

Symposium
sur
les **Bovins laitiers**
Agir pour l'avenir!

Le jeudi 1^{er} novembre 2012

BEST WESTERN PLUS Hôtel Universel,
Drummondville

Facteurs alimentaires modulant le profil aromatique du lait chez la vache

Yvan Chouinard, Ph.D., agronome, professeur titulaire,
Université Laval, Québec

Collaborateurs :

Marie-Pier Villeneuve, Yolaine Lebeuf,
Gaëtan F. Tremblay et Rachel Gervais

Une initiative conjointe

Fédération
 des producteurs
de lait du Québec



Facteurs alimentaires modulant le profil aromatique du lait chez la vache

INTRODUCTION

Les consommateurs sont de plus en plus soucieux de la qualité des aliments qu'ils ingèrent. Les caractéristiques nutritionnelles, microbiologiques et sensorielles revêtent une grande importance dans la sélection d'un produit plutôt qu'un autre. En ce sens, la saveur d'un aliment, ainsi que son apparence et sa texture, sont considérées comme déterminantes dans le choix effectué par le consommateur pour un produit particulier (d'Acampora *et al.*, 2007).

Sur le plan physiologique, l'odeur d'un aliment est perçue par le nez, avant la prise en bouche, alors que l'arôme est perçu par les voies rétronasales lorsque l'aliment se trouve dans la cavité buccale (Molimard *et al.*, 1997). Ce sont ces phénomènes, combinés au goût de l'aliment, qui définissent le concept de saveur.

Le lait frais de bonne qualité possède une saveur subtile, caractérisée par un goût légèrement sucré (McGorrin, 2001). De plus, le lait, étant une émulsion lipidique, il procure en bouche une sensation douce et riche (Nursten, 1997). Compte tenu de sa saveur peu prononcée, dès qu'une légère quantité de constituants anormaux s'accumule, des défauts de goûts peuvent y être détectés (Cadwallader Singh, 2009).

Cadwallader et Singh (2009) ont schématisé les différentes origines des arômes du lait et des produits laitiers (Figure 1). Une partie des composés aromatiques sont présents dans la matière première, c'est-à-dire le lait produit à la ferme. On les qualifie d'arômes primaires. Des modifications importantes de la saveur des produits laitiers sont ensuite observées au cours des procédés de transformation. On parle alors des arômes secondaires.

Dans ce document, nous traiterons des facteurs qui influencent les arômes primaires du lait, c'est-à-dire ceux sur lesquels on peut avoir un contrôle à la ferme. Cette source de composés aromatiques est importante, car les molécules présentes dans le lait produit à la ferme peuvent persister et se retrouver dans le produit transformé et influencer sa saveur. D'autres serviront de précurseurs pour la production de composés aromatiques différents pendant la transformation du lait en usine.

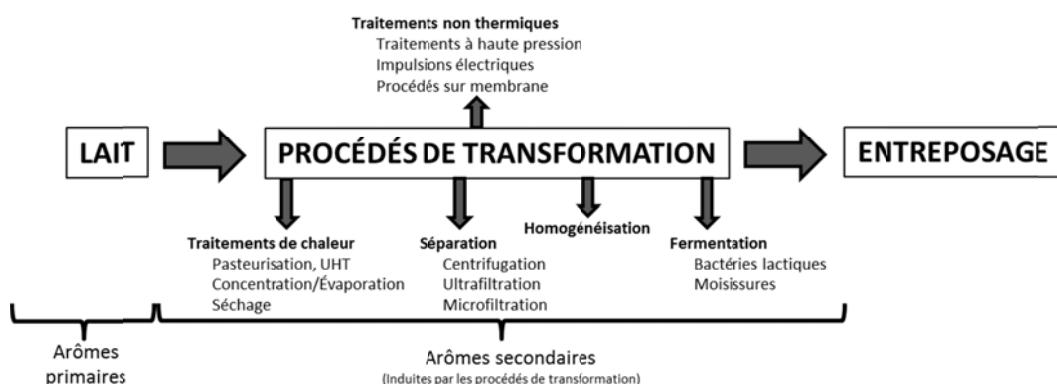


Figure 1. Origines des composés aromatiques retrouvés dans les produits laitiers.

Adaptée de Cadwallader et Singh 2009.

PRINCIPAUX CONSTITUANTS DU LAIT AYANT UN IMPACT SUR SA FLAVEUR

1- Constituants majeurs

La distribution des composantes majeures du lait influence sa flaveur. Il est généralement admis que la matière grasse du lait représente la composante qui contribue le plus à sa saveur agréable; la plupart des gens associant la palatabilité du lait à sa richesse (Kinsella *et al.*, 1967). Cependant, quelques études réalisées dans les années soixante ont démontré que les autres constituants majeurs peuvent aussi contribuer de façon significative à la flaveur du lait.

Tout d'abord, une étude de Pangborn et Duckley (1964) a permis de déterminer quelles étaient les variations minimales de teneurs en matières grasses et en solides non gras (SNG) qui pouvaient être détectées par des dégustateurs. Dans le lait homogénéisé, la teneur en matières grasses devait varier de 43 % avant que le panel puisse détecter une différence de manière significative. À l'opposé, une augmentation de 13 % de la teneur en SNG était suffisante pour que les laits soient différenciés. Ces chercheurs ont poursuivi leurs travaux afin de déterminer le rôle des constituants individuels ou des fractions des SNG. Cette étude a montré que l'augmentation de la teneur en lactose de 0,33 unité de pourcentage était suffisante pour permettre à un panel entraîné de détecter une différence dans la flaveur du lait, caractérisée par un goût plus sucré (Pangborn et Dunkley, 1966). Cette étude a aussi permis d'établir qu'une augmentation de la teneur en protéines de 2,2 unités de pourcentage était nécessaire avant que le panel entraîné puisse discriminer le lait enrichi du lait témoin.

À la lumière de ces observations, nous pouvons statuer que des dégustateurs sont en mesure de percevoir les différences entre les laits standardisés disponibles commercialement (1 %, 2 % et 3,25 % M.G.) puisque leur teneur en matière grasse diffère de plus de 43 %. Les teneurs en lactose et en protéine, quant à elles, ne sont pas standardisées en usine. À la lumière des résultats disponibles, les variations naturelles de la teneur de ces constituants entre les troupeaux ou en fonction des saisons seraient cependant insuffisantes pour être détectées par les consommateurs.

2- Constituants mineurs

Des travaux visant l'identification et la quantification des composés volatils présents dans les produits laitiers ont débuté au milieu des années 50, avec le développement de la chromatographie en phase gazeuse et de son application pour l'analyse des flaveurs (McGorrin, 2007). Les chimistes ont d'abord voulu déterminer l'identité des composés chimiques purs qui procureraient le goût distinctif de chaque aliment. Ces composés, nommés « *character-impact compounds* », seraient en fait la signature de la flaveur d'un aliment particulier, ce qui lui procurerait son identité sensorielle principale. À titre d'exemple, le méthyle chavicol contribue à la flaveur spécifique du basilic, le benzaldéhyde est associé à la flaveur de la cerise alors que les γ -lactones ont un arôme associé à la pêche (McGorrin, 2007).

Or, concernant les produits laitiers, la majorité des composés aromatiques ayant un impact sur la flaveur n'ont pas un effet individuel. La flaveur perçue est le résultat de la présence synergique de

plusieurs composés aromatiques, à des concentrations spécifiques. En ce sens, les flaveurs indésirables, parfois retrouvées dans le lait, ne seraient pas causées par la présence ou l'absence de composés distinctifs spécifiques, mais bien par la variation dans la concentration de mélanges de certains composés aromatiques actifs (Mounchili *et al.*, 2005).

Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993) ont identifié plus d'une centaine de composés aromatiques dans le lait à l'aide de différentes techniques d'extraction et de concentration. Ces composés volatils peuvent être regroupés en familles chimiques incluant, entre autres, les acides gras, les aldéhydes, les alcools, les esters, les cétones, les lactones, les composés soufrés et les terpènes. Chacune de ces familles de composés retrouvés dans le lait bovin possède une origine spécifique et contribue, selon leurs concentrations, à la flaveur du lait (MacGibbon et Taylor, 2006; Day, 1966).

ACIDES GRAS

Les matières grasses jouent un rôle de premier plan en ce qui a trait aux propriétés organoleptiques des produits laitiers. Plus de 400 acides gras différents ont été identifiés dans le lait (MacGibbon et Taylor, 2006). Ces acides gras sont majoritairement estérifiés (attachés) au glycérol pour former des molécules de taille plus importante et donc moins volatiles; réduisant ainsi leur impact direct sur les arômes du lait. Les acides gras libres représentent moins d'un demi-pourcent des matières grasses laitières (Jensen et Newberg, 1995).

Tableau 1. Acides gras libres retrouvés dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Acide gras	Flaveur associée
Acide acétique	Vinaigre.
Acide propionique	Vinaigre; âcre.
Acide butyrique	Vomi; fromage féta.
Acide valérique	Acide; pain; fromage; chien.
Acide caproïque	Graisseux; fromageux; cireux; chèvre.
Acide caprylique	Cire; savon; chèvre; moisi; rance; fruité.
Acide caprique	Rance.
Acide déc-9-énoïque	Papier humide; poussière brûlée.
Acide 3-méthylbutanoïque	Herbeux léger; légumes cuits.

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

La teneur en acides gras libres est donc faible dans le lait, mais peut aussi être relativement variable; ce qui influence ses qualités organoleptiques (Santos *et al.*, 2003). Une augmentation de la teneur en acides gras libres du lait peut être causée :

- I. par une estérification (attachement au glycérol) incomplète des acides gras dans la glande mammaire avant la sécrétion;
- II. d'une manière plus importante, par une hydrolyse des lipides lait au cours de l'entreposage après la traite.

La première cause liée à l'estérification incomplète est peu connue sur le plan physiologique et offre peu de possibilités de contrôle à la ferme. Les réactions d'hydrolyse après la traite sont quant à elles expliquées par l'action des enzymes naturellement présentes dans le lait ou sécrétées par des microorganismes qui contaminent le produit. Ce phénomène peut être accentué par un bris des globules de gras lors de traitements mécaniques de brassage ou de pompage trop violents. Dans la majorité des cas, ce phénomène peut être limité par l'application de bonnes pratiques de refroidissement du lait après la traite et de nettoyage des équipements pour éviter la contamination bactérienne.

Les acides gras relâchés lors de l'hydrolyse des lipides auront un impact différent selon la longueur de leur chaîne. Ce sont ainsi les acides gras courts (Tableau 1), donc plus volatils, qui ont une influence plus marquée sur la saveur du lait. Curieusement, les acides acétique et propionique, qui sont produits en abondance dans le rumen au cours du processus de fermentation des aliments et qui possèdent des attributs très caractéristiques (Tableau 1), ont peu d'influence sur le profil aromatique du lait. Paradoxalement, à de faibles concentrations, l'acide butyrique et l'acide caproïque ont été identifiés comme composés contribuant à la saveur dite « normale » du lait (MacGibbon et Taylor, 2006). Par contre, lorsque présents en grandes concentrations, ces acides gras courts sont associés à la formation de saveurs indésirables.

ALDÉHYDES

Près d'une vingtaine d'aldéhydes différents sont identifiés avec leurs attributs sensoriels dans le lait de vaches (Moio *et al.*, 1993; Bendall, 2001). Le tableau 2 montre qu'ils sont associés à des saveurs parfois désirables, parfois indésirables; cette perception variant selon leurs concentrations respectives. Les aldéhydes du lait peuvent provenir de la dégradation des lipides (chaîne droite) ou de la dégradation des acides aminés (chaîne ramifiée; Toso *et al.*, 2002). La plupart des aldéhydes provenant des lipides contribueraient à former l'agréable arôme herbacé du lait (Moio *et al.*, 1993). Par contre, à de plus fortes concentrations, ils procurent une forte et désagréable odeur de suif (Moio *et al.*, 1993).

Comme la majorité des aldéhydes retrouvés dans les produits laitiers proviennent de la dégradation des lipides, nous avons émis l'hypothèse que leur teneur dans le lait est variable en fonction des apports en acides gras insaturés de la ration. Dans une étude réalisée à l'Université Laval, la teneur en pentanal a été plus élevée dans le lait chez des vaches au pâturage, intermédiaire pour celles recevant de l'ensilage et plus faible chez celles recevant une alimentation à base de foin. Les variations de ce composé aromatique étaient en lien direct avec la teneur en lipides et donc en acides gras de ces différents types de fourrages (Figure 2). Un test de classement par un panel de trente dégustateurs a permis d'identifier des saveurs végétales (herbe, plantes, légumes) plus prononcées dans le lait produit par les vaches au pâturage.

Tableau 2. Aldéhydes retrouvés dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Aldéhyde	Flaveur associée
Pentanal	Herbacé.
Hexanal	Cuit; herbe fraîchement coupée; vert.
Heptanal	Fromageux; caramel; herbacé; vert; huile.
Octanal	Vert; graisseux.
Nonanal	Vert; herbe; graisseux.
Décanal	Herbacé; pelure d'orange.
Undécanal	Aldéhydique; herbacé.
2-méthylbutanal	Moisi.
3-méthylbutanal	Moisi; chien mouillé.
cis-3 hexénal	Herbeux; lait frais; lait tiède.
trans-2 hexénal	Herbe humide; gras rance; crème sure.
cis-4 hepténal	Lait frais; biscuité; charlotte aux pommes.
trans-2, cis-6 nonadiénal	Vert; lait frais; pomme/tomate vertes.
trans-2, trans-4 nonadiénal	Graisseux; vieux carton.
Pyruvaldéhyde	Sucré; terreux.
Benzaldéhyde	Amande; noix
Phénylacétaldéhyde	Floral; balai

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

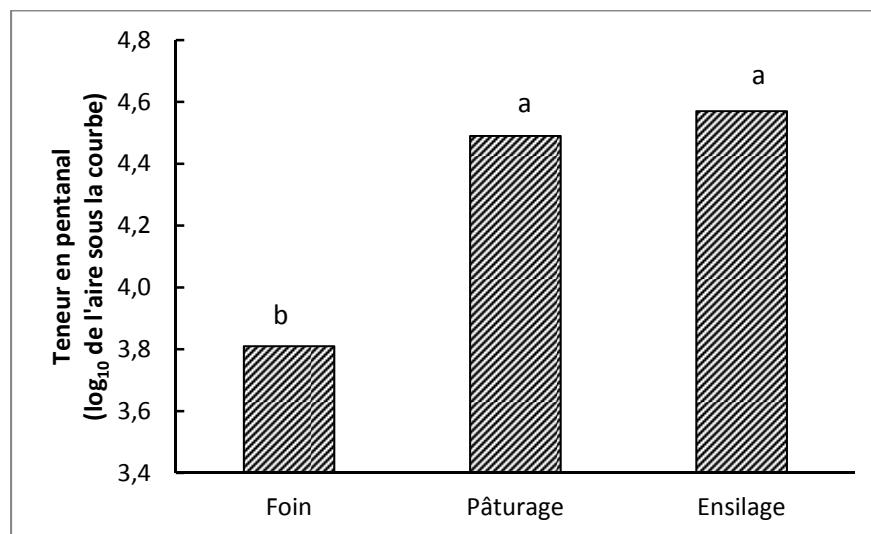


Figure 2. Teneur en pentanal du lait chez des vaches recevant de la fléole sous forme de foin (1,8 % lipides), de pâturage (3,3 % lipides) et d'ensilage (2,7 % lipides). a, b : Les valeurs surmontées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $P < 0,01$.

Adaptée de Villeneuve *et al.* (2012).

Comme on peut le constater, les travaux réalisés ici et dans le passé nous éclairent sur l'origine des aldéhydes retrouvés dans le lait. Cependant, nous ignorons comment moduler leurs concentrations, ce qui est d'une grande importance puisque leur présence est souhaitable à de faibles concentrations, mais peut devenir rapidement indésirable lorsque leurs teneurs augmentent.

ALCOOLS

Environ une douzaine d'alcools ont été identifiés et caractérisés dans le lait chez la vache (Tableau 3). Dans une étude réalisée par Gaspardo *et al.* (2009), la fraction de composés volatils retrouvés dans le lait a été évaluée et la concentration en alcools y était faible. Les composés les plus abondants de cette famille étaient le 1-propanol, l'éthanol et le méthanol (Gaspardo *et al.*, 2009). Des alcools sont produits au cours de la fermentation des aliments dans le rumen, mais ces composés sont en majorité métabolisés avant leur absorption par l'animal. Dans des conditions normales, la contribution des alcools à la saveur du lait est donc généralement négligeable (Forss, 1979). Il existe toutefois des exceptions dans le cas où des alcools sont présents en quantités appréciables dans les aliments consommés par la vache.

Tableau 3. Alcools retrouvés dans le lait de vache et description des saveurs qui leur sont associées¹

Alcool	Saveur associée
Éthanol	Sucré; vanillé.
Méthanol	Sucré.
Pentanol	Alcoolisé; iodoforme.
Hexanol	Légèrement fruité; verdure.
2-éthyl-1-hexanol	Sucré; floral; intense.
Octanol	Fruité.
1-octèn-3-ol	Champignons; moisi; moisissure.
2-phénylethanol	Rose.
Géraniol	Floral; citron.
Décanol	Fruit non mûr.
Dodécanol	Verdure.
Tétradécanol	Verdure.

¹Adapté de Bendall (2001), Gaspardo *et al.* 2009 et Moio *et al.* (1993)

Il est connu que les ensilages n'ayant pas bien fermenté peuvent transmettre des saveurs indésirables dans le lait. En ce sens, Gordon et Morgan (1972) ont identifié l'éthanol comme un des principaux composés volatils du lait qui est altéré par l'alimentation des animaux et qui influence sa saveur. Afin d'isoler cet effet, Randby *et al.* (1999) ont vérifié si l'ajout d'éthanol pur à la ration pouvait influencer la composition et la saveur du lait. Les apports alimentaires utilisés dans cette étude représentaient des proportions qu'il est possible de retrouver dans des ensilages bien fermentés, soit 600 g/jour. Un maximum de 0,2 à 0,3 % de l'éthanol ingéré s'est retrouvé dans le lait (Randby *et al.*, 1999). Cette teneur, avec une concentration maximale de 0,18 g d'éthanol/kg de lait, ne peut toutefois pas expliquer à elle seule la saveur indésirable associée à ce lait. Il faut considérer

la contribution de l'éthanol, mais également celle des produits de son métabolisme. Par exemple, la concentration d'acétone dans le lait peut doubler lorsqu'il y a ingestion d'éthanol. Dans cette étude, on rapporte que les changements observés dans la composition du lait à la suite d'ingestion d'éthanol sont semblables à ceux observés lorsque l'animal fait de l'acétonémie (c.-à-d. augmentation de la concentration en gras, en acétone et en acides gras libres). Par contre, les processus physiologiques et biochimiques responsables de l'apparition de ces flaveurs indésirables dans le lait ne sont pas encore bien compris.

Il est difficile de penser éliminer complètement la production d'éthanol dans l'ensilage. Par contre, ces observations quant aux impacts négatifs de l'éthanol sur la flaveur du lait viennent confirmer l'importance de la production d'ensilages de bonne qualité, non seulement pour la santé et la performance des vaches, mais également pour préserver un profil aromatique désirable du lait.

ESTERS

Près d'une quinzaine d'esters différents ont été identifiés dans le lait bovin (Tableau 4). Ces molécules peuvent être formées dans la glande mammaire de la vache, lors de l'estérification des alcools et des acides gras à courte chaîne. Dans leur étude de 1993, Moio *et al.* ont comparé les composés volatils précurseurs de la flaveur du lait cru de bovins, d'ovins, de caprins et de bufflresses. Pour les bovins, les esters représentaient la plus importante classe de composés volatils, comptant pour près de la moitié de ces composés. Les molécules aromatiques les plus puissantes dans le lait cru seraient d'ailleurs principalement des esters (Friedrich et Acree, 1998).

Tableau 4. Esters retrouvés dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Ester	Flaveur associée
Éthyle acétate	Solvant; fruité; ester sucré.
Éthyle butanoate	Pomme; fruité; sucré.
Éthyle hexanoate	Fruit non mûr; vert; sucré.
Éthyle heptanoate	Fruité.
Éthyle octanoate	Pomme; sucré; fruité.
Éthyle nonanoate	Fruité.
Éthyle décanoate	Fruité; pomme.
Éthyle dodécanoate	Suif; savonneux.
Éthyle tétradécanoate	Suif; savonneux.
Éthyle hexadécanoate	Suif; savonneux.
Éthyle oléate	Ester.
Éthyle linoléate	Fruité; lactone sucrée.
Éthyle 2-méthylbutyrate	Gomme à mâcher « Juicy-Fruit »; petits fruits.
Éthyle 3-méthylbutyrate	Ester; ester vert

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

C'est dans la famille des esters que l'on retrouve les substances les plus odorantes du lait cru bovins (Moio *et al.*, 1994; Marsili, 2003). Ces molécules présentent une odeur fruitée (Tableau 4). On note cependant que les esters ne sont généralement pas détectés dans le lait pasteurisé puisqu'ils sont perdus par volatilisation ou par hydrolyse lors de la transformation (Moio *et al.*, 1994; Marsili, 2003). Ce phénomène explique en partie pourquoi peu de travaux ont porté sur les facteurs qui influencent leur synthèse et leur sécrétion dans le lait chez la vache. Peu de stratégies sont ainsi disponibles pour la manipulation de leurs concentrations. Néanmoins, un contrôle de la teneur en esters du lait pourrait être souhaitable, puisque ces molécules sont des précurseurs de cétones (voir section suivante) à la suite de leur hydrolyse au cours des procédés de transformation.

CÉTONES

Un grand nombre de cétones sont retrouvées dans le lait de vache, et les attributs sensoriels qui leur sont individuellement attribués sont relativement diversifiés (Tableau 5). La contribution de certaines molécules de cette famille à la flaveur du lait et des produits laitiers a fait l'objet d'une analyse plus approfondie. C'est le cas du 2-heptanone en partie responsable de l'arôme du fromage bleu. Heureusement, la teneur de cette molécule demeure relativement faible dans le lait fraîchement produit de sorte qu'elle contribue très peu à sa flaveur globale.

Tableau 5. Cétones retrouvées dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Cétoïne	Flaveur associée
Acétone	Aliments du bétail; vache; sucré; ensilage.
2-butanone	Vernis.
3-Méthyle-2-butanone	Sucré; menthe.
2-Pentanone	Pourri; fromageux.
4-Méthyle-2-pentanone	Camphre.
Pentanédione-2,3	Lacté.
2-Hexanone	Fromage bleu.
Cyclohexanone	Amande.
2-Heptanone	Fromage bleu moisî.
2-Octanone	Moisi; floral.
Oct-1-én-3-one	Champignon; légume; foin sec.
Octa-1,cis-5-dién-3-one	Herbacé fort; lait chaud; herbeux vert.
2-Nonanone	Cétonique; vernis.
Non-1-èn-3-one	Peinture.
2-Undécanone	Huileux; cireux.
β-Damascénone	Fruit trop mûr.
Diacétyle (2-3 butanédione)	Beurre; pâtisserie.
Acétoïne	Caramel.

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

En production, on s'intéresse plus particulièrement aux corps cétoniques produits par la vache en déficit énergétique suite au métabolisme incomplet des acides gras; désordre métabolique connu sous le nom d'acétonémie. Parmi ces molécules, il est intéressant de noter qu'à de faibles concentrations dans le lait, l'acétone est typiquement associée à l'odeur de la vache et de ses aliments. Cependant, les concentrations trop élevées d'acétone retrouvées dans le lait chez l'animal souffrant d'acétonémie conduisent à un problème de flaveur. Ce défaut peut être corrigé par l'administration aux animaux de précurseurs de glucose, tel le propylène glycol.

Il peut cependant être plus difficile de corriger le problème dans les cas où les cétones retrouvées dans le lait sont présentes dans les aliments de la ration. On peut en effet retrouver de l'acétone et du 2-butanone dans les ensilages (Morgan et Pereira, 1962a, b). Les facteurs influençant la teneur en cétones des ensilages sont peu connus. Par contre, leur impact sur les cétones retrouvées dans le lait peut être significatif. En effet, dans une étude réalisée à l'Île-du-Prince-Édouard, Mounchili *et al.* (2005) ont noté une augmentation des teneurs en acétone et en 2-butanone dans le lait de vaches ayant consommé de l'ensilage juste avant la traite et ces augmentations étaient associées à une flaveur de vache et d'aliments dans le lait.

LACTONES

On retrouve environ une douzaine de lactones différentes dans le lait chez la vache (Tableau 6). Malgré cette diversité, les arômes qui leur sont associés sont relativement constants et s'apparentent à la pêche ou à la noix de coco (Tableau 6). Ces attributs fruités et sucrés sont considérés comme « agréables » de sorte que peu de défauts de flaveur sont associés aux lactones dans le lait et les produits laitiers.

Tableau 6. Lactones retrouvées dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Lactone	Flaveurs associées
δ-hexalactone	Fruité; flocons d'avoine.
δ-octalactone	Lactone fruité; sucré.
δ-décalactone	Noix de coco; lait chaud; fruité, crémeux.
δ-dodécalactone	Sucré; fruité.
δ-tétradécalactone	Foin sec.
γ-décalactone	Sucettes; lacté.
γ-dodécalactone	Lactone; fruité; floral; sucré.
γ-dodec-cis-6-énolactone	Fruit; linge à vaisselle; sucre brûlé.
γ-dodec-cis-6,cis-9-diénolactone	Musli avec miel; poudre pour bébé.
γ-tétradécalactone	Lait chaud.
γ-hexadécalactone	Lactone; chaud; fumé.
cis-3-méthyle-γ-nonalactone	Lactone sucré; butyreux; rôtie.

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

Les lactones sont synthétisées à partir des acides gras de la ration qui subissent tour à tour des modifications de structure sous l'action des microorganismes du rumen puis des tissus de l'animal. Nous connaissons très peu les facteurs qui influencent la teneur et le profil en lactones du lait. C'est pourquoi une étude a été conduite à l'Université Laval afin d'évaluer les effets de suppléments d'huile de lin combinés avec une source d'amidon (aliments concentrés) sur la flaveur du lait. L'huile de lin est une source d'acides gras polyinsaturés, identifiés comme précurseurs des lactones, alors qu'une source d'amidon (aliments concentrés) est reconnue pour son effet stimulateur sur la production ruminale de lactones. L'ajout de l'huile de lin dans la ration a permis d'augmenter la teneur en γ -dodécalactone dans le lait, comparativement à la ration sans huile (Figure 3). De plus, cette augmentation a été plus marquée chez les vaches recevant la ration riche en concentrés comparativement à la ration faible en concentrés. Lors d'un test triangulaire, les panélistes ont pu distinguer le lait produit par les vaches recevant l'huile de lin dans la ration riche en concentrés de celui produit par les vaches recevant la ration témoin sans huile et faible en concentrés.

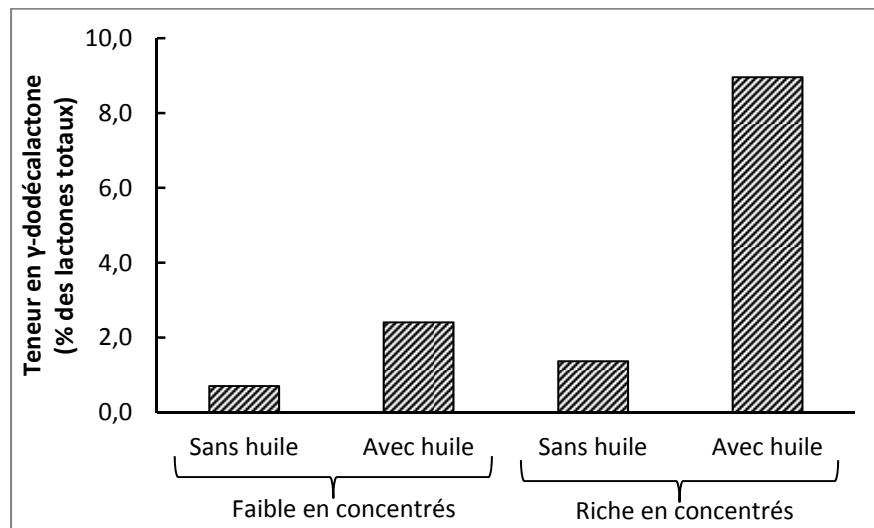


Figure 3. Teneur en γ -dodécalactone du lait chez des vaches recevant des rations avec ou sans huile de lin et ayant des teneurs faibles ou élevées en aliments concentrés. Effet des concentrés $P < 0,001$; effet de l'huile $P < 0,001$; interaction huile \times concentrés $P < 0,001$.

Adaptée de Saliba *et al.* (2012, données non publiées).

Il est cependant trop tôt pour faire des recommandations quant aux manipulations de la ration de la vache permettant de moduler la production de lactones dans le lait. Les travaux doivent se poursuivre afin d'évaluer l'impact de différents régimes alimentaires sur le profil en lactones du lait et les répercussions sur les arômes qui leur sont associés. Étant donné que les lactones sont liposolubles, elles peuvent éventuellement se retrouver dans le beurre et contribuer de manière significative aux qualités organoleptiques de ce produit laitier.

COMPOSÉS SOUFRÉS

Quelques composés soufrés ont été identifiés dans le lait chez la vache (Tableau 7). Parmi ces derniers, le sulfure de diméthyle et le sulfone de diméthyle ont fait l'objet d'études plus attentives.

Malgré le fait que les attributs sensoriels qui leur sont associés aient un caractère plutôt négatif, ces deux composés, lorsque présents à de faibles concentrations, contribuent, comme de nombreuses autres molécules, à la flaveur « normale » du lait cru. Par contre, lorsqu'ils se retrouvent en plus grande proportion, ils peuvent causer des problèmes d'odeur indésirable (Urbach, 1990; Moio *et al.*, 1996). Un juste équilibre est donc requis puisque le sulfure de diméthyle possède un faible seuil de détection olfactive et que de minimes changements dans sa concentration peuvent modifier l'arôme du lait (Gordon et Morgan, 1972).

Tableau 7. Composés soufrés retrouvés dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Composé soufré	Flaveur associée
Sulfure de diméthyle	Mauvaise herbe; vache malpropre; oignon.
Disulfure de diméthyle	Caoutchouc.
Trisulfure de diméthyle	Fromageux; flocons d'avoine.
Méthional	Compost; cuisson.
Sulfone de diméthyle	Sulfureux; lait chaud; brûlé.

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

Le sulfure de diméthyle est produit lors de la dégradation de la méthionine, un acide aminé indispensable retrouvé dans les protéines du régime alimentaire des animaux. Le sulfone de diméthyle est, quant à lui, produit lors de l'oxydation du sulfure de diméthyle. Les mêmes facteurs alimentaires peuvent donc influencer la teneur de ces deux composés dans le lait.

Comme le sulfure de diméthyle est produit à partir de la méthionine, il semble possible d'augmenter sa synthèse en augmentant la teneur en protéines de la ration. Ainsi, lorsque les vaches consomment de la luzerne, un fourrage riche en protéines, la quantité de sulfure de diméthyle augmente dans le lait (Urbach, 1990). Comme autre exemple, dans une étude réalisée à l'Université Laval, la teneur en sulfone de diméthyle a été plus élevée dans le lait des vaches au pâturage, intermédiaire pour celles recevant de l'ensilage et plus faible chez celles ayant une alimentation à base de foin; ces variations sont en lien direct avec la teneur en protéines de ces différents types de fourrages (Figure 4).

Malgré ces quelques travaux, nous disposons de trop peu d'informations dans la littérature pour nous permettre d'élaborer des programmes alimentaires en vue de moduler la teneur en composés soufrés dans le lait.

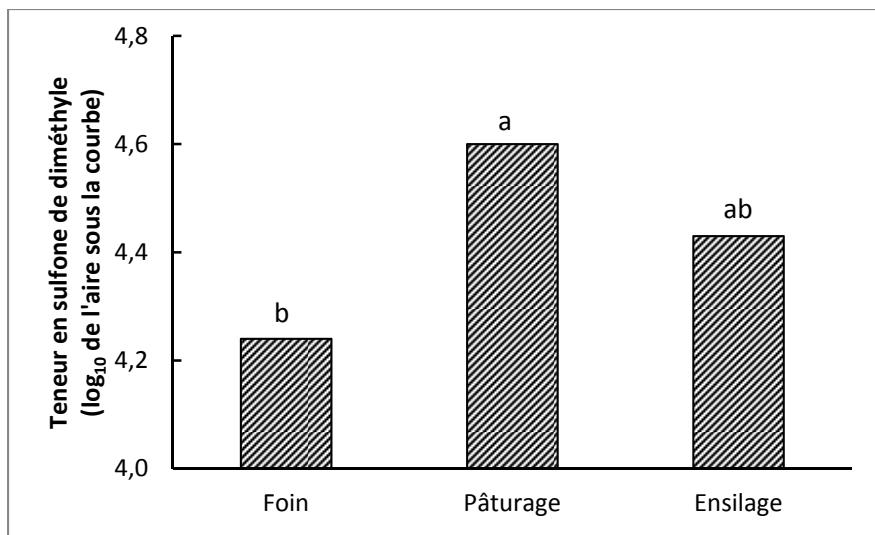


Figure 4. Teneur en sulfone de diméthyle du lait chez des vaches recevant de la fléole sous forme de foin (9,0 % protéine), de pâturage (12,7 % protéine) et d'ensilage (11,2 % protéine). a, b : Les valeurs surmontées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de $P < 0,01$.

Adaptée de Villeneuve *et al.* (2012).

TERPÈNES

Quelques-uns des terpènes ayant déjà été identifiés dans le lait sont présentés au tableau 8. Cette liste est incomplète et pourrait s'allonger en fonction de la diversité des plantes consommées par les vaches dans différentes régions du monde. Les terpènes sont en fait un vaste groupe de métabolites secondaires des végétaux (Kalač, 2011). Ces molécules passent facilement des fourrages au lait, avec seulement quelques altérations mineures (Kalač, 2011).

Tableau 8. Terpènes retrouvés dans le lait de vaches et description des flaveurs qui leur sont associées¹

Terpène	Flaveurs associées
Limonène	Orange.
α -pinène	Solvant.
β -pinène	Savonneux; odorant; vert.
α -thuyène	Cuit; noix.
2-Carène	Flocons d'avoine; éthéré.
β -caryophyllène	Petit fruit; orange.
Phyt-2-ène	Herbe; foin.
Phyt-1-ène	Herbeux; carton.
trans-2, cis-4 phytadiène	Fécal; brûlé.
trans-3, trans-5 phytadiène	Poli pour bois; peinture.
Néophytadiène	Poli pour bois; brûlé.

¹Adapté de Bendall (2001) et Moio *et al.* (1993)

Les terpènes ont des propriétés odorantes caractéristiques et sont beaucoup plus abondants chez certaines espèces végétales, telles que les dicotylédones (ex.: achillée millefeuille, fenouil des alpes). L'introduction de ces espèces dans la ration des vaches se traduit donc par une présence accrue de terpènes dans le lait et les fromages (Moio *et al.*, 1996; Viallon *et al.*, 2000; Bugaud *et al.*, 2001). Certains auteurs, principalement européens, ont donc proposé d'utiliser les terpènes comme marqueurs afin de retracer les laits associés à différentes régions et, par le fait même, différents types de pâturages. Par exemple, il a été démontré que l'origine de production du fromage Asiago, produit dans le nord-est de l'Italie, pouvait être validée par l'analyse de sa teneur en caryophyllène (Favaro *et al.*, 2005). Ce terpène est en effet abondant dans les plantes des pâturages de montagnes italiennes où broutent les vaches qui produisent le lait pour la fabrication de ce fromage.

La concentration en terpènes est néanmoins très faible dans les plantes fourragères utilisées en production laitière au Québec. Il n'est cependant pas impossible de retrouver des teneurs variables en terpènes dans le lait produit sous nos conditions. En effet, les prairies où sont produits les fourrages peuvent être peuplées par des mauvaises herbes de la famille des dicotylédones. Dans l'essai réalisé à l'Université Laval, où nous avons comparé l'alimentation avec différents types de fléole, la teneur en α -pinène du lait a été plus élevée pour les vaches recevant l'ensilage, intermédiaire pour celles recevant le foin et plus faible pour les vaches au pâturage (Figure 5). Dans la parcelle de fléole utilisée pour cet essai, on retrouvait une certaine proportion de vesce jargeau (*Vicia cracca*), une dicotylédone vivace grimpante, qui contient de l' α -pinène (Griffiths *et al.*, 1999). Les vaches au pâturage ont pu, par sélection, éviter de consommer la vesce, alors que le tri a été plus difficile lorsque la vesce récoltée en mélange avec la fléole a été servie sous forme d'ensilage, ce qui aurait contraint les vaches à consommer plus d' α -pinène; cette hypothèse serait à vérifier.

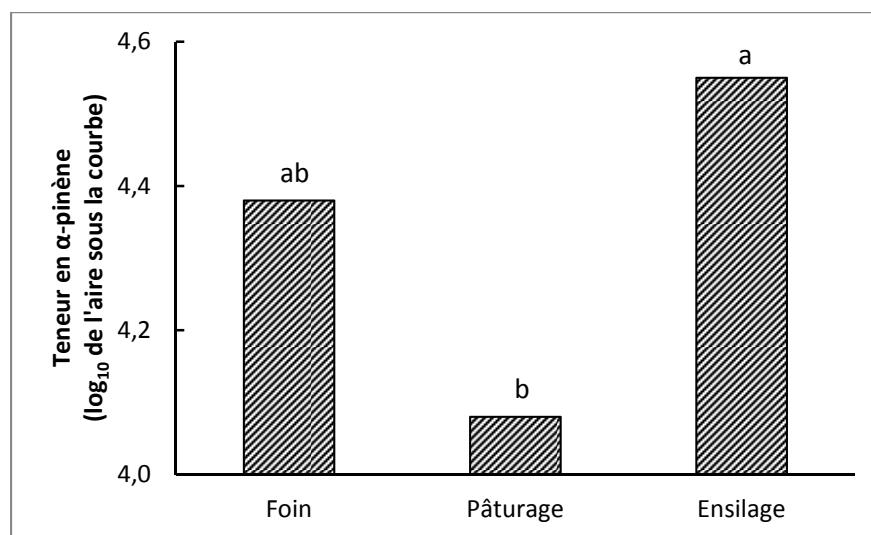


Figure 5. Teneur en α -pinène du lait chez des vaches recevant de la fléole sous forme de foin, de pâturage et d'ensilage. a, b : Les valeurs surmontées de lettres différentes sont significativement différents au seuil $P < 0,01$.

Adaptée de Villeneuve *et al.* (2012).

Ces observations nous offrent peu de perspectives d'application à court terme dans les troupeaux laitiers québécois. Nous pouvons toutefois anticiper la possibilité de produire un fromage spécifique pour lequel un cahier des charges prévoirait l'utilisation dans la ration de plantes dicotylédones comme source de terpènes pour l'obtention d'un arôme caractéristique.

CONCLUSIONS

L'ensemble de ces travaux nous montre qu'un grand nombre de composés volatils sont présents dans le lait. Il importe de rappeler que les différences de flaveurs perçues dans le lait sont le reflet de la concentration de chaque composé aromatique que l'on y retrouve, et non uniquement le résultat de la présence ou non de certains composés au sein de la matrice que forme le lait. En d'autres mots, la très grande majorité des composés identifiés plus haut se retrouve dans des laits montrant de bonnes ou de mauvaises propriétés organoleptiques. Mis à part les terpènes associés à des plantes spécifiques, aucun composé volatil ne serait spécifique à une ration en particulier.

L'ampleur des variations observées dans la teneur en composés volatils du lait nous permet de croire qu'un certain contrôle est possible par le biais de la régie et de l'alimentation du troupeau. Cependant, l'état des connaissances actuelles ne nous donne pas les outils nécessaires pour exercer de telles manipulations.

Un meilleur contrôle de la teneur en composés volatils du lait pourrait nous permettre d'obtenir un produit de créneau au profil aromatique spécifique. Une autre application à long terme de ces connaissances pourrait être l'offre d'un service diagnostique pour le producteur qui voit son lait rejeter par le camionneur pour cause de mauvaise odeur. En identifiant la ou les molécule(s) en cause et en connaissant son ou ses origine(s), il serait alors possible d'apporter rapidement un correctif ciblé et efficace à ce problème d'odeur.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

- Bendall, J.G. 2001. *Aroma compounds of fresh milk from New Zealand cows fed different diets.* J. Agric. Food Chem. 49:4825–4832.
- Bugaud, C., Buchin, S., Coulon, J.B., Hauwuy, A. et Dupont, D. 2001 *Influence of the nature of alpine pastures on plasmin activity, fatty acid and volatile compound composition of milk.* Lait 81:401–414.
- Cadwallader, K.R. et Singh, T.K. 2009. *Flavours and off-flavours in milk and dairy products.* Pages 631-690. Dans : Advanced Dairy Chemistry, Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents. McSweeney, P.L.H. et Fox, P.F., éd. Springer Science + Business Media, LLC, New York, NY.
- d'Acampora Zellner, B., Dugo, P., Dugo, G. et Mondello, L. 2007. *Gas chromatography-olfactometry in food flavour analysis.* J. Chromatogr. A. 1186:123–143.

- Day, E.A. 1966. *Role of milk lipids in flavors of dairy products*. Pages 94-120. Dans : Advances in Chemistry Series 56 - Flavor chemistry. Gould, R.F. ed. American Chemical Society, Washington, DC.
- Favaro, G., Magno, F., Boaretto, A., Bailoni, L. et Mantovani, R. 2005. *Traceability of Asiago mountain cheese: A rapid, low-cost analytical procedure for its Identification based on solid-phase microextraction*. J. Dairy Sci. 88:3426-3434.
- Forss, D.A. 1979. *Review of the progress of dairy science: mechanisms of formation of aroma compounds in milk and milk products*. J. Dairy Res. 46:691-706.
- Friedrich, J.E. et Acree, T.E. 1998. *Gas chromatography olfactometry (GC/O) of dairy products*. Int. Dairy J. 8:235-241.
- Gaspardo, B., Giuseppe, P., Volarič, S., Sgorlon, S. et Stefanon, B. 2009. *Determination of volatile fractions in raw milk and ripened cheese by means of GC-MS. Results of a survey performed in the marginal area between Italy and Slovenia*. Ital. J. Anim. Sci. 8:377-390.
- Gordon, D.T. et Morgan, M.E. 1972. *Principal volatile compounds in feed flavored milk*. J. Dairy Sci. 55:905-912.
- Griffiths, D.W., Robertson, G.W., Shepherd, T. et Ramsay, G. 1999. *Epicuticular waxes and volatiles from faba bean (*Vicia faba*) flowers*. Phytochemistry 52:607-612.
- Jensen, R.G. et Newberg., D.S. 1995. *Bovine milk lipids*. Pages 543-575. Dans : Handbook of milk composition. Jensen, R.G. ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Kalač, P. 2011. *The effects of silage feeding on some sensory and health attributes of cow's milk: A review*. J. Food Chem. 125:307-317.
- Kinsella, J.E., Patton, S. et Dimick, P.S. 1967. *The flavor potential of milk fat. A review of its chemical nature and biochemical origin*. J. Am. Oil Chem. Soc. 44:449-454.
- MacGibbon, A.K.H. et Taylor, M.W. 2006. *Composition and structure of bovine milk lipids*. Pages 1-42. Dans : Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids, 3rd ed. Fox, P.F. et McSweeney, P.L.H., Springer, New-York.
- Marsili, R.T., 2003. *Flavours and off-flavours in dairy foods*. Pages 1069-1081. Dans : Encyclopedia of Dairy Science. H. Roginski, J.W. Fuquay, et P.F. Fox, ed. Academic Press, London.
- McGorrin, R.J. 2007. *Flavor analysis of dairy products*. Pages 23-49. Dans : American Chemical Society Symposium Series 971 - Flavor of Dairy Products. Keith, R., Cadwallader, K.R., Drake, M.A., McGorrin, R.J., éd. American Chemical Society, Washington, DC.
- McGorrin, R.J. 2001. *Advances in dairy flavour chemistry*. Dans : Food Flavours and Chemistry—Advances of the New Millennium. Spanier, A.H., Shahidi, F., Parliament, T.H., Mussinan, C., Ho, C.-T. et Contis, E.T., éd) pp. 67-84. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Moio, L., Dekimpe, J., Etievant, P. et Addeo, F. 1993. *Neutral volatile compounds in the raw milks from different species*. J. Dairy Res. 60:199-213.
- Moio, L., Etievant, P., Langlois, D., Dekimpe, J. et Adeo, F. 1994. *Detection of powerful odorant in heated milk by use of extract dilution sniffing analysis*. J. Dairy Res. 61:385-394.

- Moio, L., Rillo, L., Ledda, A. et Addeoao, F. 1996. *Odorous constituents of ovine milk in relationship to diet.* J. Dairy Sci. 79:1322–1331.
- Molimard, P., Le Quere, J.L. et Spinnler, H.E. 1997. *Les lipides et la flaveur des produits laitiers.* Oléagineux, Corps Gras, Lipides 4:301–11.
- Morgan, M.E., et Pereira, R.L. 1962a. *Volatile constituents of grass and corn silage. I. Steam distillates.* J. Dairy Sci. 45:457–466.
- Morgan, M.E., et Pereira, R.L. 1962b. *Volatile constituents of grass and corn silage. II. Gas-entrained aroma.* J. Dairy Sci. 45:467–471.
- Mounchili, A., Wichtel, J.J., Bosset, J.O., Dohoo, I.R., Imhof, M., Altieri, D., Mallia, S. et Stryhn, H. 2005. *HS-SPME gas chromatographic characterization of volatile compounds in milk tainted with off-flavour.* Int. Dairy J. 15:1203–1215.
- Nursten, H.E. 1997. *The flavour of milk and dairy products: 1. Milk of different kinds, milk powder, butter and cream.* Int. J. Dairy Technol. 50:48–56.
- Randby, A.T., Selmer-Olsen, I. et Baevre, L. 1999. *Effect of ethanol in feed on milk flavor and chemical composition.* J. Dairy Sci. 82:420–428.
- Santos, M.V., Ma, Y., Caplan, Z. et Barbano, D.M. 2003. *Sensory threshold of off-flavors caused by proteolysis and lipolysis in milk.* J. Dairy Sci. 86:1601–1607.
- Toso, B., Procida, G. et Stefanon, B. 2002. *Determination of volatile compounds in cow's milk using headspace GC-MS.* J. Dairy Res. 69:569–577.
- Urbach, G. 1990. *Effect of feed on flavor in dairy foods.* J. Dairy Sci. 73:3639–3650.
- Viallon, C., Martin, B., Verdier-Metz, I., Pradel, P., Garel, J.P., Coulon, J.B. et Berdagué, J.L. 2000. *Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat.* Lait 80:635–641.
- Villeneuve, M.P., Lebeuf, Y., Gervais, R., Tremblay, G.F., Vuillemand, J.C. et Chouinard, P.Y. 2012. *Propriétés sensorielles et abondance de composés volatils retrouvés dans le lait de vaches ayant consommé de la fléole sous forme de foin, d'ensilage ou de pâturage.* Affiche n° 3. Dans : Forum Technologique Novalait – Carrefour des compétences, savoirs et savoir-faire laitiers. 29 mai, Hôtel et suites Le Dauphin, Drummondville QC.