



HAL
open science

Suivi et intérêt de la mesure du potentiel d'oxydo-réduction en transformation laitière

Eric Beuvier, Benoit Paysant

► **To cite this version:**

Eric Beuvier, Benoit Paysant. Suivi et intérêt de la mesure du potentiel d'oxydo-réduction en transformation laitière. *Revue des ENIL*, 2017, 346 (6), pp.14-18. hal-01637743

HAL Id: hal-01637743

<https://hal.science/hal-01637743>

Submitted on 17 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

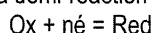
SUIVI ET INTÉRÊT DE LA MESURE DU POTENTIEL D'OXYDO-RÉDUCTION EN TRANSFORMATION LAITIÈRE

Eric BEUVIER¹, URTAL, INRA, Poligny & Benoit PAYSANT², ACTALIA Produits laitiers, Poligny
^{1,2} Partenaires de l'Unité Mixte Technologique « FROM'CAPT – Outils de mesure pour caractériser et piloter la transformation fromagère »

INTRODUCTION

Le potentiel d'oxydoréduction, ou Eh, est une grandeur thermodynamique qui peut être définie comme l'aptitude d'un système à capter ou à céder des électrons :

Soit la demi-réaction suivante :



Au même titre que le pH, le Eh est un paramètre intrinsèque à tous les milieux, dès lors qu'ils contiennent une molécule qui peut passer d'un état d'oxydation à un autre. Alors que le pH en détermine les caractéristiques acido-basiques, le Eh en détermine les propriétés oxydoréductrices (Aubert et al., 2002) :

- Un milieu oxydant est accepteur d'électrons : Eh positif
- Un milieu réducteur est donneur d'électrons : Eh négatif

Alors que le potentiel d'oxydoréduction peut affecter la croissance de microflores d'intérêt technologique, d'altération et potentiellement pathogènes (Beresford et al., 2001 ; Cachon et al., 2015), et la saveur des fromages (Kristoffersen, 1985), il existe peu d'études aujourd'hui qui prennent en compte ce paramètre.

MESURE ET SUIVI DU POTENTIEL REDOX DANS LES MATRICES LAITIÈRES

Mesure et outils/sondes

Le potentiel d'oxydoréduction exprimé en Volts (V) ou millivolts (mV), est donné par l'équation de Nernst associant un Eh à un couple rédox (Ox/Red) :

$$Eh = E0 + 2,3 \frac{RT}{nF} \log \left(\frac{[Ox]}{[Red]} \right)$$

E0 : Potentiel d'oxydoréduction du couple redox (mV) dans des conditions standards (P = 1 atm, T = 298 K, pH = 0, [Ox] = [Red] = mol.L⁻¹).

R : Constante des gaz parfaits (8.31 J.K⁻¹.mol⁻¹)

T : Température absolue (K)

n : Nombre d'électrons mis en jeu

F : Constante de Faraday (96500 C.mol⁻¹)

[Ox] et [Red] : Concentration des formes oxydées et réduites de l'espèce (mol.L⁻¹)

Le Eh est exprimé par rapport à une référence qui est l'électrode normale à hydrogène. La mesure met en œuvre deux demi-piles : l'une de ces piles doit mettre en œuvre le couple de référence H⁺/H₂ et l'autre le système dont on veut mesurer le potentiel. Les deux demi-piles sont en fait constituées chacune d'un soluté et d'une électrode ; les solutés sont reliés entre eux par un pont salin qui leur permet d'échanger des ions et les électrodes sont reliées entre elles par un circuit électrique sur lequel est placé un voltmètre.

L'électrode de référence à hydrogène est une électrode gaz ; pour des raisons pratiques et techniques, elle n'est pas utilisée. Cependant, la valeur du Eh doit toujours être exprimée par rapport à l'électrode à hydrogène. Dans le domaine alimentaire, les électrodes de référence utilisées pour la mesure du Eh sont identiques à celles utilisées comme référence dans la mesure du pH, il s'agit de l'électrode Argent/Chlorure et l'électrode au Calomel. Ces deux électrodes ont un demi-potentiel supérieur à celui de l'électrode à hydrogène.

Le Eh mesuré par ces électrodes (Em) devra donc toujours être corrigé pour le rapporter à l'électrode normale à hydrogène. Pour cela, on rajoute le potentiel standard de la référence utilisée dans la pratique (Er) au potentiel mesuré Em.

$$Eh = Em + Er$$

Eh : Potentiel redox par rapport à l'électrode à hydrogène ;

Em : Potentiel redox mesuré par rapport à l'électrode de référence ;

Er : Potentiel redox standard de l'électrode de référence.

Le potentiel Er est fonction de la température de mesure, du type d'électrode de référence utilisée, de la nature et de la concentration de la solution de remplissage (Galster 1991, 2000).

L'électrode de référence Ag/AgCl est la plus couramment utilisée car elle est dépourvue de métaux lourds. Son potentiel standard (Er) peut être calculé par l'équation suivante (pour Ag/AgCl (3M KCl)) :

$$Er \text{ (mV)} = 207 + 0.8 \times (25 - T)$$

t : température en °C

L'électrode de mesure agit comme un accepteur ou un donneur d'électrons. Le métal de l'électrode est constitué le plus souvent d'or ou de platine et peut être de formes différentes (pointe, disque, anneau). Ces deux métaux présentent des potentiels standards suffisamment élevés pour être inertes dans les milieux biologiques.

Dans les milieux biologiques, beaucoup de réactions d'oxydoréduction font intervenir des protons. Il est donc obligatoire de prendre en compte le pH pour exprimer le potentiel redox. Chaque mesure du Eh doit être accompagnée d'une mesure du pH. Le concept Eh7 ou valeur du Eh à pH 7 a été introduit pour éliminer l'influence du pH sur la valeur du Eh.

La valeur Eh7 est obtenue avec le calcul suivant (Leistner et Mirna, 1959) :

$$Eh7 = Eh - [(7-pH) \times \alpha]$$

Eh7 : Valeur du Eh corrigée à pH 7

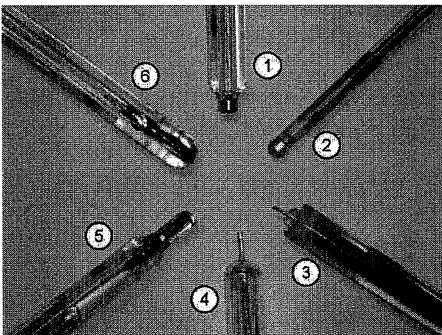
pH : pH de la mesure

α : Coefficient déterminé expérimentalement (mV/unité pH). Ce coefficient est propre à chaque milieu.

Dans un milieu complexe comme le lait, où de nombreux couples redox sont en présence, la relation entre le Eh et le pH doit être déterminée expérimentalement (Jacob, 1970). Dans un lait stérilisé, cette valeur de α varie de 38 (26 °C) à 40 mV (42 °C) (Cachon et al., 2002 ; Abraham et al., 2013).

Dans la pratique, la mesure du potentiel d'oxydoréduction demande une grande rigueur dans la mise en œuvre des électrodes et dans leur entretien, comme décrit récemment par Abraham et al. (2013).

Différentes électrodes sont disponibles dans le commerce comme le montre la figure 1 (Cachon et De Coninck, 2012).



1 : Diamètre de 12 mm, à calotte de platine ;

2 : Diamètre de 6 mm, à calotte de platine ;

3 et 4 : Diamètre de 12 mm, à pointe de platine ;

5 : Diamètre de 12 mm, à anneau de platine

6 : Diamètre 12 mm, à disque de platine.

Les électrodes 5 et 6 sont des capteurs multi-paramètres : redox, pH et température.

Ce sont des électrodes combinées le plus souvent avec un corps en verre, de diamètre entre 6 et 12 mm et de longueurs variables, stérilisables ou non stérilisables.

Elles sont structurées de manière identique aux électrodes pH ; la seule différence provient de l'électrode de mesure car la membrane en verre, utilisée pour le pH est remplacée par un métal pour la mesure du redox. Ces électrodes ont généralement une plage de mesure entre -2000 mV et +2000 mV. Les fabricants d'électrodes proposent aujourd'hui des électrodes combinées redox/pH/température et l'électronique associée ; l'avantage est alors de recueillir 3 signaux différents sur un seul piquage. Ainsi, on garantit une compensation automatique de la température sur la valeur du pH. Il est recommandé, pour ces mesures, l'utilisation de câbles blindés pour éviter toute interférence, notamment dans les environnements de production.

Potentiel d'oxydo-réduction dans les matrices laitières

Lait

Le Eh du lait est compris généralement entre +200 mV et +350 mV au pH de 6,6-6,7 (McSweeney et al., 2010). Dans le lait cru, le potentiel redox est régi par la quantité d'oxygène dissout, en premier lieu, mais également par un ensemble de molécules naturellement présentes dans le lait telles que l'acide ascorbique, la riboflavine, le fer, le cuivre, les groupements thiols et les composés phénoliques (Walstra et al., 2006).

Produits laitiers transformés

Dans le fromage, le Eh est beaucoup plus bas que dans le lait. Ainsi les valeurs rapportées dans la littérature sont pour le camembert de -259 mV à -350 mV (Aubert et al, 2002) et de -300 mV à -360 mV (Abraham et al., 2007), pour le cheddar de -150 mV à -200 mV (Green et Manning, 1982), de -270 mV (Kristoffersen, 1967) et de -118 mV à -126 mV (Topcu et al., 2008), pour le comté de -156 mV (Aubert et al., 2002), pour l'emmental de -270 mV à -300 mV (Langeveld et Galesloot, 1971).

Dans le cas du cheddar, la stabilisation de la mesure du redox est longue, environ 48 heures, contrairement au camembert, entre 10 minutes et 1 heure (Abraham et al., 2007 ; Topcu et al., 2008).

Cependant selon McSweeney et al. (2010), cette mesure est plus rapide dans le cheddar en introduisant des électrodes miniatures dans le fromage durant le moulage et le pressage.

Dans les yaourts, les valeurs de Eh observées varient de -150mV à -410 mV selon les auteurs (Aubert et al., 2002 ; Dave et Shah, 1997).

Comment moduler le Eh dans les produits laitiers transformés

Quatre méthodes existent pour moduler le Eh dans le domaine laitier et plus généralement alimentaire.

• via les bactéries lactiques :

Au sein de la minifromagerie expérimentale de l'INRA de Poligny, l'évolution du potentiel d'oxydoréduction a été mesurée dans différents types de fromages (figures 2 et 3), issus de technologies différentes, en utilisant divers ferments lactiques, issus de plusieurs fournisseurs (Paysant, 2013).

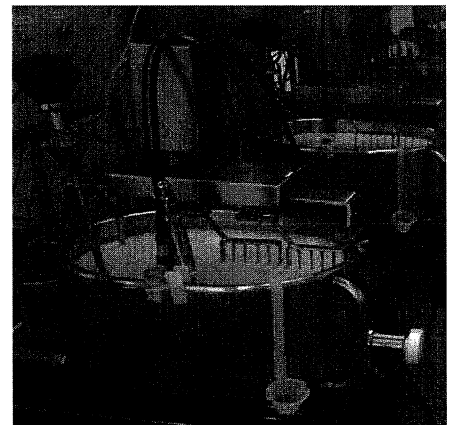


Figure 2 : Suivi du Eh en cuve

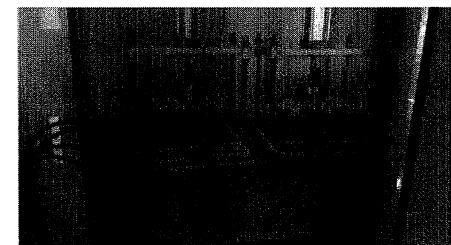


Figure 3 : Suivi du Eh sous presse

Deux exemples de technologies utilisant du lait pasteurisé sont donnés dans cet article (figure 4) :

- fromage à pâte pressée cuite utilisant des ferments lactiques thermophiles (souches de *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus helveticus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*) ;
- fromage à pâte pressée non cuite utilisant des ferments lactiques mésophiles (souches de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* et de *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides*).

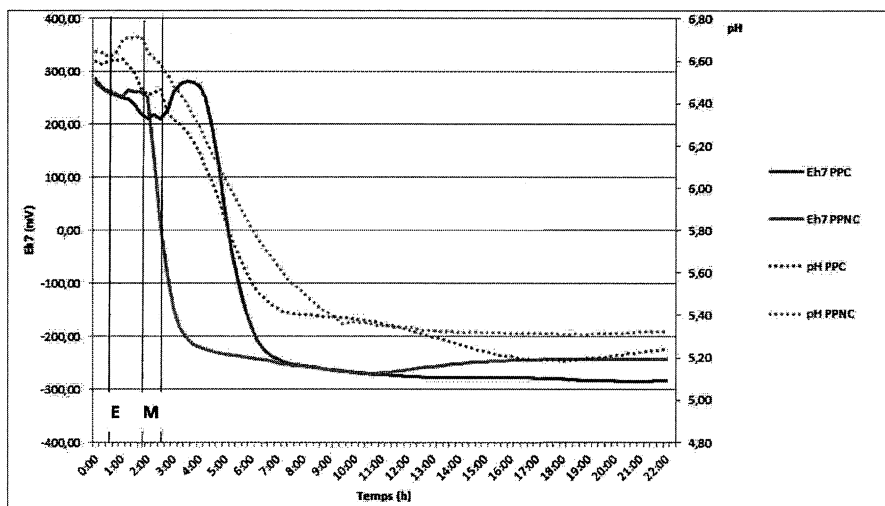


Figure 4 : Evolution du Eh7 et du pH lors de la fabrication d'un fromage à pâte pressée cuite (PPC) et d'un fromage à pâte pressée non cuite (PPNC) ; E = empressurage ; M = Moulage

Les résultats obtenus dans le cas de la fabrication du fromage PPNC étaient attendus, avec l'utilisation de lactocoques très réducteurs en tant que ferments lactiques (Cachon et al., 2002 ; Brasca et al., 2007). Michelon et al (2010) ont montré qu'après la consommation de l'oxygène, les thiols exofaciaux présents à la surface des lactocoques, étaient fortement impliqués dans la réduction du lait. En revanche, les résultats obtenus en technologie PPC n'étaient pas attendus dans la mesure où les bactéries lactiques thermophiles sont connues pour être faiblement réductrices (Cachon et al., 2002 ; Brasca et al, 2007).

• Via les gaz :

L'ajout de gaz, azote ou mélange azote/hydrogène peut être utilisé avantageusement car sans action sur les produits, pour modifier les conditions d'oxydoréduction dans des fromages (Ledon et Ibarra, 2006) ou dans des yaourts (Martin et al., 2010, 2011).

• Via l'ajout de molécules réductrices ou oxydantes :

L'ajout de molécules chimiques réductrices ou oxydantes peut réduire ou augmenter le Eh de façon conséquente. En jouant sur leur concentration, il est possible d'obtenir différents niveaux d'oxydoréduction dans le milieu concerné. Ainsi, Dave et Shah (1997) ont utilisé différentes concentrations de cystéine (de 0 à 500 mg.L⁻¹) et d'acide ascorbique (de 0 à 250 mg.kg⁻¹) pour abaisser le Eh d'un lait (jusqu'à -210/-220

mV et -30/-100 mV, respectivement, pour les concentrations les plus élevées) servant à la fabrication de yaourts.

• Via traitement thermique ou électroréduction.

Lorsqu'un traitement thermique est appliqué au lait avant la transformation fromagère, la valeur du potentiel redox du lait va diminuer dû à une baisse de la teneur en oxygène et à l'apparition de groupements thiols par dénaturation des protéines, ceci en fonction de la sévérité du traitement thermique (McSweeney et al., 2010).

L'électroréduction (traitement physique qui consiste à réduire une solution aqueuse, notamment le lait, en utilisant l'électrolyse) diminue le Eh et la concentration en oxygène dissous dans le lait (Bolduc et al., 2006a). Mais ce procédé requiert une optimisation car le Eh réduit ainsi obtenu n'est pas stable dans le temps (observation d'une remontée du Eh après quelques jours de stockage au froid).

INTÉRÊT DU POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION EN TRANSFORMATION LAITIÈRE

Arômes et texture des produits laitiers

Le contrôle du Eh des fromages est primordial car leurs caractéristiques aromatiques sont étroitement liées à ce paramètre.

Ainsi, il a été montré par Green et Manning (1982) et Kristoffersen (1985) qu'un redox négatif était indispensable au bon développement de la flaveur caractéristique de certains produits laitiers fermentés tels que les fromages via notamment la production de composés thiols. De même, Urbach (1995) rapporte que des fromages type cheddar de bonne qualité sensorielle possèdent un redox négatif et que ce paramètre peut être considéré comme un indicateur de l'établissement des conditions nécessaires à la formation des composés d'arômes.

Par ailleurs, des études ont montré que le Eh pouvait avoir un fort impact sur la formation de la flaveur par les bactéries lactiques en modifiant des voies métaboliques. Kieronczyk et al. (2006) ont par exemple observé que des conditions réductrices (-200mV) stimulaient la production d'acides carboxyliques tels les acides isovalérique, phénylacétique et méthylpropionique contribuant à l'arôme d'un fromage très affiné.

Au contraire, les conditions oxydantes (+300mV) favorisaient la production d'aldéhydes et de composés soufrés volatils responsables d'arômes malté, floral, fruité, amende et chou. La production d'arômes souhaités semblent donc possible par le biais du contrôle du Eh dans le fromage.

Par ailleurs en affinant des fromages sous atmosphère réductrice (ajout d'un mélange azote/hydrogène), Ledon et Ibarra (2006) ont amélioré leurs propriétés sensorielles via notamment une production accrue d'acides gras volatils.

Martin et al. (2011) ont modifié le Eh de yaourts fabriqués avec du lait écrémé grâce à l'utilisation de différents gaz : air, azote, mélange azote/hydrogène. Dans ces conditions, la biosynthèse des arômes par les bactéries lactiques du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) variaient en fonction du Eh du milieu. Ainsi, des conditions oxydantes étaient favorables à la production d'acétaldéhyde, de sulfure de diméthyle, et de dicétones (diacétyl et pentane-2,3-dione), principaux composés volatils odorants du yaourt, ce qui confirme les résultats de Kieronczyk et al. (2006). Le Eh du milieu influence donc la production d'arômes dans le yaourt en modifiant les voies métaboliques de *St. thermophilus* et *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*.

De la même manière, Martin et al. (2010) ont modifié les propriétés rhéologiques de yaourts en les fabriquant dans des conditions gazeuses différentes : air, azote et mélange azote/hydrogène. Ainsi des conditions réductrices obtenues avec le mélange N₂/H₂ donnaient des yaourts ayant une viscosité apparente plus faible et ayant moins d'exsudation de lactosérum, favorisée par une meilleure agrégation des protéines.

Effet protecteur de probiotiques

Ebel et al. (2011) ont montré que des laits fermentés dits probiotiques, fabriqués avec des laits avec ajout d'azote et plus particulièrement avec un mélange azote + hydrogène (Eh = - 300mV), étaient caractérisés par une survie plus importante de *Bifidobacterium bifidum* (+ 1,46 log) durant le stockage au froid par rapport à des laits fermentés fabriqués sans ajout d'azote + hydrogène, ceci sans modifier la survie de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. De même, il a été observé un impact positif d'un Eh négatif sur la viabilité/survie de souches de probiotiques (*Bifidobacteria*) conservés dans du lait pasteurisé (Bolduc et al., 2006b).

Lutte contre les bactéries potentiellement pathogènes

Staphylococcus aureus :

Des effets antagonistes d'une souche de *Lactococcus lactis* étaient observés sur la croissance de *Staphylococcus aureus* dans une matrice fromagère (6h après ensemencement), tout en affectant la production d'entérotoxines. Si la baisse de pH occasionnée par *Lc. lactis* semblait partiellement responsable de ces effets, d'autres facteurs comme le potentiel d'oxydoréduction, seraient impliqués (Cretenet et al., 2011). En effet, les propriétés réductrices de *Lc. lactis* interféraient avec la régulation du système agr (accessory gene regulator) responsable de la production d'entérotoxines chez *S. aureus* (Nouaille et al., 2014). Par ailleurs, il avait été précédemment observé que la production d'entérotoxines par *S. aureus* dans le lait était retardée par diminution du potentiel redox (Lamprell, 2003).

Listeria monocytogenes :

Ignatova et al. (2010) ont montré une influence du potentiel d'oxydoréduction sur le temps de latence de *Listeria monocytogenes* dans des conditions réductrices et à pH 6,0.

CONCLUSION

Le potentiel d'oxydo-réduction est un paramètre physicochimique important qui, avec le pH, la température et l'activité de l'eau détermine les conditions environnementales des produits laitiers transformés. Aujourd'hui, nous disposons d'une procédure de mesure qui permet de mieux appréhender ce paramètre dans les produits laitiers (Abraham et al, 2013), même si des améliorations des sondes de mesure restent encore à apporter. Ainsi l'utilisation d'agents biologiques, biochimiques ou de gaz réducteurs ou oxydants apparaît comme un levier innovant pour contrôler, améliorer la flaveur des produits laitiers transformés ou de réduire, voire d'inhiber la croissance et/ou l'activité de microflores indésirables et ainsi limiter l'emploi de conservateurs en lien avec la demande des consommateurs.

RÉFÉRENCES

Abraham, S., Cachon, R., Colas, B., Feron, G., De Coninck, J., 2007. Eh and pH gradients in Camembert cheese during ripening : Measurements using microelectrodes and correlations with texture. *International Dairy Journal* 17 : 954-960.

Abraham, S., Cachon, R., Jeanson, S., Ebel, B., Michelon, D., Aubert, C., Rojas, C., Feron, G., Beuvier, E., Gervais, P., De Coninck, J., 2013. A procedure for reproducible measurement of redox potential (Eh) in dairy processes. *Dairy Science and Technology* 93 : 675-690.

Aubert, C., Capelle, N., Jeanson, S., Eckert, H., Diviès, C., Cachon, R., 2002. Le potentiel d'oxydoréduction et sa prise en compte dans les procédés d'utilisation des bactéries lactiques. *Science des Aliments* 22 : 177-187.

Beresford, T.P., Fitzsimons, N.A., Brennan, N.M., Cogan, T.M., 2001. Recent advances in cheese microbiology. *International Dairy Journal* 11: 259-274.

Bolduc, M.P., Bazinet, L., Lessard, J., Chapuizet, M.-P., Vuilleumard, J.-C., 2006a. Electrochemical modification of the redox potential of pasteurized milk and its evolution during storage. *Journal of agricultural and food chemistry* 54 : 4651-4657.

Bolduc, M.-P., Raymond, Y., Fustier, P., Champagne, C. P., Vuilleumard, J.-C., 2006b. Sensitivity of bifidobacteria to oxygen and redox potential in non-fermented pasteurized milk. *International Dairy Journal* 16 : 1038-1048.

Brasca, M., Morandi, S., Lodi, R., Tamburini, A., 2007. Redox potential to discriminate among species of lactic acid bacteria. *Journal of Applied Microbiology* 103 : 1516-1524.

Cachon, R., De Coninck, J., 2012. Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) des matrices alimentaires. *Cahiers techniques de l'ingénieur. Base documentaire* : TIB427DUO, n° f4020.

Cachon, R., Jeanson, S., Aldarf, M., Divies, C., 2002. Characterisation of lactic starters based on acidification and reduction activities. *Lait* 82 : 281-288.

Cachon, R., Gavoye, S., Roussel, C., Gaudu, P., Beuvier, E., 2015. Activités réductrices des bactéries lactiques dans les procédés fromagers. *Revue des Industries Alimentaires et Agricoles* novembre-décembre, 30-31.

Cretenet, M., Nouaille, S., Thouin, J., Rault, L., Stenz, L., Francois, P., Hennekinne, J.-A., Piot, M., Maillard, M.B., Fauquant, J., Loubiere, P., Le Loir, Y., Even, S., 2011. *Staphylococcus aureus* virulence and metabolism are dramatically affected by *Lactococcus lactis* in cheese matrix. *Environmental Microbiology Reports* 3 : 340-351.

Dave, R.I., Shah, N.P., 1997. Effect of cysteine on viability of yogurt and probiotic bacteria in yogurts made with commercial starter cultures. *International Dairy Journal* 7 : 537-545.

Ebel, B., Martin, F., Le, L.D.T. Gervais, P., Cachon, R., 2011. Use of gases to improve survival of *Bifidobacterium bifidum* by modifying redox potential in fermented milk. *Journal of Dairy Science* 94 : 2185-2191.

Glaster, H., 1991. pH measurement: fundamentals, methods, applications, instrumentation. V.C.H. Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, DEU.

Glaster, H., 2000. Technique of measurement, electrode processes and electrode treatment. In *Redox Fundamentals. Processes and Applications* pp 13-23. Vol 10, Heidelberg, Springer-verlag Berlin.

Green, M.L., Manning, D.J., 1982. Development of texture and flavor in cheese and other fermented products. *Journal of Dairy Research* 49 : 737-748.

Ignatova, M., Prévost, H., Legurinel, I., Guillou, S., 2010. Growth and reducing capacity of *Listeria monocytogenes* under different initial redox potential. *Journal of Applied Microbiology* 108 : 256-265.

Jacob, H.E., 1970. Redox potential. In: Norris, J.R., Ribbon, D.W. (Eds.), *Methods*

in Microbiology, vol. 2. Academic Press, London, England, pp. 91-123.

Kieronczyk, A., Cachon, R., Feron, G., Yvon, M., 2006. Addition of oxidizing or reducing agents to the reaction medium influences amino acid conversion to aroma compounds by *Lactococcus lactis*. *Journal of Applied Microbiology* 101 : 1114-1122.

Kristoffersen, T. 1967. Interrelationships of flavor and chemical changes in cheese. *Journal of Dairy Science* 50: 279-284.

Kristoffersen, T., 1985. Development of flavor in cheese. *Milchwissenschaft* 40 : 197-199.

Langeveld, L. P. M., Galesloot, T. E., 1971. Estimation of the oxidation-reduction potential as an aid in tracing the cause of excessive openness in cheese. *Netherlands Milk and Dairy Journal* 25 : 15-23.

Lamprell, H. 2003. Production des entérotoxines dans les fromages en fonction de la diversité phénotypique et génétique des souches de *Staphylococcus aureus*. Thèse de Doctorat en Sciences des Aliments. Université de Bourgogne, 192 p.

Leistner, L., Mirna, A., 1959. Das redoxpotential von Pökellanken. *Die Fleischwirtschaft* 8 : 659-666.

Ledon, H., Ibarra, D., 2006 Method for modifying hygienic, physico-chemical and sensory properties of cheese by controlling the redox potential. France Patent WO2006106252.

Martin, F., Cayot, N., Vergoignan, C., Journaux, L., Gervais, P., Cachon, R., 2010. Impact of oxidoreduction potential and of gas bubbling on rheological properties of non-fat yoghurt. *Food Research International* 43 : 218-223.

Martin, F., Cachon, R., Pernin, K., De Coninck, J., Gervais, P., Guichard, E., Cayot, N., 2011. Effect of oxidoreduction potential on aroma biosynthesis by lactic acid bacteria in nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science* 94 : 614-622.

McSweeney, P.L.H., Caldeo, V., Topcu, A., Cookke, D.R., 2010. Ripening of cheese: oxidation-reduction potential and calcium phosphate. *Australian Journal of Dairy technology* 65 : 178-183.

Paysant, B., 2013. Suivi du potentiel redox en technologies fromagères par l'emploi raisonné de bactéries lactiques. Master2, Spécialité Industries Laitières. ENSAIA, Université de Lorraine, Nancy, France. 49 pages.

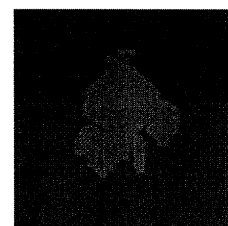
Topcu, A., McKinnon, I., McSweeney, P.L.H., 2008. Measurement of the oxidation-reduction potential of cheddar cheese. *Journal of Food Science* 73: C198-C203.

Urbach, G., 1995. Contribution of lactic acid bacteria to flavour compound formation in dairy products. *International Dairy Journal* 5 : 877-903.

Walstra, P., Wouters, J.T.M., Geurts, T.J., 2006. Milk properties. In *Dairy Science and Technology*, 2nd ed. Taylor & Francis Group, Pp; 159-174.

webalim
■■■■■■■■■■>

**Formation à distance
sur les équipements,
en génie industriel et
en physique**



- Installations, conception de bâtiments, PDU
- Automatisation des procédés
 - Technologie électrique
- Hydraulique et pneumatique
 - Régulation industrielle
 - Physique générale

www.webalim.fr

