotidienne est considérée comme suffisante lorsqu'elle est supérieure à 1000 mg/jour, médiocre si elle est comprise entre 500 et 999 mg/jour, et faible lorsqu'elle est inférieure à 500 mg/jour (taux limite de sécurité déterminé par l'OMS).

Tableau 16: répartition de la population selon le niveau de la ration calcique journalière

	Ration faible (<500mg)	Ration médiocre (500-999mg)	Ration suffisante (>1000mg)
Effectifs	27% (n= 27)	69% (n= 69)	4% (n= 4)
Total	100% (n= 100)		

L'analyse de la répartition de la population selon le niveau de la ration calcique journalière montre que la majorité des sujets enquêtés (69%) apporte une ration calcique médiocre (entre 500-999 mg/j), 27% apporte une ration faible (<500 mg), et la minorité des sujets (4%) consomment une ration suffisante (≥1000mg/j) (Figure 22)

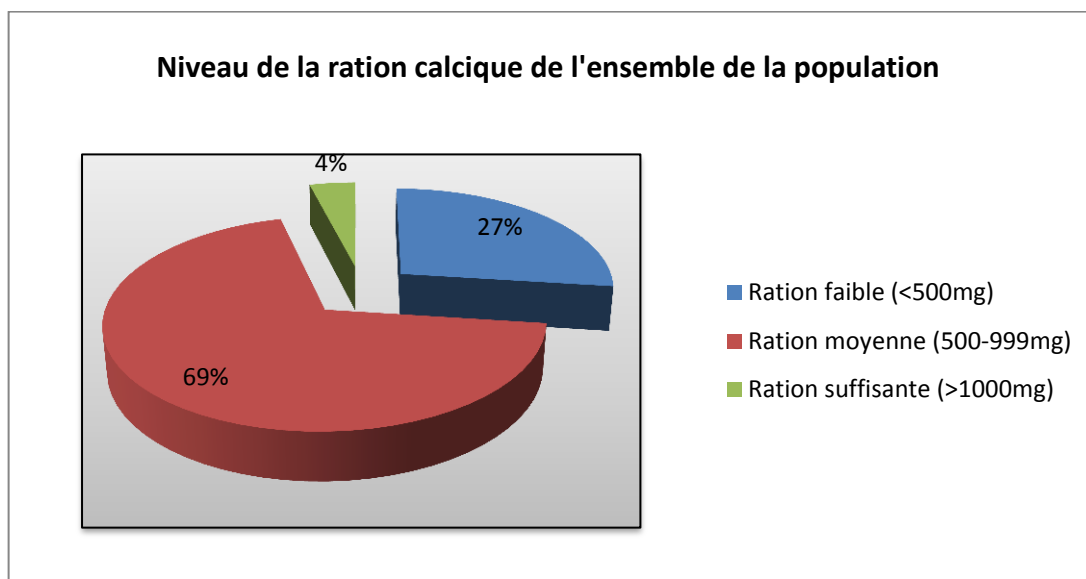


Figure 22: répartition de la population selon la ration journalière.

V.2.3. Répartition de la population en fonction du niveau de la ration calcique journalière et selon l'âge et le sexe

La répartition des sujets selon l'âge et le sexe et en fonction de leur niveau de ration calcique est ordonnée dans le tableau (17) ci-dessous

Tableau 17: La répartition des sujets selon l'âge et le sexe et en fonction de leur niveau de ration calcique

	< 40 ans		≥ 40 ans	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Ration faible (<500mg/j)	n= 4 (22.22%)	n=19 (35.85%)	3 (13.64%)	0 (0%)
Ration médiocre (500 – 999 mg/j)	n=11(61.11%)	n=34 (64.15%)	18 (81.82%)	7 (100%)
Ration suffisante (≥1000 mg/j)	n=3 (16.67%)	n=0 (0%)	1 (4.54%)	0 (0%)
Total	n=18 (100%)	n=53 (100%)	22 (100%)	7 (100%)

L'analyse des résultats sus données montre que : 22.22% des sujets du sexe masculin qui sont âgés de moins de 40 ans ont un apport calcique faible. 61,11% ont un apport médiocre et uniquement 16,7% assurent un apport suffisant.

Les femmes de cet intervalle d'âge présentent toutes un apport insuffisant, ainsi 35,85% d'entre elles ont une ration faible et les restes (64,15%) assurent une ration médiocre.

Chez les personnes âgées de 40 ans et plus, toutes les femmes questionnées (au nombre de 7) ont eu une ration médiocre, tandis-que 13,64 % des hommes apportent une ration faible,

64,15% ont assuré un apport médiocre et seulement une personne (soit 4,54%) a arrivé à une ration suffisante. (figure 23)

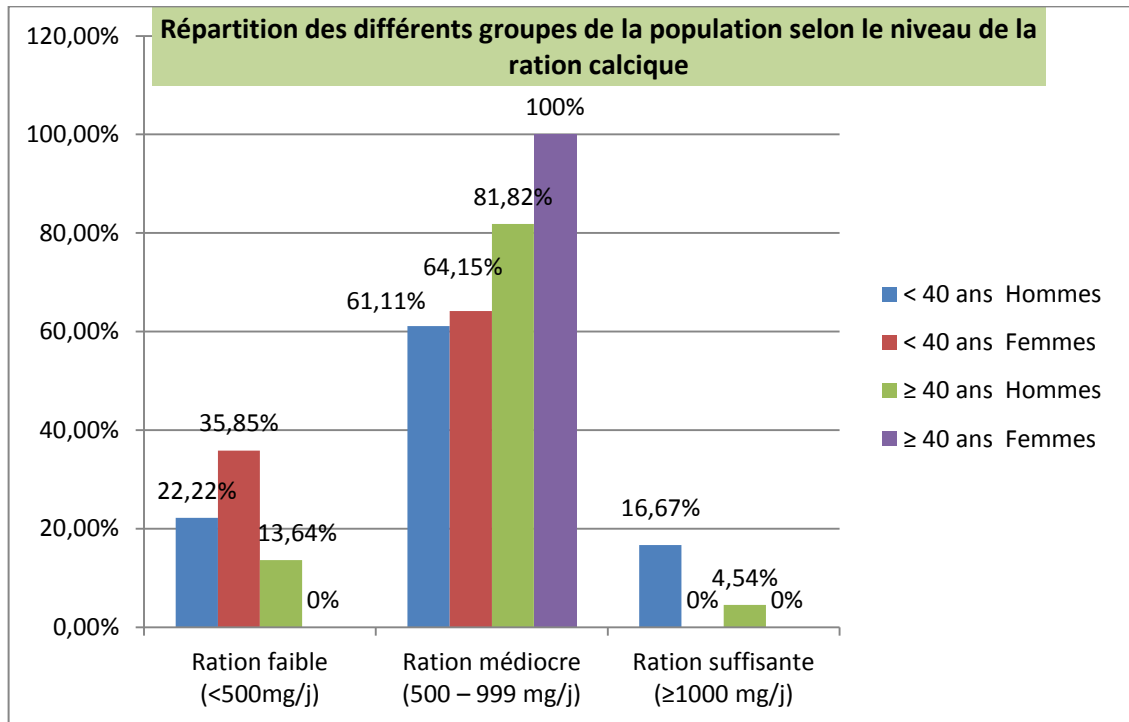


Figure 23: Répartition de la population en fonction du niveau de la ration calcique journalière et selon l'âge et sexe

V.3. Contribution des différentes sources alimentaires de calcium dans la ration calcique journalière

L'évaluation de la ration calcique journalière de l'ensemble de la population étudiée est en moyenne d'environ 612,91 ±411.36 mg/jr.

La contribution des différentes sources ainsi des différents groupes d'aliments dans la ration journalière de la population enquêtée est représentée dans le tableau suivant (18) :

Tableau 18): Contribution des différentes sources alimentaires dans la moyenne d'apport calcique journalier.

Aliment	Moyenne (mg/j) ± ET	(%)	Aliment	Moyenne (mg/j) ±ET	(%)	Groupes d'aliments	moyenne d'apport %
Lait	186.20 ±150.23	30.38%	Viande	9.44±6.67	1.54%	Laitages	52,62%
Fromage	39.57 ±24.54	6.46%	Légumes secs	18.52 ±11.99	3.02%	Céréales, féculents, légumes secs	16,48%
Yaourt	96.76 ±66.01	15.79%	Fruits	18.43 ±8.56	3%	Eau de boisson	14,28%
Légumes verts	41.83 ±17.53	6.82%	Pain	28.5 ±14.55	4.65%	Fruits et légumes verts	9,83%
Chocolat	10.99 ±13.15	1.8%	Pates	3.01 ±2.35	0.5%	Viandes, poissons et œufs	4,99%
Eau de boisson	87.54 ±43.14	14.28%	Frites	36.87 ±28.04	6.01%	Chocolat	1,80%
Œufs	21.12 ±17.25	3.45%	Pomme de terre	14.12 ±7.29	2.3%		
Total	612,91 ± 411.36 (100%)						

Sur l'ensemble des personnes interrogées, la source laitière contribue de façon majeure à l'apport calcique journalier (avec 322,53 mg/jour soit 52,62%). Le lait est le chef de file avec un apport moyen de 186,20 ± 150,23mg/jour soit (30,38%), suivi par le yaourt avec 96,76 ± 66,01 mg/jour (15,78%) puis les différents types de fromages : 39,57 ± 24,54 mg/jour (6,45%). A propos des sources non laitières, le groupe des céréales, féculents et légumes secs contribue à 16,48% soit un apport moyen de 101,02 mg/j, vient par la suite l'eau de boisson avec un apport moyen en calcium d'environ 87,54mg/j (14,28%) puis les fruits et légumes qui apportent en moyenne 60,26 mg/jour (soit 9,83%)

La contribution la plus faible est celle des viandes et œufs avec un apport moyen de 30,56 mg/j (soit près du 5%) et celle du chocolat qui apporte uniquement 10,99mg/j (soit environ 2%) (figure 24).

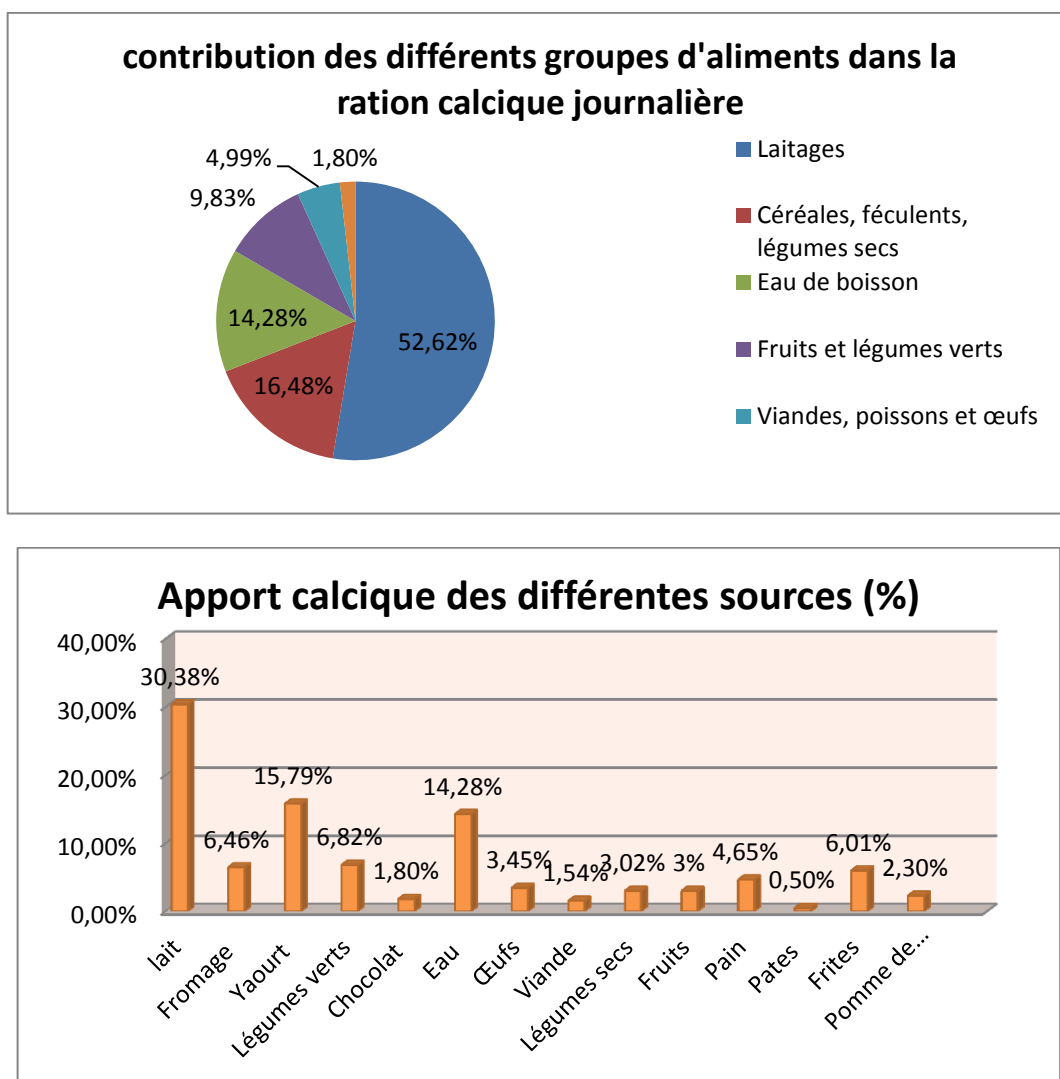


Figure 24: Contribution de la moyenne des différentes sources alimentaires dans l'apport calcique journalier.

V.4. Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon l'âge et le sexe

V.4.1. Selon le sexe

Le tableau (19) présente la contribution du lait et produits laitiers dans la ration calcique journalière de la population étudiée en fonction du sexe

Tableau 19: Contribution de la source laitière dans la ration calcique journalière selon le sexe

	Homme		Femme	
	Moyenne ± ET	%	Moyenne ± ET	%
Lait	221.55 ±176.1	33.84%	162.64 ±125.71	28.31%
Fromage	40.55 ±16.58	6.19%	37 ±28.59	6.44%
Yaourt	92.61 ±46.83	14.14%	99.12 ±77.1	17.25%
Autres sources	300 ±176.87	45.83%	275.76±171 .15	48%
Total	654.71 ±416.38	100%	574.51 ±402.55	100%

Il ressort du tableau que la moyenne de la ration calcique masculine (654,71mg/j ±416,38) est nettement supérieure à celle des sujets de sexe féminin (574,51 mg/j ±402,55). La moyenne du calcium fournit par des laitages et consommé par les sujets de sexe masculin est de 354.71 mg/j, contre 298.76 mg/j pour les sujets féminins. Le lait est la source la plus importante du calcium pour les sujets des deux sexes, avec une moyenne d'apport de 221.55 mg/j ±176.1 (33,84%) pour les hommes et de 162.64 mg/j ±125.71 (28,31%) pour les femmes, vient par la suite le yaourt avec 92,61 mg/j ±46,83 (soit 14,14%) contre 99,12mg/j±77,1 (17,25%) pour les femmes, puis les fromage 40.55 ±16.58mg/j et 37 ±28.59 mg/j successivement pour les hommes et pour les femmes (Figure 25).

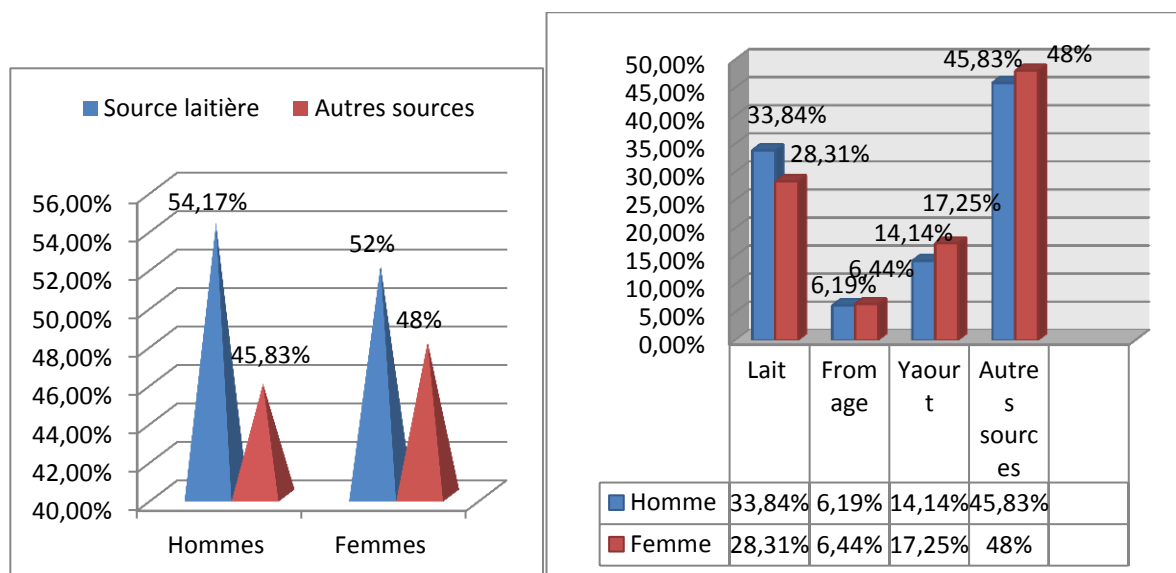


Figure 25: Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon le sexe.

V.4.2. Selon l'âge

La participation du lait et produits laitiers dans la ration calcique journalière des sujets enquêtés en fonction de l'âge est mentionnée dans le tableau (20)

Tableau 20: Contribution de la source laitière dans la ration calcique journalière selon l'âge

	< 40 ans		≥ 40 ans	
	Moyenne ± ET	%	Moyenne ±ET	%
Lait	170.7 ±156.96	33.84%	216.67 ±127.17	32.08%
Fromage	33.79 ±28.57	5.89%	46.87 ±37.22	6.94%
Yaourt	85.34 ±71.32	14.88%	105.39 ±48.66	15.60%
Autres sources	283.58 ±180.20	49.45%	306.28 ±131.30	45.36%
Total	573.41 ±437.05	100%	675.21 ±344.35	100%

Il ressort du tableau que la moyenne de la ration calcique des sujets de moins de 40ans est très faible que celle des sujets de 40ans et plus (573,41 mg/j VS 675,21 mg/j), ainsi le calcium fournit par les laitages est nettement supérieur chez les sujets de 40 ans et plus que chez ceux âgé moins de 40ans (368,93mg/j VS 289,83mg/j)

L'apport calcique à base laitière (lait, yaourt, fromage) est dominant pour les deux tranches d'âge, il est en moyenne de 170.7 ±156.96 mg/jr, 85.34 ±71.32 mg/jr et 33.79 ±28.57 mg/jr respectivement pour le lait, le yaourt et les fromages pour les sujets de 40 ans et plus. Alors, il est de 216.67 ±127.17 mg/jr, 105.39 ±48.66 mg/jr et 46.87 ±37.22 mg/jr dans le même ordre chez ceux âgés de moins de 40 ans (figure 26)

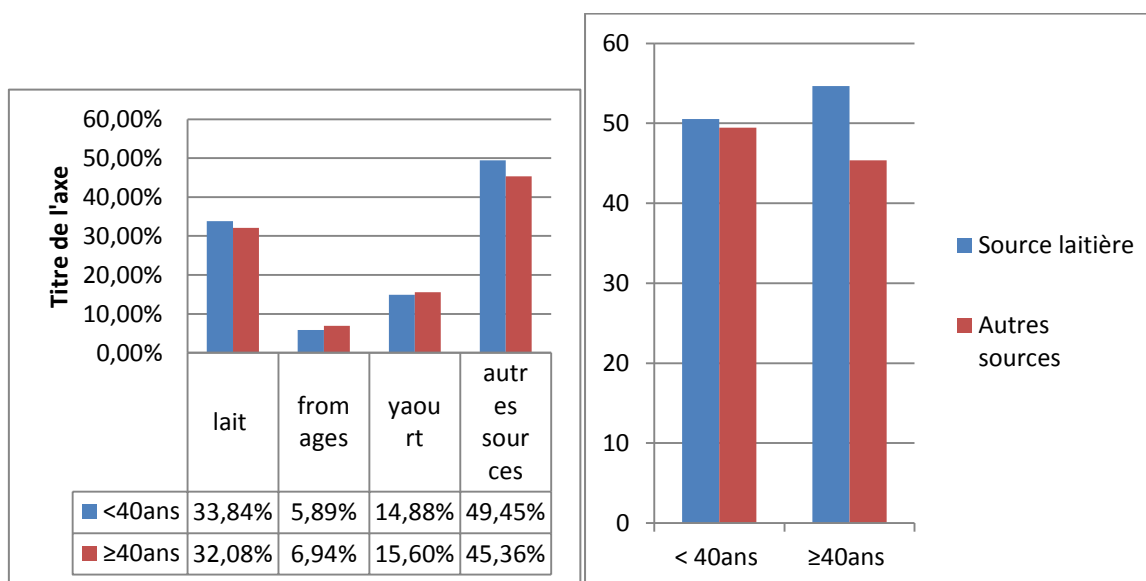


Figure 26: Contribution de la source laitière dans la ration journalière selon l'âge.

V.5. Consommation des facteurs alimentaires limitant l'absorption du calcium

V.5.1. Répartition de la population d'étude selon la consommation de quelques aliments de mauvaise biodisponibilité calcique

Les personnes incluses dans notre enquête et qui ont l'habitude (au moins une fois/jour) de consommer les aliments cités au-dessous sont classées dans le tableau (21) suivant :

Tableau 21: Répartition de la population d'étude selon la consommation de certains aliments

	Betterave	Epinards	Thé	Café
Effectifs et (%)	68 (68%)	52 (52%)	59 (59%)	59 (59%)

Les aliments cités au tableau précédent sont consommés par plus de la moitié de la population de l'étude, on note ainsi : 68% des sujets ont l'habitude de consommé de la betterave, 59% du thé et du café et 52% ont mangé des épinards (figure 27)

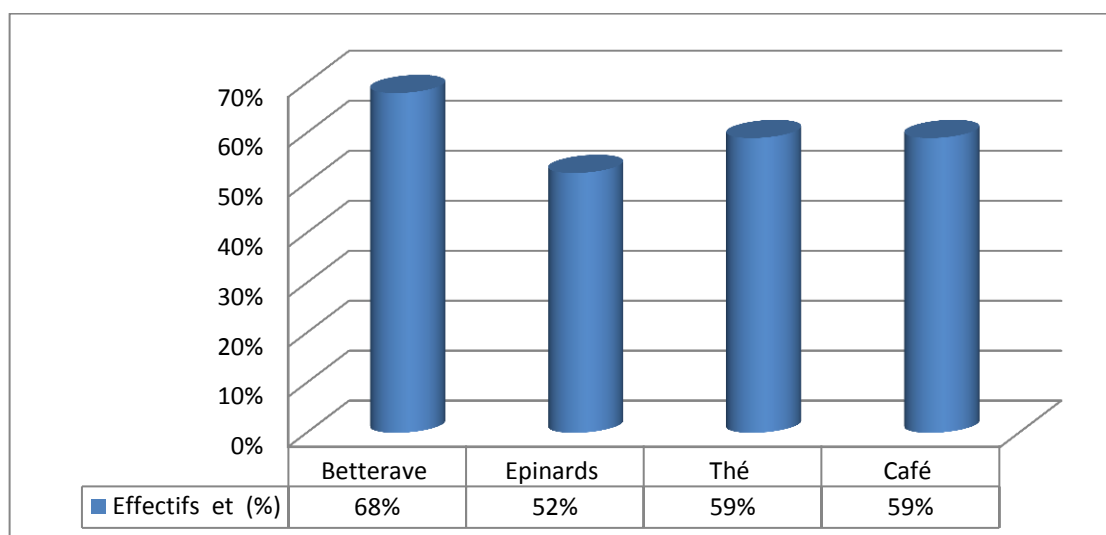


Figure 27: répartition des sujets enquêtés en fonction de leur consommation des aliments de mauvaise biodisponibilité calcique

V.5.2. Répartition des sujets enquêtés sur la consommation des aliments sus-cités selon l'âge et le sexe

V.5.2.1. Selon l'âge

Le tableau (22) présente la répartition des personnes consommant des aliments en question selon l'âge :

Tableau 22: consommation des aliments de mauvaise biodisponibilité calcique selon l'âge

	<40 ans	≥40 ans
Betterave	34 (47.8%)	24 (82.7%)
Epinard	34 (47.8%)	18 (62.0%)
Thé	40 (56.3%)	19 (65.5%)
Café	35 (49.2%)	24 (82.7%)

Les aliments sus évoqués sont essentiellement consommés par les sujets les plus âgés (de 40ans et plus), ainsi le café et la betterave sont les aliments les plus consommés par les personnes de cette tranche d'âge avec une proportion de 82,7% pour chacun des deux, tandis que, pour les sujets de moins de 40 ans ce sont le thé et le café qui dominent (56,3% et 49,2%) (Figure 28)

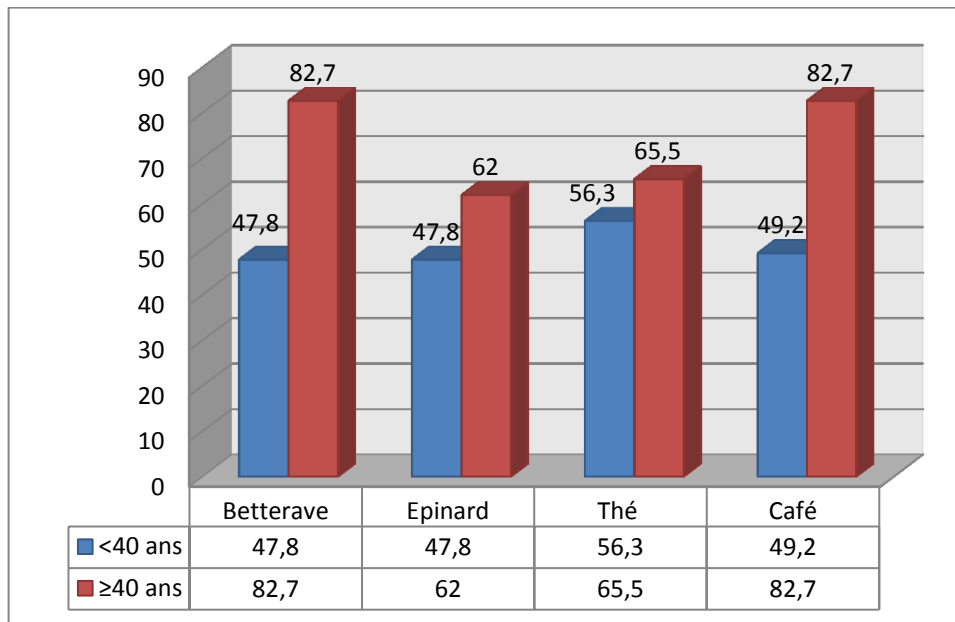


Figure 28: consommation des aliments limitant l’absorption du calcium selon l’âge.

V.5.2.2. Selon le sexe

La répartition de la consommation de ces quatre aliments en fonction du sexe est objectivé dans le tableau (23) :

Tableau 23 : consommation des aliments limitant l’absorption du calcium selon le sexe.

	Homme	Femme
Betterave	25 (62.5%)	33 (55%)
Epinard	21 (52.5%)	31 (51.6%)
Thé	28 (70%)	31 (51.6%)
Café	24 (60%)	35 (58.3%)

Il apparait que les sujets de sexe masculin consomment plus ces quatre aliments que les sujets de sexe féminin dans notre enquête

La betterave (62,5%) et le thé (70%) dominent la consommation masculine, alors la consommation des femmes est plus marquée par le café (58,3%). (Figure 29)

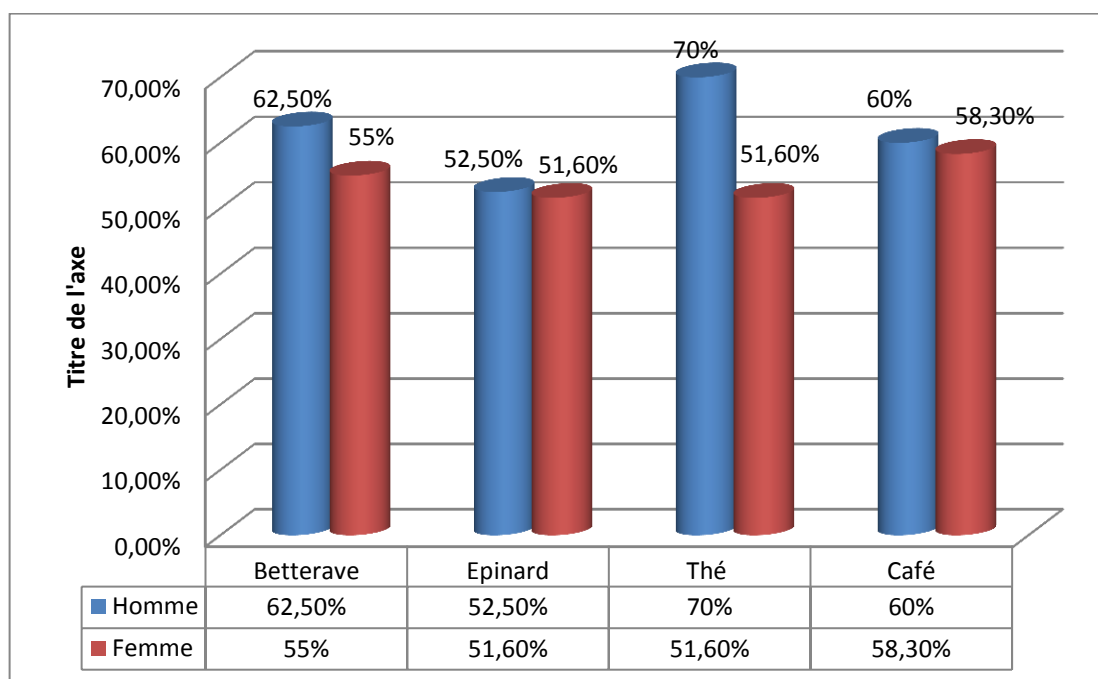


Figure 29: consommation des facteurs alimentaires limitant l'absorption du calcium selon le sexe.

V.5.3 Répartition de la population consommant des aliments de mauvaise biodisponibilité en fonction des niveaux de la ration calcique

Le tableau (24) montre la répartition des sujets consommant les aliments sus mentionnés en fonction de leur niveau de ration calcique

Tableau 24: consommation des aliments limitant l'absorption du calcium en fonction des niveaux de la ration calcique journalière de la population enquêtée.

	Betterave	Epinard	Thé	Café
Niveau faible (<500mg/j)	15 (55,5%)	42 (60,8)	18 (66,6%)	13 (48,14%)
Niveau médiocre (500-999 mg/j)	42 (60,8%)	33 (47,8%)	40 (57,9%)	43 (62,3%)
Niveau suffisant (≥1000 mg/j)	1 (25%)	2 (50%)	1 (25%)	3 (75%)

L'analyse des pourcentages de la consommation des aliments renfermant des facteurs limitant l'absorption du calcium (betterave, épinard, thé et café) par les différentes sous population classées selon leurs niveaux d'apport en calcium montre (figure 30) :

1- Pour la sous population classée « niveau faible d'apport » : la plupart des enquêtés ont buvée du thé (66,6%), 48,14% ont préféré du café, 60,8% ont mangé des épinards et 55,5% ont consommé de la betterave

2- Pour la sous population classée « niveau d'apport médiocre » : la majorité des sujets ont préféré le café (62,3%), une grande partie ont buvée du thé (57,9%), alors, 60,8% ont consommé de la betterave, et 47,8% ont mangé des épinards

3- concernant la population classée « niveau de ration calcique suffisant » : 75% des enquêtés ont préféré du café, 50% ont mangé des épinards, 25% ont buvé du thé et la même proportion ont consommé de la betterave

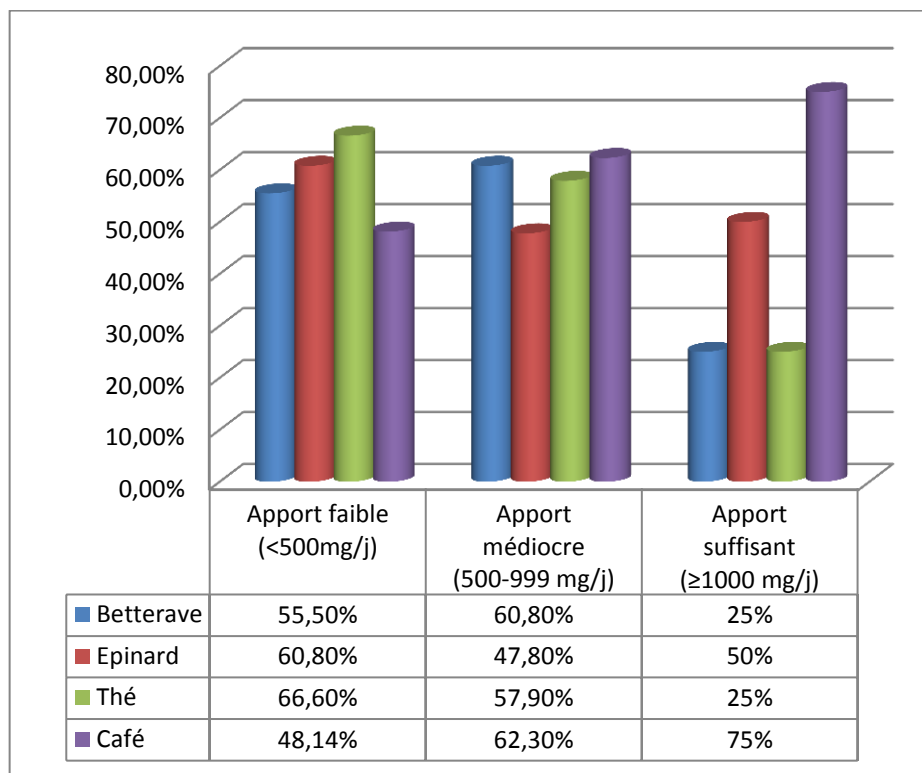


Figure 30: Consommation des aliments limitant l'absorption en fonction du niveau de la ration calcique.



IV. DISCUSSION

1. Population étudiée

Notre population d'étude est de prédominance féminine (60%), elle est très jeune, composée de 71% de personnes de moins de 40 ans, avec un moyen d'âge de 28,27 ans, ce qui correspond au profil sociodémographique de la population algérienne. [93]

2. La méthodologie

- Le présent travail vise dans sa première partie (partie A) : à apprécier l'apport alimentaire en calcium et préciser leurs principales sources

Dans sa deuxième partie (partie B) : d'évaluer la biodisponibilité calcique par l'étude de la fréquence de consommation de certains aliments riches en facteurs limitant l'absorbabilité du calcium

- Notre population est répartie en plusieurs groupes :

Selon le sexe, l'âge (<40ans et ≥40ans), le niveau de la ration calcique (niveau faible, médiocre ou suffisant), et selon la fréquence de consommation de certains aliments de mauvaise biodisponibilité calcique (betterave, épinard, thé et café)

Ainsi, en se référant aux recommandations de l'OMS (WHO) basées sur la détermination du taux limite de sécurité, le niveau de la ration calcique est considéré : faible, médiocre ou suffisant si l'apport calcique moyen est respectivement : <500mg/j, [500 – 999mg/j] ou ≥1000mg/j

- Plusieurs techniques permettent d'évaluer le mode d'alimentation d'une population, dont les plus utilisées sont les enquêtes alimentaires (DEBRY, 1979 ; GRUSON et ROMON, 2008).

Notre modèle de questionnement adopté est l'auto-questionnaire fréquentiel de Fardellone. En fait, il nous a permis une appréciation détaillée, précise et complète des apports calciques hebdomadaires et quotidiens des participants, il est en plus, très adapté à nos habitudes alimentaires.

- Pour évaluer la biodisponibilité calcique nous avons procédé à l'étude de la première et la principale étape : « l'absorbabilité ». Cette dernière est affectée par plusieurs facteurs physicochimiques, dont fait partie « l'acide oxalique », cet agent est très abondant dans la betterave, l'épinard, le thé et le café : des aliments très connus, disponibles, et font partie du régime alimentaire courant de notre population. C'est pour toutes ces raisons qu'on a

choisi ces aliments comme aliments de référence pour notre deuxième partie de l'étude (partie B)

« La consommation d'aliment désigne un apport quotidien d'au moins un des aliments déjà décrits »

3.A. Discussion des résultats de la première partie :

Dans ce qui suit, nous discutons les résultats des données de la première partie de l'enquête nutritionnelle (partie A) : les apports calciques et la contribution des différentes sources dans la ration calcique journalière des participants.

3.A.1. Les apports en calcium alimentaire :

Dans le cadre de cette étude, la moyenne des apports calcique chez l'ensemble de nos sujets a été estimée à **612,91mg/j** ce qui le situait au-dessous des normes des recommandations (900 - 1000mg/j). Cette insuffisance d'apport est observée chez tous les groupes des sujets enquêtés, elle est plus marquée chez le groupe des femmes de moins de 40ans (589.73 mg/j), pour lesquelles un apport optimal en calcium (1000 mg/j) est fortement recommandé afin de couvrir leurs besoins et prévenir des carences à un âge plus avancé.

C'est ainsi uniquement 4% des personnes interrogées ont pu assurer un apport suffisant ($\geq 1000\text{mg/j}$). Malheureusement aucune participantes n'a arrivé à cette ration journalière, alors il est communément admis qu'un niveau d'apport calcique suffisant à l'âge adulte (et/ou bien avant), est très important pour le maintien du capital osseux et pour la prévention de l'ostéoporose à laquelle les femmes sont très exposées [94]

Nos résultats se rapprochent de ceux rapportés par M Ait Ouzar et al, qui a objectivé une moyenne d'apport d'environ 699 mg/j chez une population marocaine âgée entre 16 et 59ans. Egalement nos chiffres sont presque identiques à ceux qui sont retrouvés suite à une enquête menée auprès des femmes tunisiennes dont la ration calcique n'était supérieure à 800 mg / jour que chez 4% des femmes non ménopausées [95].

3.A.2. Contribution des différents groupes d'aliments dans la ration calcique journalière :

Le groupe des laitages est celui qui contribue le plus à l'apport calcique quotidien de notre population (52,62% soit en moyenne un apport de 322,53mg/j). Le lait apporte à lui seul 30,38% (soit $186,20 \pm 150,23$ mg/j) de la totalité des apports, cette dominance est objectivée dans les différents groupes de notre population interrogée.

Nos chiffres ne sont pas loin des résultats publiés par M. Bencharif suite à une étude menée auprès des jeunes adultes constantinois afin d'évaluer leurs états nutritionnels et leurs apports calciques et chez qui elle a objectivé une participation des laitages dans 46,49% des apports avec prédominance du lait : 30,17%).

Le lait est le laitage le plus consommé par nos sujets, vient par la suite le yaourt qui est, par rapport aux fromages, très adorable pour la population féminine (17,25% VS 6,44%). Ceci rejoint d'une part le modèle de consommation des algériens et d'autre part reflète la prédominance féminine dans notre population d'étude.

La faible consommation des fromages et en particulier ceux qui sont à pâte pressée (emmental, gruyère et cheddar) ou encore ceux à pâte molle (camembert, brie) revient probablement à leur coût élevé (FAO, 2005)

Même si la source laitière est dominante dans notre enquête, nos résultats restent encore loin des chiffres décrits par la littérature où la participation des laitages dans l'apport calcique devrait constituer au moins 70%. À cet effet, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) préconise l'utilisation de trois produits laitiers par jour [96] pour l'atteinte des ANC en calcium. Ainsi ce principe de consommation permet en moyenne un apport en calcium d'environ 500 à 650mg/j, ce qui signifie que la moyenne de consommation du calcium d'origine laitière par nos sujets enquêtés (322,53mg/j) ne correspond qu'à un apport d'un produit laitier et ½ par jour, ce qui est très loin des recommandations sus-citées.

Cette insuffisance d'apport lactée observée pour tous les groupes d'étude explique en grande partie l'apport calcique médiocre de notre population.

Pour l'ensemble de nos sujets, trois autres groupes se distinguent fortement des autres sources restantes, après le groupe lait et dérivés. Ceux sont : le groupe des céréales, légumineuses et féculents, le groupe eau et boissons sucrées, et le groupe des fruits et légumes verts, avec respectivement une contribution de : 16,48%, 14,28% et 9,83%.

En fait, les céréales et féculents contribuent pour une bonne partie aux apports calciques, ceci paraît logique du fait qu'ils constituent la base de notre alimentation (FAO, 2005).

Une source en ce nutriment non négligeable est aussi apportée par l'eau avec un moyen d'apport de 14,28%.

Cette ingestion importante de l'eau est secondaire à la richesse des régions d'enquête en sources hydriques (Ain-defla, Chlef et Médéa) et elle reflète bien la jeunesse et la vitalité de notre population d'étude.

Dans la littérature française, la source hydrique participe à un apport en calcium d'environ 4 à 5%, alors la plupart des études maghrébines objectivent une participation d'environ 9% ; tandis-que la contribution de l'eau minérale à la ration calcique des jeunes femmes de la région Picardie (nord de la France) était à 16,1% [97]

Ainsi, les minéraux de l'eau sont bien absorbés ce qui fait de l'EMN une bonne source de calcium, certainement la plus intéressante après le lait et les produits laitiers, cette absorbabilité est estimée égale, si non légèrement supérieure à celle du calcium du lait [98] Cependant, le calcium est mieux absorbé lorsque l'ingestion de l'eau se fait au moment des repas.

A propos des fruits et légumes vert, et d'après nos propres constatations, actuellement sur nos marchés la majorité des légumes et fruits perdurent toute l'année, même pour ceux qui sont saisonniers. Le problème est encore une fois leur coût ; même si leur consommation est quotidienne, le nombre de légumes et fruits apporté par jour reste insuffisant, d'où une source moindre en calcium (9,83%) comme nous l'avons vu précédemment, alors, les repères internationaux recommandent la consommation d'au moins cinq fruits et légumes par jour (JOURDAIN-MENNINGER et coll., 2010).

Le groupe des chocolats et celui des viandes, poissons et œufs sont les deux groupes qui apportent le moins de calcium, avec dans l'ordre 1,80% et 4,99% ; cette faibles consommation s'explique essentiellement par le coût élevé de la plupart de ces denrées, mais également par la disponibilité irrégulière sur le marché.

3.B. Discussion des résultats de la deuxième partie (partie B) :

L'étude de la fréquence de consommation de certains aliments renfermant des facteurs limitant l'absorbabilité du calcium alimentaire a un intérêt capital dans l'évaluation de la qualité du calcium ingéré

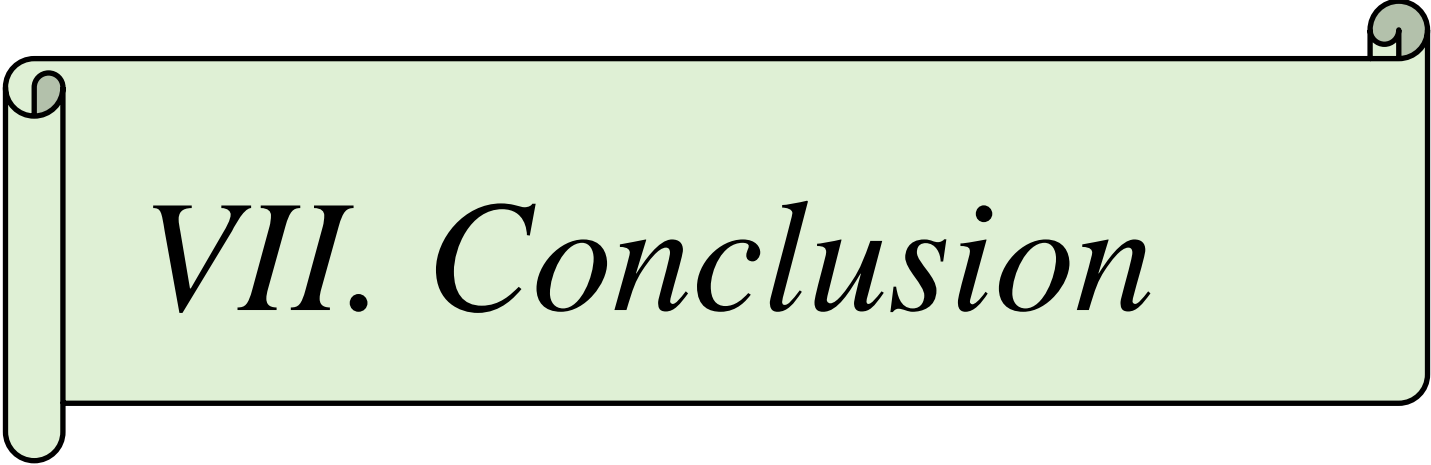
Ainsi nous avons défini quatre aliments de consommation courante pour cette évaluation : la betterave, l'épinard, le café et le thé

- Notre enquête a montré que plus de 50% des sujets questionnés ont l'habitude de consommer quotidiennement au moins un des aliments sus-cités, la betterave est l'aliment le plus consommée (signalé par 68% des sujets)
- Ces aliments participent également dans l'alimentation de plus de la moitié des sujets ayant un apport calcique insuffisant (<1000mg/j)
- Cette consommation importante ne se limite pas aux sujets de sexe masculin ni aux personnes de 40ans et plus, néanmoins elle est plus remarquable pour ce dernier groupe dans lequel l'apport de la betterave et du café est signalé par plus de 82% des sujets ; Ainsi nos résultats se rapprochent à ceux qui sont rapportés par M. Bencharif qui a objectivé une consommation du café chez 83,73% des 350 personnes enquêtées sur leurs états nutritionnels et leurs apports en calcium.

En fait, l'ingestion très importante du café et du thé est démontré à l'échelle mondiale, elle n'est plus spécifique pour les algériens, toutefois ces aliments sont considérés comme des boissons énergisantes, psychostimulantes et tranquillisantes, leur consommation reflète généralement l'état de stress rencontré à l'âge adulte.

La forte consommation des produits de cueillette dont fait partie les épinards, et la betterave se voit dans l'alimentation rurale mais aussi dans l'alimentation urbaine car les marchés en sont bien approvisionnés et leur coût est très raisonnable (FAO, Banque de données FAOSTAT)

- Bien que le café et le thé sont considérés comme des modulateurs bioactifs du stress oxydatif [100] et l'épinard et la betterave comme source importante de micronutriments, vitamines et fibres alimentaires bénéfiques pour l'organisme, ils renferment tous une quantité importante en acide oxalique limitant l'absorbabilité du calcium, c'est ainsi l'absorbabilité du calcium des épinards qui se voit réduite à 5%. Ce problème de baisse de coefficient d'absorption observé suite à la consommation des aliments sus-évoqués se rajoute au défaut d'apport en calcium objectivé chez 96% de la population étudiée.



VII. Conclusion

La détermination des sources alimentaires du calcium et l'étude de sa biodisponibilité par l'évaluation de l'absorbabilité calcique dans trois régions différentes en Algérie est un véritable progrès dans le domaine de la nutrition clinique.

L'étude a ciblé un échantillon de la population algérienne qui présente des caractéristiques qui ne semblent pas très éloignées de celles de la population générale; néanmoins, cette enquête alimentaire doit être renforcée par une étude sur un échantillon représentatif de la population globale.

Le travail a objectivé d'une part une insuffisance d'apport calcique essentiellement liée à une faible consommation de lait et de ses dérivés, et d'autre part une forte consommation des aliments renferment de l'acide oxalique : betterave, épinard, café et thé ; cet agent est un puissant inhibiteur de l'absorption du calcium

Ce problème de baisse de coefficient d'absorption observé suite à la consommation des aliments sus-évoqués, se rajoute au défaut d'apport en calcium retrouvé chez 96 % de la population étudiée.

Les résultats obtenus sont alarmants, ce qui nous incite à mettre en place dans l'immédiat un programme de prévention du mauvais statut calcique de la population lié à la faible teneur de la ration alimentaire en calcium, sa mauvaise biodisponibilité et efficacité biologique afin de lutter contre les pathologies qui en découlent telle l'ostéoporose exposant à des risques fracturaires majeures.

A cet effet, les principales actions à mener contre ce fléau sont les suivantes :

- 1- Organiser des campagnes de sensibilisation de la population sur la gravité du problème et impliquer les pouvoirs publics dans les moyens de prévention
- 2- Vulgariser les moyens de questionnement et concevoir des auto-questionnaires adaptés à la population algérienne
- 3- Expliquer les bases de l'éducation nutritionnelle
- 4- Faire valoir l'intérêt de la consommation d'un produit laitier à chaque repas
- 5- Apprendre aux enfants l'importance d'une alimentation équilibrée et le rôle du calcium dans la croissance

6- Veiller dès le jeune âge au respect des ANC afin d'assurer un capital osseux optimal

7- Permettre à la population l'accès facile aux produits laitiers et ses dérivés

8- Former le personnel de santé sur le sujet.

9- Encourager la recherche en nutrition clinique axée sur le calcium et le capital osseux

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] E. Universalis, « CALCIUM », *Encyclopædia Universalis*.
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/calcium/> (consulté le mars 12, 2021).
- [2] « Calcium - Histoire du Calcium », *Techno-Science.net*. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Calcium-page-2.html> (consulté le mars 15, 2021).
- [3] « [PERECK S. Eléments chimiques, le calcium [en ligne]. Découverte scientifique et pédagogique sur la classification périodique des éléments chimiques. Disponible sur :<http://www.elementschimiques.fr/?fr/elements/z/20> (consulté le 21/07/2016)].
- [4] « [GIDENNE S., VIGEZZI J.F., DELACOUR H. et al. : Dosage direct du calcium ionisé plasmatique ou estimation par calcul : intérêts et limites. *John LibbeyEurotext Revues*, 2003, 61(4), 393-9].
- [5] « (CAMUS J.P., DE RICQLÈS A. : Os [en ligne]. *EncyclopædiaUniversalis*. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/os/> (consulté le 15/07/2016)
- [6] « (LAFAGE-PROUST M.H. : Métabolisme phosphocalcique [en ligne].
- [7] « (WEAVER C.M., HEANEY R.P. : Calcium functions. *Calcium in Human Health*. Totowa, New Jersey : Humanapress, 2006, 7-13.)
- [8] « (QUIGNARD J.F. : Physiologie des muscles. Enseignement de physiologie de la faculté de pharmacie de Bordeaux, DFGSP Semestre 2, 2014).
- [9]. « (BODIN L.A. : Relation dose-effet du calcium sur la coagulation. Mémoire pour l'obtention duDES d'Anesthésiologie-Réanimation Chirurgicale. Paris : Académie de Paris, 2010, 28p)
- [10] « Guéguen L. A propos des besoins calciques de l'homme adulte. *Med Nutr* 1981 ; 17 : 123-6.].
- [11] « [Dupin H, Abraham J, Giachetti I. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris : Lavoisier ; 1992.].
- [12] « [Institute of medicine, food and nutrition board. Dietary reference intakes: calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride. National Washington DC: AcademyPress; 1998.]
- [13] « Whiting S J, Wood RJ. Adverse effects of high-calcium diets in humans. *Nutr Rev* 1997 ; 55 : 1-9.]

- [14] « [Liebman M, Chai W. Effect of dietary calcium on urinary oxalate excretion after oxalate loads. *Am J Clin Nutr* 1997 ; 65 : 1453-9.]
- [15] « [Whiting S J, Wood RJ. Adverse effects of high-calcium diets in humans. *Nutr Rev* 1997 ; 55 : 1-9.].
- [16]: « [Marion Vallet , Ivan Tack, *Physiologie du calcium et des phosphates*, *Revue du rhumatisme monographies* 79 (2012) 203–209]
- [17] « [Nellans HN. Contributions of cellular and paracellular pathways to transepithelial intestinal calcium transport. In : *Cellular calcium and phosphate transport in health and disease*, Alan R. Liss Inc. 1988 : 269-276.].
- [18] « [Schachter D, Kowarski S. Isolation of the protein IMCal, a vitamin D-dependent membrane component of the intestinal transport mechanism for calcium. *Federation Proc.* 1982 ; 41 : 84-87] [Feher JJ, Wasserman RH. Studies of the subcellular localization of the membrane-bound fraction of intestinal calcium-binding protein (CaBP). *Biochim. Biophys. Acta* 1979 ; 585 : 599-610].
- [19] « [Pansu D, Bellaton C, Roche C, Bronner F. Duodenal and ileal calcium absorption in the rat and effects of vitamin D. *Am. J. Physiol.* 1983 ; 244 : G695-G700.].
- [20] « [Nemere I, Leathers V, Norman AW. 1,25-dihydroxy vitamin D₃-mediated intestinal calcium transport. Biochemical identification of lysosomes containing calcium and calcium binding protein (calbindin-D_{28 k}). *J. Biol. Chem.* 1986 ; 261 : 16106-16114.].
- [21] « [24. Ghijsen WEJM, Van Os CH, Heizman CW, Murer H. Regulation of duodenal Ca²⁺ pump by calmodulin and vitamin D-dependent Ca²⁺-binding protein. *Am. J. Physiol.* 1986 ; 251 : G448-G457.]
- [22] « GUEGUEN L. : Le bilan calcique : besoins, apports, biodisponibilité. *Nutr Clin Métab.*, 2000, 14, 206-15
- [23] « [Teegarden D, Lyle RM, Proulx WR, Johnston CC, Weaver CM. Previous milk consumption is associated with greater bone density in young women. *Am J Clin Nutr* 1999 ; 69 : 1014-7
- [24] « [Dawson-Hughes B, Harris SS, Krall EA, Dallal GE. Effect of calcium and vitamin D supplementation on bone density in men and women 65 years of age or older. *N Engl J Med* 1997 ; 337 : 670-6.]
- 6.%5D&aqs=chrome..69i57.3982j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (consulté le juill. 03, 2021).
- [25] « [LANDRIER JF. : Vitamine D : sources, métabolisme et mécanismes d'action, *OCL.*, 2014, 21(3) D302, 1-7].

- 7%5D.&aqs=chrome..69i57.3642j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (consulté le juill. 03, 2021).
- [26] A. Martin, « The ”apports nutritionnels conseillés (ANC)” for the French population », *Reprod. Nutr. Dev.*, vol. 41, n° 2, p. 119-128, 2001, doi: 10.1051/rnd:2001100.
- [27] E. Masson, « Le bilan calcique : besoins, apports, biodisponibilité », *EM-Consulte*. <https://www.em-consulte.com/article/222552/article/le-bilan-calcique-besoins-apports-biodisponibilite> (consulté le avr. 17, 2021).
- [28] « Assurer les apports calciques conseillés. Est-ce possible sans produits laitiers? : Bib-Bop GUEGUEN Léon ». https://www.bib-bop.org/base_bib/bib_detail.php?ref=15113&titre=assurer-les-apports-calciques-conseilles-est-ce-possible-sans-produits-laitiers (consulté le avr. 26, 2021).
- [29] www.unitheque.com, « Minéraux et produits laitiers », *Unithèque*. <https://www.unitheque.com/mineraux-produits-laitiers/sciences-techniques-agroalimentaires/lavoisier-tec-doc/Livre/16709> (consulté le avr. 26, 2021).
- [30] « Assurer les apports calciques conseillés, est-ce possible sans produit laitier ? Cholédac, 2014, 139, 1-4.
- [31] « IAN J., GRIFFIN I.A., ABRAMS A.S. : Methodological considerations in measuring human calcium absorption: relevance to study the effects of inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 2005, 93(1), 105-110.
- [32] « GUEGUEN L., POINTILLART A. : The bioavailability of dietary calcium. *J An Coll Nutr.*, 2000, 19, 119-136.
- [33] « WEAVER C.M., HEANEY R.P. : Calcium functions. *Calcium in Human Health*. Totowa, New Jersey : Humana press, 2006, 7-13
- [34] « MARTIN A. : Apports nutritionnels conseillés pour la population française 3ème éd. Paris : Tec et doc, 2009, 605p
- [35] « WEAVER C.M. : Calcium in Food Fortification Strategies. *International Dairy Journal*, 1998, 8, 443-449.
- [36] « FOURNET G. : Oxalique acide ou acide éthanedioïque [en ligne]. *Encyclopædia Universalis*. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/oxalique-acide-ethanedioique> (consulté le 29 juillet 2016)
- [37] « NAKATA P.A. : Plant calcium oxalate crystal formation, function, and its impact on human health. *Frontiers In Biologie*, 2012, 7(3), 254-266.

- [38] « WEAVER C.M., HEANEY R.P. : Isotopic exchange of ingested calcium between labeled sources. Evidence that ingested calcium does not form a common absorptive pool. *Calcif Tissue Int.*, 1991, 49, 244-247.
- [39] « CHARRIER M.J-S., SAVAGE G.P., VANHANEN L. : Oxalate content and calcium binding capacity of tea and herbal teas. *Asia Pacific J Clin Nutr.*, 2002, 11(4), 298-301
- [40] « ANSES. Composition nutritionnelle des aliments, teneurs en calcium par constituant pour 100 grammes d'aliment comestible [en ligne]. Table CIQUAL 2013. Disponible sur : <https://www.pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm> (consulté le 20/09/16)
- [41] « WEAVER C.M., HEANEY P. : Food Sources, Supplements and Bioavailability. *Calcium in Human Health*. Totowa, New Jersey : Humana press, 2006, 129-149.
- [42] « TIBI A. : Phytique acide [en ligne]. *Encyclopædia Universalis*. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/acide-phytique/> (consulté le 29 juillet 2016)
- [43] « RAFFERTY K., WATSON P., LAPPE J.M. : The Selection and Prevalence of Natural and Fortified Calcium Food Sources in the Diets of Adolescent Girls. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 2011, 43(2), 96-102.
- [44] « HAIECH J. : Cellule - La régulation du métabolisme [en ligne]. *Encyclopædia Universalis*. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/cellule-la-regulation-du-metabolisme/>, 2016, (consulté le 13/07/2016).
- [45] « GAUCHERON F. : Le calcium, Minéraux et produits laitiers. Paris : Lavoisier-Tec et doc, 2003, 960p.
- [46] « LACOUR B., TARDIVEL S., DRÜEKE T. : Biodisponibilité du calcium exogène. *Nutr. Clin. Métabol.* 1995, 9, 15-28.
- [47] « HANOTTE M., ROBINSON F., TALLON A. : Facteurs influençant la biodisponibilité du calcium. *NAFAS Nutrition, Aliments Fonctionnels, Aliments santé*, 2008, 6(3), 6-21.
- [48] « BONJOUR J., CHEVALLEY T., FERRARI S., RIZZOLI R. : Lait et santé osseuse : rôle essentiel du calcium et des protéines. *Cahier de Nutrition et Diététique*, 2005, 40(1), 12-19
- [49] « HEANEY R.P. : Phosphorus nutrition and the treatment of osteoporosis. *Mayo Clin. Proc.*, 2004, 79, 91-97.
- [50] « CASHMAN K., FLYNN A. : Optimal nutrition : calcium, magnesium and phosphorus. *Cambridge Journal*, 1999, 58, 477-487.

- [51] « BRANDOLINI M., GUEGUEN L., BOIRIE Y. et al. : Higher calcium urinary loss induced by a calcium sulphate-rich mineral water than by milk in young women. *Brit. J Nutr.*, 2005, 93, 225-23
- [52] « Facteurs qui influent sur l'absorption du calcium - La vie 2021 », *Blog be healthy*. <https://fr.blogbehealthy.com/factors-that-affect-calcium-absorption-20687> (consulté le mai 19, 2021).
- [53] « L'absorption du calcium appartenance ethnique
- [54] « DEBRY G. : Lait, nutrition et santé. Paris : Lavoisier-Tec et Doc, 2007, 566p.
- [55] « ZITTERMANN A., BOCK P., DRUMMER C. et al. : Lactose does not enhance calcium bioavailability in lactose-tolerant, healthy adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71, 931-6.
- [56] « TOBA Y., TAKADA Y., TANAKA M. et al. : Comparaison of the effects of milk components and calcium source on calcium bioavailability in growing male rats. *Nutrition Research*, 1999, 19(3), 449-459
- [57] « DE LA FUENTEA M.A., MONTES F., GUERRERO G. et al. : Total and soluble contents of calcium, magnesium, phosphorus and zinc in yoghurts. *Food Chemistry*, 2003, 80, 573-578.
- [58] « ROZENBERG., BODY J-J., BRUYERE O., et al. : Effects of Dairy Products Consumption on Health: Benefits and Beliefs - A Commentary from the Belgian Bone Club and the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases. *Calcif Tissue Int.*, 2016, 98, 16-17.
- [59] « [COXAM V 2008 : Nutrition et ostéoporose, Cah, Nutr, Diét, Vol 43, N°2, p 72 – 76]
- [60] « LABARTH M.C 2005. Nutrition pratique. Toulouse : Groupe liaison p117
- [61] « Basics in clinical nutrition : Water and electrolytes in health and diseases. e-SPEN, the European e-Journal of clinical Nutrition and Metabolism, Vol 3, N°6, p e-259 e266.]
- [62] « CLIFFORD O., CHIKA O., JUDE I., TOCHI E. : Use of Seed Sprouting in Modification of Food Nutrients and Pasting Profile of Tropical Legume Flours. *Nigerian Food Journal NIFOJ.*, 2014, 32(1), 117-125.
- [63] « BOUTINGUIZA M., POU J., COMESAÑA R. et al. : Biological hydroxyapatite obtained from fish bones. *Materials Science and Engineering*, 2012, 32, 478-486. [486.&aq=chrome..69i57.3878j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://doi.org/10.1016/j.mse.2012.05.001) (consulté le mai 20, 2021).

- [64] « ABDEL-MOEMIN A.R. : Healthy cookies from cooked fish bones. Food Bioscience, 2015, 12, 114–121
- [65] « GUILLEMANT S. : Consommation d'eau et apports calciques. NAFAS Pratique, 2001, 4, 11-18
- [66] « CONSTANT F., HAWILI N., Les eaux embouteillées. Cahier de nutrition et diététique, 2011, 46, 40-50
- [67] « HEANEY R.P. : Absorbability and utility of calcium in mineral waters. Am J Clin Nutr, 2006, 84, 371-4
- [68] « REVELESENS : Le lithothamne [en ligne]. Disponible sur : <http://www.naturemania.com/bioproducts/lithothamne.html> (consulté le 08/11/16)
- [69] « FARDELLONE P. : Calcium, magnésium et eaux minérales naturelles. Cahier de nutrition et de diététique, 2015, 50, 22-29.
- [70] « LANOU A.J. : Should dairy be recommended as part of a healthy vegetarian diet? Counterpoint. Am J Clin Nutr., 2009 ; 89, 1-5
- [71] « VATANPARAST H., A-BAILEY D., G-BAXTER-JONES A.D., J-WHITING S. : Calcium requirements for bone growth in Canadian boys and girls during adolescence. British Journal of Nutrition, 2010, 103, 575–580
- [72] « AFSSA. : Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation des teneurs en vitamines et minéraux des denrées enrichies et des compléments alimentaires: synthèse. Saisine n°2007-SA-0315, 3 juillet 2009, 38p.
- [73] « DESSEN-MUGNIOT M. : Adjonction de vitamines aux denrées alimentaires et modalités de communication. OCL-Journal, 2011, 18(2), 99-103.
- [74] « AFSSA. : Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation de l'enrichissement en calcium de trois boissons au soja à la teneur de 120 mg de calcium pour 100 mL. Saisine n° 2001-SA-0006, 16 avril 2002, 1-2.
- [75] « VEENA H., EKBOTE M.S.C., ANURADHA V. et al. : Calcium bioavailability from a fortified cereal-legume snack (laddoo). Nutrition, 2011, 27, 761-765.
- [76] « STRAUB D. A. : Calcium Supplementation in Clinical Practice: A Review of Forms, Doses, and Indications. Nutrition in Clinical, 2007, 22, 286-296. [296.&aq=chrome..69i57.3102j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://doi.org/10.1016/j.nuc.2007.05.006) (consulté le mai 21, 2021).
- [77] « VANRULLEN I. : Synthèse du rapport sur l'enrichissement des aliments courants en vitamines et minéraux : quels intérêts, quels risques ? AFSSA. Unité d'évaluation de la nutrition et des risques nutritionnels, 2003, 6p

- [78] « HEANEY R.P., DOWELL M.S., RAFFERTY K., BIERMAN J. : Bioavailability of the calcium in fortified imitation milk with some observations on method. *Am J Clin Nutr.*, 2000, 71, 116-119.
- [79] « GUY-GRAND B. : Apports calciques et prévention. *Cahier de nutrition et diététique*, 2012, 47, 157-158.
158.&aqs=chrome..69i57.4238j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (consulté le juill. 04, 2021).
- [80] « MORIN. M.C. : Prise en soin diététique de l'intolérant au lactose : quand et comment ? *Information Diététique*, 2015, 3, 20-30.
30.&aqs=chrome..69i57.1596j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (consulté le juill. 04, 2021).
- [81] « LAVILLE M. : Lait, produits laitiers, calcium et poids. *Cahier de Nutrition et Diététique*, 2005, 40(1), 35-40. -
- [82] « MARTEAU A., MARTEAU P.H. : Entre intolérance au lactose et maldigestion. *Cahier de Nutrition et Diététique*, 2005, 40(1), 20-23.
- [83] « BERKANE N., UZAN S. : Supplémentation de la femme enceinte, *J Gynecol Obstet Biol Reprod.*, 2004, 33(S1), 33-36.
- [84] « LECERF J.M.« Caractéristiques nutritionnelles de l'alimentation végétarienne »*Méd. Nutr.*, 2003, 39, 4 : p158-163]
- [85]. « [Delphine SOULARD, RÉGIMES VÉGÉTARIENS ET VÉGÉTALIENS : Risques et bienfaits pour la santé ; Thèse, avril 2009]
- [86] « CERIN : Les dossiers : Manger végétarien. Des carences en vitamines et minéraux sont-elles à craindre chez le végétarien ? [en ligne] Cerin, la base de connaissances nutritionnelles des professionnels de santé. Disponible sur : <http://www.cerin.org/feuilleter/des-carences-en-vitamines-etmineraux-sont-elles-a-craindre-chez-le-vegetarien.html> (consulté le 13/12/16).
- [87] « L TUCKER K.L. : Vegetarian diets and bone status. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2015, 100, S329-S335.
- [88] « GALANTIER M., BERNARD B. : En pratique : connaissance et place du lait et des produits laitiers dans une alimentation équilibrée. *Cahier de Nutrition et Diététique*, 2005, 40(1), 57-63.
- [89] « TOURNIAN P. : Végétalisme chez l'enfant : une véritable maltraitance nutritionnelle. *Cholé- doc*, 2016, 152, 1-6.

- [90] « LARSSON C.L., JOHANSSON G.K. : Dietary intake and nutritional status of young vegans and omnivores in Sweden. *Am J Clin Nutr.*, 2002, 76, 100-106.
106.&aqs=chrome..69i57.3572j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (consulté le mai 21, 2021).
- [91] « HO-PHAM L.T., NGUYEN N.D., NGUYEN T.V. : Effect of vegetarian diets on bone mineral density: a Bayesian meta-analysis. *Am J Clin Nutr.*, 2009, 90, 943-950
- [92] « [HAOUICHAT.C, Prévalence de l'ostéoporose post-ménopausique dans la localité de Douéra, Thèse : p97].
- [93] « [Profil Nutritionnel de l'Algérie – Division de l'Alimentation et de la Nutrition, FAO, 2005]
- [94] « [Berga SL, Stress and ovarian function, *Am J Sports ; Med* 1996 ; 24 Suppl 6 : S36-7]
- [95] « [Laatar A, Kerkeni S, Kassab S, et al. La ration calcique chez les femmes tunisiennes : à propos de l'étude PODIT. *Rev Rhum* 2004;71:979].
- [96] « [PNNS. : Programme national nutrition santé. Axe 1, Sous-objectif général 3-4 : augmenter les apports en calcium dans les groupes à risque, 2011-2015, 21-22.]
- [97] « [Lefauveau P, Hacene A, Cormier J, Grados F, Clavel-Refregiers G, Fardellone P. Etude de la ration calcique quotidienne des jeunes femmes de la région Picardie. *Me*.29, Décembre 2005, paris, congrès français de rhumatologie]
- [98] « (CONSTANT F., HAWILI N., Les eaux embouteillées. *Cahier de nutrition et diététique*, 2011, 46, 40-50.).
- [99] « (JOURDAIN-MENNINGER et coll., 2010).
- [100] « (Yukawa et al, 2004; Scalbert et al, 2000).

ANNEXES

ANNEXE 01 : auto-questionnaire de FARDELLONE

Evaluation de l'apport calcique journalier. Questionnaire Patient

Nom :

Prénom :

Date de naissance :

Ce questionnaire a pour but d'estimer la quantité de calcium apportée par l'alimentation.
Veuillez inscrire vos réponses dans les cases réservées à cet effet et ne rien inscrire dans la case blanche.

1. Buvez-vous du lait tous les jours ?			
Si oui, combien en buvez-vous par jour ?	nombre de verres	<input type="text"/>	X 120 =
	nombre de tasses	<input type="text"/>	X 120 =
	nombre de bols	<input type="text"/>	X 360 =
Si non, combien en buvez-vous par semaine ?			
	nombre de verres	<input type="text"/>	X 17 =
	nombre de tasses	<input type="text"/>	X 17 =
	nombre de bols	<input type="text"/>	X 51 =
2. Mangez-vous des yaourts ou des crèmes desserts ?			
Si oui, combien par semaine ?	<input type="text"/>		X 21 =
3. Mangez-vous du fromage blanc ? si oui :			
Combien de pots de 100 g par semaine ?	<input type="text"/>		X 14 =
Combien de pots de 500 g par semaine ?	<input type="text"/>		X 68 =
Combien de pots de 1 kg par semaine ?	<input type="text"/>		X 136 =
4. Mangez-vous des petits suisses ? Si oui :			
Combien de petits modèles par semaine ?	<input type="text"/>		X 4 =
Combien de grands modèles par semaine ?	<input type="text"/>		X 8 =
5. Mangez-vous du gruyère, édam, gouda ou un autre fromage à pâte cuite ?			
Si oui, combien de fois en mangez-vous par semaine ?	<input type="text"/>		X 19 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/>	moyennes ^b <input type="checkbox"/>	grosses ^c <input type="checkbox"/>	X 38 ^b =
			X 56 ^c =
6. Mangez-vous du camembert, brie, chèvre ou autre fromage à pâte molle ?			
Si oui, combien de fois en mangez-vous par semaine ?	<input type="text"/>		X 9 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/>	moyennes ^b <input type="checkbox"/>	grosses ^c <input type="checkbox"/>	X 17 ^b =
			X 26 ^c =
7. Mangez-vous de la viande (charcuterie comprise) ou du poisson tous les jours ?			
Si oui, combien de fois en mangez-vous par jour ?	<input type="text"/>		X 7 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/>	moyennes ^b <input type="checkbox"/>	grosses ^c <input type="checkbox"/>	X 15 ^b =
			X 22 ^c =
8. Combien d'œufs mangez-vous en moyenne par semaine ?		<input type="text"/>	X 4 =

9. Combien de fois mangez-vous des pommes de terre (vapeur, à l'eau...) par semaine ?	<input type="text"/>	X 1,5 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/> moyennes ^b <input type="checkbox"/> grosses ^c <input type="checkbox"/>		X 3 ^b =
		X 4 ^c =
10. Combien de fois mangez-vous des frites par semaine ?	<input type="text"/>	X 7 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/> moyennes ^b <input type="checkbox"/> grosses ^c <input type="checkbox"/>		X 14 ^b =
		X 21 ^c =
11. Combien de fois mangez-vous des pâtes ou de la semoule par semaine ?	<input type="text"/>	X 0,7 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/> moyennes ^b <input type="checkbox"/> grosses ^c <input type="checkbox"/>		X 1,4 ^b =
		X 2 ^c =
12. Combien de fois mangez-vous des légumes secs (lentilles, haricots secs, pois chiches...) par semaine ?	<input type="text"/>	X 4 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/> moyennes ^b <input type="checkbox"/> grosses ^c <input type="checkbox"/>		X 8 ^b =
		X 11 ^c =
13. Combien de fois mangez-vous des légumes verts (potage compris) par semaine ?	<input type="text"/>	X 7 ^a =
vos portions sont-elles : petites ^a <input type="checkbox"/> moyennes ^b <input type="checkbox"/> grosses ^c <input type="checkbox"/>		X 13 ^b =
		X 20 ^c =
14. Combien mangez-vous de pain par jour ?		
ficelles	<input type="text"/>	X 25 =
baguettes	<input type="text"/>	X 20 =
biscottes	<input type="text"/>	X 4 =
15. Combien mangez-vous de fruits par semaine ?	<input type="text"/>	X 4 =
16. Mangez-vous du chocolat au lait (ou blanc) ?		
si oui, combien en mangez-vous par semaine ?		
nombre de barres par semaine :	<input type="text"/>	X 6 =
17. Mangez-vous du chocolat noir ?		
si oui, combien en mangez-vous par semaine ?		
nombre de barres par semaine :	<input type="text"/>	X 2 =
18. Combien buvez-vous d' eau du robinet par jour ?		
nombre de verre par jour :	<input type="text"/>	X 9 =
19. Buvez-vous de l' eau minérale ?		
Si oui, combien de verres buvez-vous par jour ?		
Benharoun	<input type="text"/>	X 41 =
Mouzaia	<input type="text"/>	X 13 =
Guedila	<input type="text"/>	X 9 =
Saïda	<input type="text"/>	X 6 =
Ifri	<input type="text"/>	X 7 =
Lalla Khadidja	<input type="text"/>	X 5 =
El Golia	<input type="text"/>	X 2 =
Autre	<input type="text"/>	X 10 =
20. Buvez-vous du vin, bière, cidre ou jus de fruits ?		
Si oui, nombre de verres par jour :	<input type="text"/>	X 7 =
<u>Apport calcique journalier (mg/jour), TOTAL :</u>		<input type="text"/>

ANNEXE 02 : la version arabe de l'auto-questionnaire de FARDELLONE

évaluation de l'apport calcique Journalier (تقدير كمية الكالسيوم المتناولة مع الغذاء اليومي)

أخي/أختي الكريم(ة) تحية طيبة و بعد

في سياق تحضير لي أطروحة الدكتوراه في الصيدلة بعنوان <<مصادر الكالسيوم الغذائية و التوافر البيولوجي >> ... أرجو من حضرتك التلطف والاجابة على الإستبيان التالي بكل موضوعية و شفافية لأغراض التحليل الإحصائي حيث أن المعلومات ستعامل في سرية تامة و أمانة لأجل أغراض البحث العلمي شاكرة لكم حسن تعاونكم و ممتنة لتكرمكم بدقائق من وقتكم الثمين

***Obligatoire**

ملاحظة (remarque)

يمكنك الاجابة بلفتك الدارجة

1. (اللقب Nom)

*

2. Prénom (الإسم)

*

3. wilaya- الولاية

4. date de naissance ou l'Age *

يجب ان ينحصر من 20 الى 60 سنة

5. poids kg (الوزن) *

6. sexe (الجنس) *

Une seule réponse possible.

Masculin

féminin

7. numéro de Téléphone (رقم الهاتف)

8. هل تعاني من مرض على مستوى جهازك الهضمي *

Une seule réponse possible.

Oui

non

9. هل تتناول دواء يحتوي على كالسيوم *

Une seule réponse possible.

Oui

non

10. (هل انقطعت عنك الدورة الشهرية ؟) خاص للنساء

Une seule réponse possible.

Oui

non

11. (هل انت حامل او مرضعة) خاص للنساء

Plusieurs réponses possibles.

- حامل
 مرضعة
 لاشيء

12. هل تشرب الحليب يوميا ؟ ان كان نعم ، كم تشرب في اليوم من (كأس او فنجان) و إن كان لا ، كم تشرب في الاسبوع من (كأس او فنجان)

13. إن كان نعم ، كم علبه في الاسبوع yaourt او crème disert هل تتناول

14. هل تتناول الجبن الابيض ؟ ان كان نعم ، كم تتناول من حبة او غرام في الاسبوع

15. او جبن ماعز ؟ ان كان نعم ، كم من مرة في الاسبوع و هل قطعك كبيرة ، camembert هل تتناول جبن الكامومبير صغيرة ، متوسطة

16. كم تتناول من حبة بيض في الاسبوع ؟

17. ان كان نعم كم من مرة في الاسبوع و هل قطعك (كبيرة -صغيرة- gruyère -édam-gouda هل تتناول جبن (متوسطة)

18. (هل تتناول اللحوم او الاسماك يوميا ؟ ان كان نعم ،كم من مرة في اليوم و هل الكمية (صغيرة-كبيرة-متوسطة

19. (كم من مرة تتناول مادة البطاطا في الاسبوع ؟ و هل الكمية (صغيرة-كبيرة-متوسطة

20. (هل تتناول البطاطس المقلية ؟ ان كان نعم ، كم من مرة في الاسبوع و هل الكمية (كبيرة-صغيرة-متوسطة

21. (هل تتناول العجائن ؟ ان كان نعم ، كم من مرة في الاسبوع و هل الكمية (كبيرة-صغيرة-متوسطة

22. هل تتناول البقول الجافة (فاصوليا-عدس-حمص) ؟ ان كان نعم ، من من مرة في الاسبوع و هل الكمية (كبيرة- صغيرة-متوسطة

23. هل تتناول مادة الخبز (خبز طويل - بسكويت) ؟ كم قطعة في اليوم

24. كم من مرة تتناول الفواكه (كل الانواع) في الاسبوع ؟

Une seule réponse possible.

0 1 2 3 4 5 6 7

25. كم من مرة تتناول الخضر الطازجة في الاسبوع ؟

Une seule réponse possible.

0	1	2	3	4	5	6	7
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. هل تتناول الشوكولاتة السوداء ؟ كم قطعة في الاسبوع

27. هل تشرب المياه المعدنية او مياه الحنفية ؟

Une seule réponse possible.

مياه الحنفية

مياه معدنية

28. في حالة مياه معدنية, حدد اي نوع تشربه من القائمة

Une seule réponse possible.

Benharoun	mouzaia	Guedila	Saida	Ifri	lala khedija	Golia	autre
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29. كم تشرب من كأس ماء في اليوم (او لتر) ؟

30 حدد ما تتناوله من القائمة التالية و متى تتناوله

هذه بعض الاطعمة التي تؤثر في امتصاص الكالسيوم

Une seule réponse possible par ligne.

	بعد 3 ساعات من الوجبة	(اثناء 3 ساعات من الوجبة (غداء-عشاء)
سبانخ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
شمندر (Betterave)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
قهوة	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
شاي	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

31. كم مرة في اليوم تتناول كل عنصر

Une seule réponse possible par ligne.

	1	2	3	4	5
سبنخ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
شمندر	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
قهوة	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
شاي					

Résumé

Le présent travail a ciblé un indicateur majeur de la santé humaine « le calcium », cet élément qui joue un rôle important dans la plupart des fonctions physiologiques, est largement répandu dans l'alimentation; cependant, son efficacité biologique est très variable ce qui nous a amenés à étudier les facteurs influençant sa biodisponibilité.

En effet, cette dernière ne se limite pas à l'aspect quantitatif apporté par les aliments, mais dépend des caractéristiques physicochimiques et du régime dans lequel l'aliment concerné est apporté, le statut calcique antérieur et le profil hormonal en cours.

A l'inverse des aliments d'origine végétale, le lait et les produits laitiers constituent la source la plus rentable du calcium alimentaire du fait de leur biodisponibilité optimale et de leur effet repas remarquable.

L'aspect pratique de notre mémoire a visé la contribution des différentes sources alimentaires dans l'apport calcique journalier et la fréquence de consommation de quelques aliments riches en facteurs limitant la biodisponibilité calcique (betterave, épinard, café et thé); dans cette optique, nous avons adopté l'auto-questionnaire de fréquence de Fardellone comme modèle d'interrogatoire.

Notre enquête alimentaire a concerné une population de 100 sujets des deux sexes âgés entre 20 et 60 ans, appartenant à trois régions : Ain Defla, Chlef et Médéa.

Les résultats obtenus sont globalement comparables à ceux observés par d'autres enquêtes ayant les mêmes objectifs; ils montrent une insuffisance d'apport calcique plus remarquable chez les femmes âgées de plus de 40 ans.

Cette insuffisance est en grande partie secondaire à un apport insuffisant en lait et produits laitiers. Ces résultats sont encore plus marqués par la consommation d'aliments renfermant du calcium de mauvaise biodisponibilité chez plus de 50 % de la population étudiée.

La triade : ration calcique insuffisante - faible apport en produits laitiers et une consommation accrue d'aliments riches en oxalate constituent des facteurs favorisant de la maladie d'ostéoporose et de ses complications fracturaires graves d'où l'intérêt d'instaurer en urgence une stratégie de prévention basée sur une sensibilisation et une éducation nutritionnelle généralisée.

Mots clés : calcium – produits laitiers – apports nutritionnels conseillés - absorbabilité - biodisponibilité – ostéoporose – Fardellone.

