

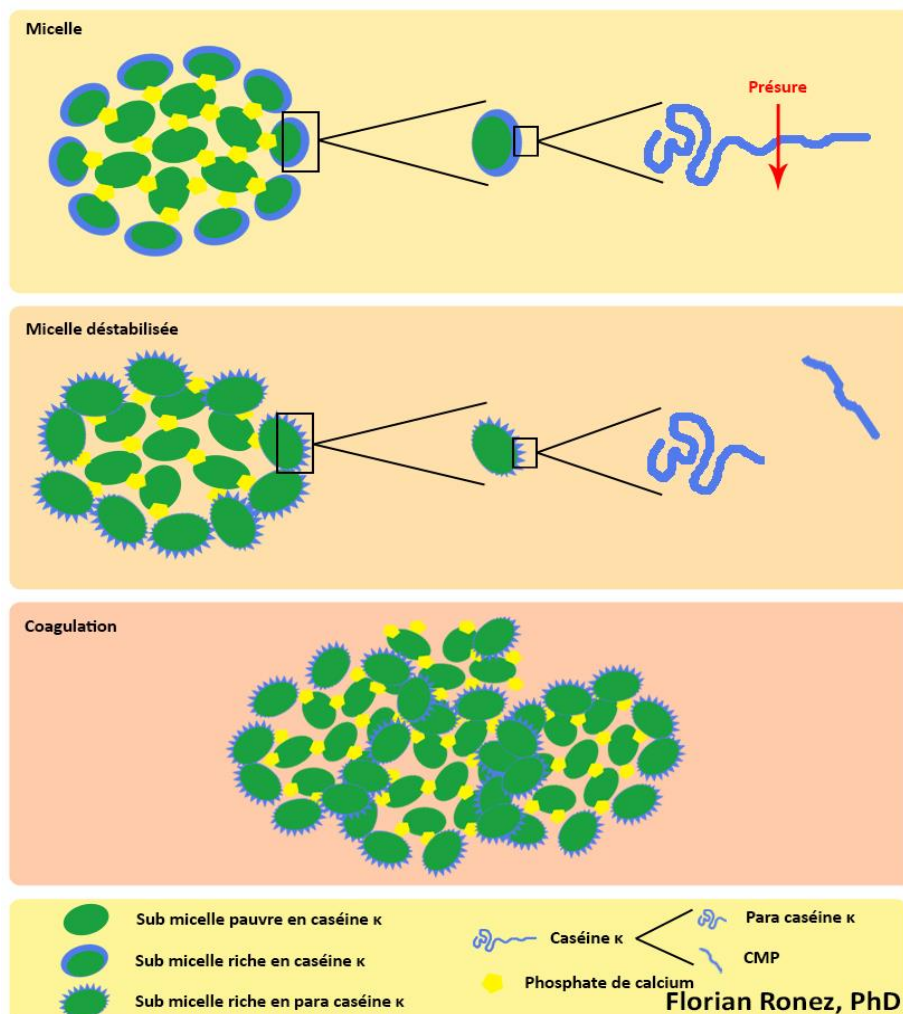
# Coagulation enzymatique

<https://www.youlab.fr/blog/ressources-scientifiques-bibliographie/le-lait-et-sa-coagulation/>

© Florian Ronez, thèse de doctorat, 2012. (**extraits**)

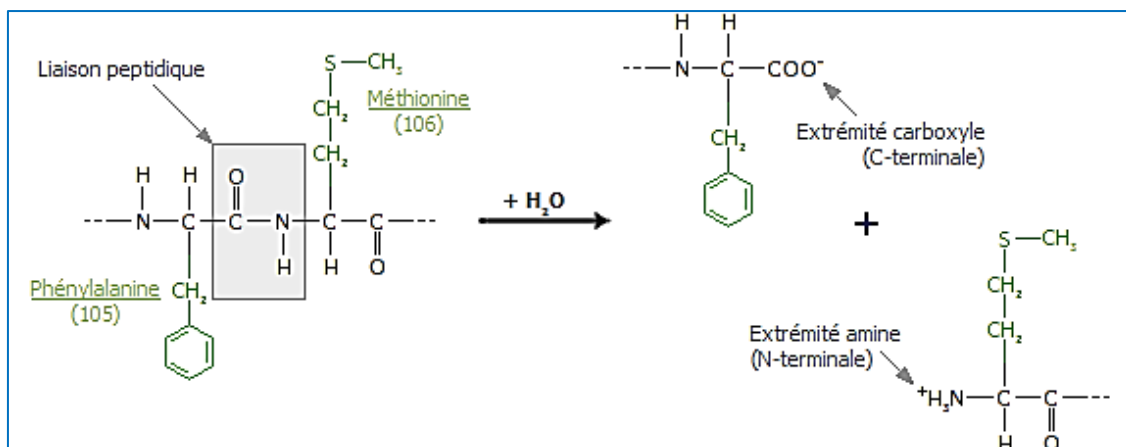
**Le mécanisme de coagulation.** Le mécanisme de la coagulation enzymatique est décrit en trois phases (Guthy & Novak, 1977; Green & Morant, 1981).

La **phase primaire** est la phase enzymatique. Le mécanisme d'action des enzymes coagulantes lors de la coagulation du lait est également bien connu (Walstra, 1990). Le caséinomacropeptide, qui constitue un fragment hydrophile et chargé de la caséine  $\kappa$ , est hydrolysé par l'action enzymatique de la présure et est éliminé dans le lactosérum. Le fragment de caséine restant est appelé *para* caséine  $\kappa$  et possède des propriétés hydrophobes. Dans les premières minutes suivant l'apport de l'enzyme coagulante dans le lait, une diminution de la viscosité du lait apparaît ; elle s'explique par la diminution de la dimension moyenne des micelles suite à leur hydrolyse. La **phase secondaire** est le début du rapprochement des micelles. Cette phase démarre lorsque environ 85 à 90% des caséines  $\kappa$  sont hydrolysées. La *para* caséine  $\kappa$  va alors s'agréger aux caséines hydrophobes  $\alpha_{s1}$  et  $\alpha_{s2}$ . Les caséines  $\kappa$  formant le manteau hydrophile délimitant les micelles voient alors leur hydrophobicité augmenter. Les micelles de caséine perdent alors leur affinité pour la phase aqueuse et vont se rapprocher et s'agréger entre elles sous l'effet des interactions hydrophobes, faisant ainsi cailler le lait. Cette phase correspond à la floculation proprement dite. C'est un phénomène dynamique qui se traduit par une modification importante des propriétés physiques du lait. Lorsque l'agrégation des micelles prend le pas sur la réaction d'hydrolyse, la taille des agrégats augmente rapidement et la viscosité s'accroît. Cela conduit à la formation de colloïdes de tailles importantes qui se rejoignent pour former une structure continue appelée le gel laitier. La **phase tertiaire** est ce que l'on appelle la phase de réticulation du gel. Celui-ci devient de plus en plus organisé et structuré. Au niveau microscopique, on observe un accroissement des liaisons entre les micelles modifiées, principalement des interactions hydrophobes et électrostatiques, ainsi que la formation des ponts phosphocalciques. Elle correspond au niveau macroscopique au durcissement du gel.



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation\\_du\\_lait](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation_du_lait)

Il existe différentes enzymes capables d'hydrolyser la liaison Phe(105)-Met(106) de la  $\kappa$ -caséine. Cette hydrolyse coupe la molécule en deux. On obtient d'une part le CMP (Caseino-Macro-Peptide) hydrophile et soluble, diffusé à l'extérieur de la micelle de caséines ; d'autre part le PCK (Para-Caséine-Kappa) hydrophobe, qui lui reste à l'intérieur. La chymosine est une hydrolase permettant cette coupure protéolytique. La rapidité du déroulement dépend du pH et de la température. L'action optimale de la présure est à 40 °C et à pH 4,6.



<https://fromagedechèvre.weebly.com/iii-le-rocirle-de-la-preacutesure.html>

La présure est constituée d'enzymes actives appelées chymosine qui cassent la structure du lait et le font cailler. La présure contient aussi un autre type d'enzyme: la pepsine.

La chymosine est une enzyme qui hydrolyse la liaison Phe<sub>105</sub>—Met<sub>106</sub> de la caséine  $\kappa$ . Suite à cette hydrolyse, la caséinomacropeptide, qui constitue le fragment hydrophile de la caséine  $\kappa$ , est éliminée. Le fragment de caséine  $\kappa$  restant, le para caséine  $\kappa$ , possède des propriétés hydrophobes. Lorsque environ 85 à 90% des caséines  $\kappa$  sont hydrolysées, les micelles de caséine commencent à se rapprocher. Elles s'éloignent alors de la phase aqueuse du lait et se rapprochent entre elles (sous l'effet d'interactions hydrophobes), permettant la coagulation du lait. Le caillé va alors se structurer et devenir de plus en plus organisé, il va durcir.

$$[\dots]$$

[https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4 II f 3.html](https://biochim-agro.univ-lille.fr/proteines/co/ch4%20II%20f%203.html)

1	Gln Glu Gln Asn Gln Glu <b>Pro</b> Ile Arg <b>Cys</b> Glu Lys Asp Glu	15
16	Arg Phe Phe Ser Asp Lys Ile Ala Lys Tyr Ile <b>Pro</b> Ile Gln Tyr	30
31	Val Leu Ser Arg Tyr <b>Pro</b> Ser Tyr Gly Leu Asn Tyr Tyr Gln Gln	45
46	Lys <b>Pro</b> Val Ala Leu Ile Asn Asn Gln Phe Leu <b>Pro</b> Tyr <b>Pro</b> Tyr	60
61	Tyr Ala Lys <b>Pro</b> Ala Ala Val Arg Ser <b>Pro</b> Ala Gln Ile Leu Gln	75
76	Trp Gln Val Leu Ser Asn Thr Val <b>Pro</b> Ala Lys Ser <b>Cys</b> Gln Ala	90
91	Gln <b>Pro</b> Thr Thr Met Ala Arg His <b>Pro</b> His Pro His Leu Ser <b>Phe</b>	105
106	<b>Met</b> Ala Ile <b>Pro Pro</b> Lys Lys Asn Gln Asp Lys Thr Glu Ile <b>Pro</b>	120
121	<b>Thr</b> Ile Asn Thr Ile Ala Ser Gly Glu <b>Pro Thr</b> Ser <b>Thr Pro Thr</b>	135
136	Thr Glu Ala Val Glu Ser <b>Thr</b> Val Ala Thr Leu Glu Asp <b>Ser Pro</b>	150
151	Glu Val Ile Glu Ser <b>Pro Pro</b> Glu Ile Asn Thr Val Gln Val <b>Thr</b>	165
166	Ser Thr Ala Val	