

GUIDE METHODOLOGIQUE

EVALUATION de la **PERFORMANCE MATIÈRE** En TRANSFORMATION FROMAGÈRE

Avec la participation de :



Décembre 2014

Remerciements

Ce guide est issu d'un travail collaboratif qui n'aurait pu voir le jour sans le soutien de la DRAAF et nous l'en remercions.

Page
2

Ce projet a pu être finalisé grâce à la participation active du CTFC : Centre Technique des Fromages Comtois. Nous remercions particulièrement Eric NOTZ son Directeur ainsi que Didier FLECHON et Marie BOILLON pour leur aide précieuse.

Le travail théorique n'étant rien sans le terrain, nous remercions chaleureusement les fromageries qui nous ont accueillies pour les phases de test de ce guide :

- Fromagerie Badoz (25)
- Fromagerie Pâturage Comtois (70)
- Coopérative de Mont-Rivel (39)
- Coopérative de La Marre (39)
- Coopérative de Boujailles (25)
- Coopérative de Flangebouche (25)

Merci également à l'ensemble de l'équipe Recherche et Développement de l'Enilbio de Poligny pour sa participation à ce projet ainsi qu'aux enseignants en technologie laitière.

Les personnes suivantes ont été impliquées dans la réalisation du projet :

Au CTFC : Eric NOTZ (Directeur), Didier FLECHON (Responsable technologie Comté) et Marie BOILLON (technicienne assistance fromagerie).

A l'ENILBIO : Sébastien ROUSTEL (Directeur Recherche et développement), Yves GAUZERE (Enseignant chargé d'application), Joëlle BIRCKNER (Enseignante chargée d'application), Fabrice BUCHIN (Technicien chargé d'application), Mathieu CALLOL (Technicien chargé d'application), Carine TORIS (Technicienne chargée d'application), Isabelle CUVILLIER (Assistante administrative), Fabienne GROUALLE (Technicienne) et Sylvanie MULLER (Technicienne).

Sommaire

1- Préambule : pourquoi ce guide ?

2- Quels sont les enjeux de maîtrise de la performance matière dans le cadre d'un atelier produisant des produits sous signe officiel de qualité ?

2-1 Part de la matière dans le coût de revient

2-2 Notion de rendement fromager et coefficients de récupération

2-3 Pertes matières et impact environnemental

3- Bilan matière d'une entreprise fromagère : quelle méthodologie ?

3-1 Définitions - objectifs

3-2 Principe

3-3 Méthodologie de mise en œuvre

3-4 Interprétation des données

4- Aspects pratiques de la mise en œuvre

5- Conclusion

Références bibliographiques

Tables des annexes :

A1 Impacts de la température sur la mesure de volume

A2 Composition du lait en matières azotées

A3 Variations saisonnières de la matière azotée protéique

Table des abréviations et des sigles

- MG : Matière grasse
- MAP : Matière azotée protéique
- MP : Matière protéique
- NT : Azote totale
- MAT : Matière azotée totale
- EST : Extrait sec total
- ESD : Extrait sec dégraissé
- DCO : Demande chimique en oxygène
- DBO₅ : Demande biologique en oxygène sur 5 jours



Point de vigilance dans la mise en place du bilan

1- Préambule : pourquoi ce guide ?

L'évaluation, la maîtrise et l'optimisation des rendements fromagers et des freintes durant l'affinage des fromages sont un des points importants dans la compétitivité des structures de production fromagère.

Cependant, ces évaluations sont complexes dans leurs mises en œuvre en termes de temps, de suivi et d'échantillonnage. Elles nécessitent par ailleurs des analyses hors des plans de contrôles habituels.

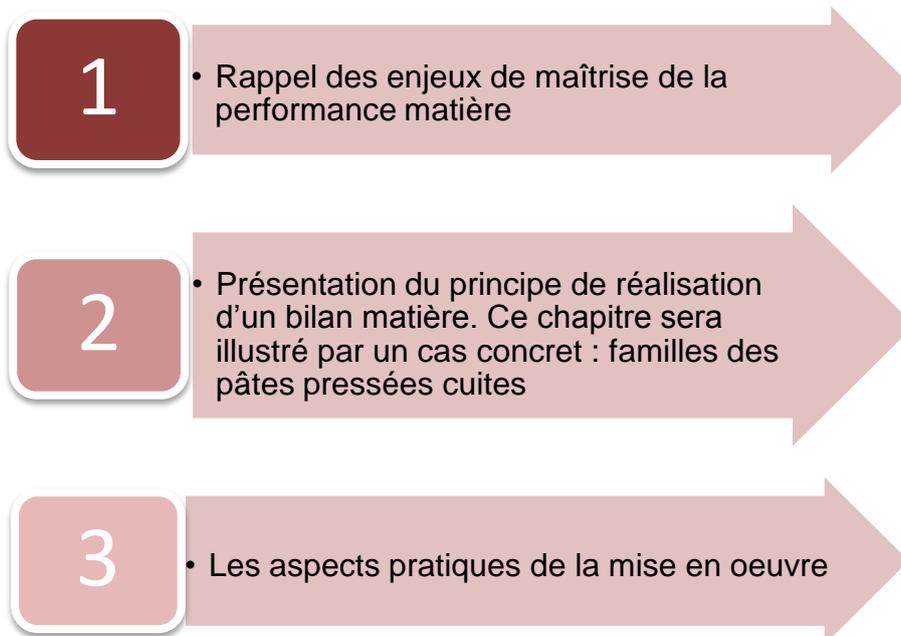
De ce fait, les structures fromagères régionales ne rendent pas toujours prioritaire la mise en place de démarches d'évaluation de la performance matière.

Pourtant, ces démarches sont primordiales dans l'amélioration de la performance économique. En effet, une meilleure valorisation de la matière permet, d'une part, l'optimisation des prix de revient, et d'autre part, une diminution des pertes matières donc des rejets à traiter.

L'objectif de ce guide d'évaluation de la performance est d'élaborer un outil avec les bonnes pratiques pour :

- faire un bilan matière simplifié ;
- rechercher et limiter les pertes matières.

Ce guide se compose de trois parties :



2- Quels sont les enjeux de maîtrise de la performance matière dans le cadre d'un atelier produisant des produits sous signe officiel de qualité ?

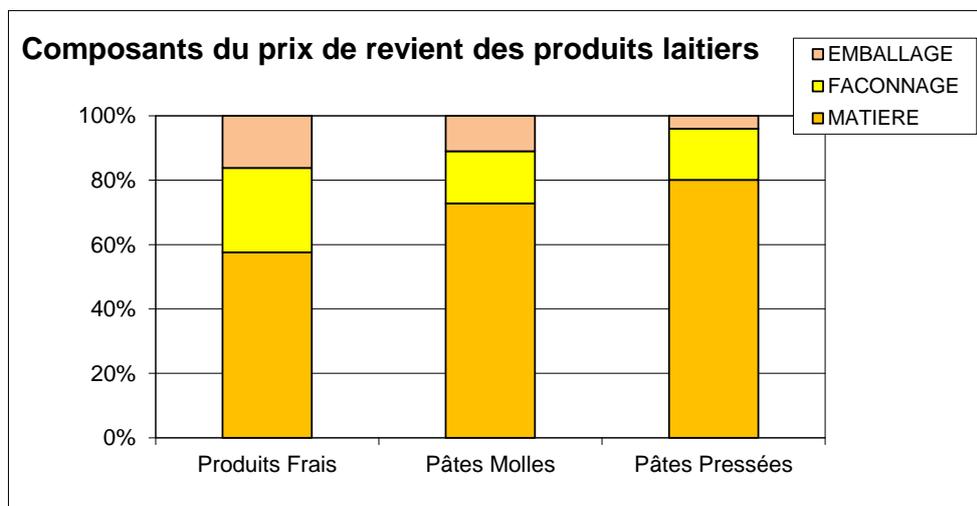
2-1 Part de la matière dans le coût de revient

Le coût de revient sortie fromagerie peut être décomposé en trois types de coûts :

- La matière première composée majoritairement du lait et des ingrédients utilisés ;
- Le façonnage correspondant à la main d'œuvre mobilisée ;
- L'emballage correspondant aux coûts des consommables qui permettront de conditionner le produit.

Comme l'illustre la figure n°1 ci-dessous, la part de la matière première lait intervient majoritairement dans le coût de revient des produits laitiers.

En effet, la matière première représente de 58% (famille des fromages frais) à 80% (familles de pâtes pressées cuites) du prix de revient selon les familles et le rendement de fabrication.



	Produits Frais	Pâtes Molles	Pâtes Pressées
MATIÈRE	58%	73%	80%
FACONNAGE	26%	16%	16%
EMBALLAGE	16%	11%	4%

Figure 1 : Composants du prix de revient de différents produits laitiers
Source : données internes Enilbio Poligny

De ce fait, toutes les actions qui permettront d'optimiser la valorisation de la matière ou limiter les pertes matières auront un effet bénéfique sur la rentabilité de l'atelier de transformation.

2-2 Notion de rendement fromager et coefficient de récupération

Il existe plusieurs façons d'exprimer les notions de valorisation de la matière mise en œuvre lors de la transformation fromagère.

- Notion de rendement :

Cette notion cherche à exprimer la quantité de produits fabriqués par rapport à la matière première lait mise en œuvre.

Généralement, il est exprimé par la quantité de fromage (kg) obtenue à partir d'une quantité donnée de lait, souvent 100 L ou 100 kg.

Il faut cependant être vigilant sur la comparaison des rendements entre plusieurs fabrications. En effet on ne peut comparer que les rendements de fromages de même composition et fabriqués à partir de laits identiques.

Dans le cas contraire il est nécessaire de calculer un rendement corrigé selon la méthode de calcul du rendement corrigé à même EST du fromage témoin selon MAUBOIS (tableau n°1).

Tableau n°1 : Formule de calculs de rendements

Rendements	Unités	Formule
Brut R_0	kg/100 Kg	$R_0 = \frac{P_f}{P_l}$
Corrigé R_c (même EST du fromage témoin selon MAUBOIS)	kg/100 Kg	$R_c = R_0 \times \frac{EST_f - EST_s}{EST_c - EST_s}$

P_f : poids de fromage au démoulage

P_l : poids de lait mise en œuvre

EST_f : Extrait Sec Total fromage

EST_s : Extrait Sec Total sérum d'égouttage

EST_c : Extrait sec cible

Le tableau n° 2 montre un exemple de calcul de rendement corrigé pour 2 fabrications (E1 et E2) par rapport à une fabrication témoin :

Tableau n°2 : Exemple de calcul de rendements

	EST	Rendement brut	Rendement Corrigé à même valeur d'EST (EST _s = 57 g/kg)
	%	kg/100 Kg	kg/100 Kg
Témoin	53.5	12.75	12.75
E1	52.0	13.00	$13,00 \times [(520 - 57) / (535 - 57)] =$ 12,59
E2	55.0	12.50	$12,50 \times [(550 - 57) / (535 - 57)] =$ 12,89

Les 2 méthodes de calcul permettent d'observer des écarts entre les rendements selon Maubois et les rendements bruts qui peuvent amener à des interprétations erronées.

En effet, si l'on raisonne uniquement en rendement brut on pourrait conclure que l'essai 1 donne de meilleurs résultats. Le calcul du rendement corrigé montre que c'est en fait l'essai 2 qui donne un rendement plus élevé.

- Notion de coefficient de récupération :

Cette notion permet d'exprimer la quantité d'un constituant ou d'un groupe de constituants qui est récupérée dans le produit fini par rapport à la quantité présente initialement dans le lait mis en œuvre.

Le tableau n°3 précise les modalités de calcul des coefficients de récupération les plus couramment utilisés.

Il est ainsi possible de calculer les coefficients de récupération de MG, MAT, EST. Le calcul du coefficient de récupération de MAP est plus complexe du fait de la difficulté de doser la MAP au niveau du fromage.

Tableau n°3 : Mode de calcul des coefficients de récupération

Coefficient de récupération	Formule
Récupération de la MG	$= \frac{MG\ f \times Q\ f}{MG\ l \times Q\ l}$
Récupération des MAT	$= \frac{MAT\ f \times Q\ f}{MAT\ l \times Q\ l}$
Récupération de l'EST	$= \frac{EST\ f \times Q\ f}{EST\ l \times Q\ l}$

Q f = Poids fromage; Ql = poids lait
 MG f = MG fromage, MG l = MG lait
 MAT f = MAT fromage, MAT l = MAT lait
 EST f = EST fromage, EST l = EST lait,

- Quelques valeurs de référence par famille de produits :

Le tableau n°4 précise des valeurs de rendements et coefficients de récupération moyens par famille de produits :

Tableau n°4 : valeurs de rendements et coefficients de récupération moyens par famille de produits

Mietton, 1991	Composition des fromages au démoulage (%)		Composition du lactosérum au moulage (g/kg)			Rendement fromager kg/100kg lait	Coefficients de récupération (%)		
	ES	G/S	EST	MG	MAT		MG	MAT	ESD
Fromages	ES	G/S	EST	MG	MAT	kg/100kg lait	MG	MAT	ESD
Fromages frais maigres	13.5	0	58-62 ^x	0	6.5-8.0 ^x	35-45		82-84	44-48
Fromages frais moulés	38	40	64-65 ^x	0.5-1	8.4-8.5 ^x	16-18	96-98	77-82 ^x	38-44 ^x
Camembert traditionnel	40	44-45	64-65	0.5-1	8.4-8.6	14-15	95-96	76-77	34-36
Munster et Camembert industriel	42	44-45	64-66	1-2	8.5-8.7	14-15	93-95	76-77	33-35
Pâte stabilisées	44-46	45	65-67	2-3.5	8.7-8.9	12.5-13.5	91-92	75-76	31-32
Saint- paulin	46-47	40	Variable suivant le taux de dé lactosage			10.5-11	88-90	75-78	33-34
Cheddar	62-64	52-54	68-70	4-5	8.8-8.9	9.5	88-91	73-75	31-33
Emmental Comté	60.5 61.5	45-48	70-72	4-6	8.8-9.0	8.5-9.5	82-88	73-75	31-32

^x variable suivant le niveau de température du traitement thermique du lait qui insolubilise une partie des MAPs

Source : Mietton (1991)

Initiation à la technologie fromagère (Tec et Doc) Tableau 11 page 98

2-3 Pertes matières et impact environnemental

Comme évoqué précédemment, certaines pertes peuvent être mesurées de façon indirecte par la mesure de la quantité de matières présentes dans les effluents des ateliers.

Il s'agit de :

- pertes liées au process ;
- pertes accidentelles non prévues.

Outre la perte matière directe, cette charge dans les effluents va entraîner des coûts importants liés :

- aux frais de traitement des effluents et d'épandage des boues ;
- à une mauvaise estimation des investissements pour le traitement des rejets ;
- à un risque de non-respect de la législation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement).

Dans le cadre de la réglementation, cette charge de matière se mesure habituellement selon les critères suivants :

- **DCO : Demande Chimique en Oxygène**

La DCO est la quantité d'oxydant chimique (dichromate de potassium) nécessaire pour oxyder la matière organique dans un litre d'effluent. La valeur de DCO s'exprime en mg/L.

- **DBO : Demande Biologique en Oxygène**

Représente la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader par voie biologique les matières organiques biodégradables d'un échantillon d'effluent. Habituellement cet échantillon est maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. On parle alors de DBO5.

La valeur moyenne de DCO sur les effluents de 14 laiteries et fromageries en France est de 3700 mg/L avec des extrêmes de 2000 à 6000 mg/L (Buson, 1993).

Dans le cadre de l'optimisation de la performance matière il peut être intéressant de relier les valeurs de DCO avec les équivalents en produits laitiers. Il existe des équivalences variables selon les auteurs. On peut citer en moyenne (Pointurier, 2003) :

Matières	Equivalences en g de DCO
1 L lait entier	180 à 230
1 L lait écrémé	100 à 150
1 L lactosérum	60 à 70

Un exemple d'interprétation est donné dans le tableau n°3 :

Tableau n°3 : Interprétation des résultats d'analyses sur les effluents en termes d'équivalent pertes matières

Volume effluent	DCO effluent	Quantité de DCO jour	de DCO moyenne par litre lait entier	Equivalent théorique en L de lait entier
L/jour	mg/L	g DCO	g DCO /L	L lait entier
30 000	5 000	150 000	205	732

Dans cet exemple une DCO de 5000 mg/L avec 30000 L d'effluent jour correspond à un équivalent matière première lait théorique de 732 L.

3- Bilan matière d'une entreprise fromagère : quelle méthodologie ?

3-1 Définition et objectifs

Le bilan matière consiste à comparer, en volume et composition, les matières mises en œuvre qui constituent les entrées et les produits issus de la fabrication qui constituent les sorties.

Le bilan matière est en fait un tableau de flux où l'on met en comparaison la somme des flux entrée avec la somme des flux sortie en tenant compte des stocks initiaux et finaux. (Perrot et Pointurier).

L'objectif du bilan matière consiste à déceler, mesurer et réduire les pertes.

3-2 Principe

La réalisation d'un bilan global : lait payé producteur – fromage fabriqué peut être envisagé dans une petite structure avec une absence de report de lait.

Pour des structures de taille plus importantes il sera indispensable de réaliser des bilans partiels :

- Bilan payé-reçu ;
- Bilan stockage ;
- Bilan préparation et bilan fabrication par atelier.

En effet dans le cas contraire les incertitudes seraient trop importantes et pourraient masquer des erreurs et pertes conséquentes. (Mietton).

La comparaison s'effectue en **quantité** des différents composants. Les données à exploiter sont donc des données de quantités (volume ou poids) et de concentration (figure n°2).

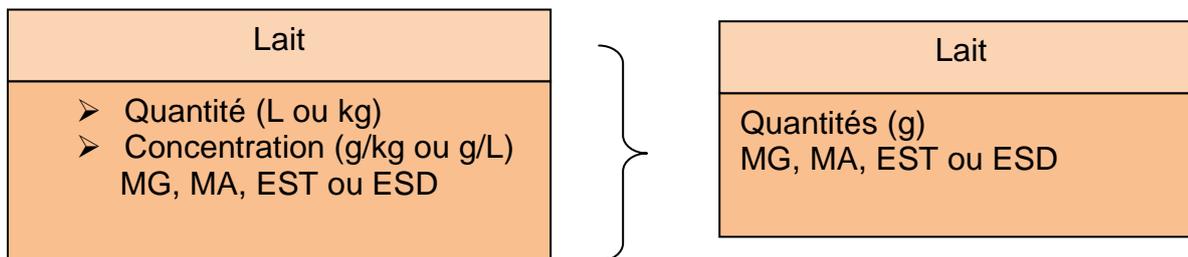


Figure n°2 : Notion de quantité mise en œuvre

Les éléments à prendre en compte sont schématisés dans la figure n°3.

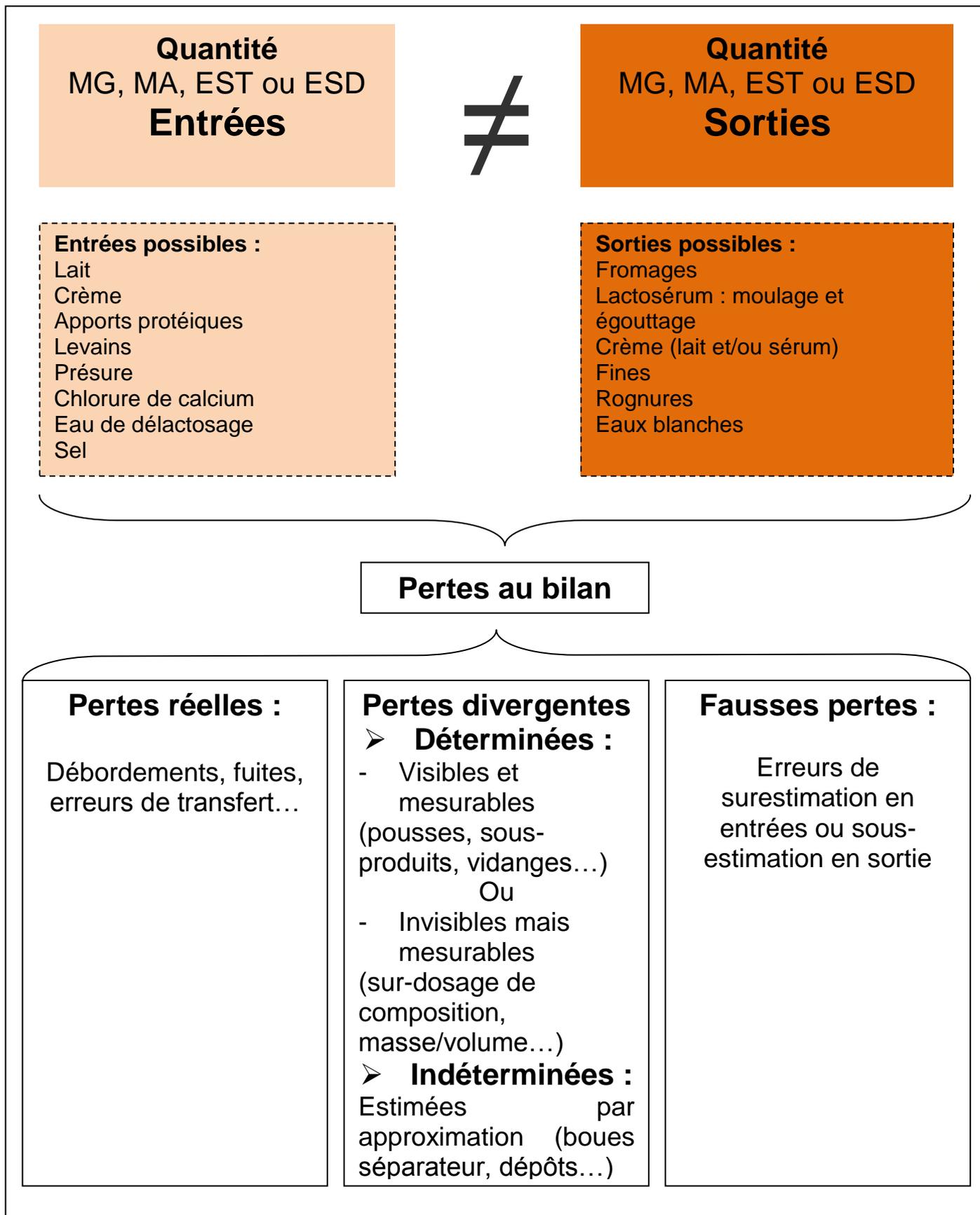


Figure n°3 : Données à prendre en compte pour l'élaboration d'un bilan matière

Le bilan matière s'effectue sur une période donnée, par exemple, sur une journée de fabrication. La difficulté est de pouvoir définir la limite de fin pour les sites qui transforment en continu.

La réalisation d'un bilan matière oblige à rechercher des données au préalable :

- Il est nécessaire de connaître en détail le flux matière des entrées et des sorties ;
- La disponibilité et la capacité de réaliser certaines analyses peuvent limiter les différents bilans réalisés ;
- Il est important de valider la capacité des équipements de mesure en place voire de s'équiper ponctuellement ;
- Valider l'échantillonnage des différentes matières afin d'obtenir des résultats d'analyses qui soient représentatifs.

3-3 Méthodologie de mise en œuvre :

La méthodologie utilisée est la suivante :

1 Prise en compte des flux de l'atelier et connaissances des capacités du matériel utilisé.

Un questionnaire qui peut servir de base pour cette prise en compte a été utilisé et testé dans les fromageries utilisées comme support.

(Il peut être fourni sur demande au service recherche et développement de l'Enilbio)

2 Relevé de l'ensemble des données de quantité lors de la fabrication et prélèvement des échantillons représentatifs en vue d'analyses.

3 Création d'une feuille de calcul et saisie des données après uniformisation des données :

4 Prise en compte des incertitudes de mesures et vérification de l'équilibre du bilan avec interprétation des résultats.

5 Calcul des descripteurs souhaités et des rendements fromagers.

Pour illustrer la mise en œuvre d'un bilan matière, nous allons utiliser le cas d'une fabrication de pâtes pressée cuite au lait cru.

Le tableau n°6 décrit les données relevées lors de la fabrication et donnent les résultats des analyses.

Tableau n°6 : données relevées lors de la fabrication et résultats des analyses.

		Résultats analytiques												
		Poids	Δx	MV20	MG	Δx	MG	MAT	Δx	MAP	Δx	EST	Δx	ESD
		kg	kg		g/L	g/L	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Entrées	Lait	410,00	0,40	1,0292	37,00	0,25	35,95			32,76	0,16	123,50	0,51	87,55
	Présure diluée	0,05	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0
		Résultats analytiques												
		Poids	Δx	MV20	MG	Δx		MAT	Δx	MAP	Δx	EST	Δx	ESD
		kg	kg											
Sorties	Fromage	39,43	0,40			1,27	340,00					630,00	1,80	290,00
	Sérum moulage	356,00	0,40	1,025	5,00	0,25	4,88			7,55	0,16	69,90	0,51	65,02
	Sérum égouttage	8,82	0,40	1,025	3,00	0,25	2,93			7,81	0,16	67,80	0,51	64,87

Valeurs mesurées ou analysées
Valeurs calculées

Le tableau n°7 correspond à un exemple de feuille de calcul créée sur un tableur.

Tableau n°7 : Feuille de calcul du bilan matière

ENILBIO Recherche et Développement
Laboratoire de technologie
39800 POLIGNY

BILAN DE FABRICATION **PPC**
Nombre de fromage: **1**

CONTROLES ET ANALYSES	Mv20 (1.0...)	POIDS (kg)	Inc. Poids (kg)	M.G. (g/l)	MAP (g/kg)	E.S.T. (g/kg)	E.S.D. (g/kg)
LAIT	1,0292	410,00	0,40	37,00	32,76	123,50	87,55
Pésure diluée		0,05	0,00				
Eau dé lactosage		0,00	0,00				
Sel		0,00	0,00				
				MG (g/kg)			
FROMAGE		39,434	0,400	340,00		630,00	290,00
Sérum calculé		370,62					
Sérum Moulage	1,025	356,00	0,40	5,00	7,55	69,90	65,02
Sérum Egouttage	1,025	8,82	0,04	3,00	7,81	67,80	64,87
INCERTITUDES ABSOLUES DES ANALYSES en g/kg				M.G.	N	E.S.T.	
= Δ x +2 Sr / √n							
	Laits et Sérums		->	0,25	0,16	0,51	
	Fromage		->	1,27	0,16	1,8	
RESULTATS PONDERAUX		POIDS (kg)		MG (kg)	N (kg)	EST (kg)	ESD (kg)
TOTAL DES ENTREES		410,054		14,740	13,432	50,635	35,895
TOTAL DES SORTIES		404,254		15,170		50,326	35,156
ECART SORTIES-ENTREES		-5,800		0,430		-0,309	-0,740
INCERTITUDES ABSOLUES		POIDS (kg)		MG (kg)	N (kg)	EST (kg)	ESD (kg)
Incertitudes Entrées		0,401		0,117	0,079	0,259	0,375
Incertitudes Sorties							
Fromage		0,400		0,186		0,323	0,509
Sérum Moulage		0,400		0,091		0,210	
Sérum Egouttage		0,040		0,002	0,002	0,007	0,010
TOTAL		0,840		0,279	0,002	0,540	0,519
INCERTITUDES RELATIVES %		0,30		2,69	0,60	1,58	2,49
ECART SORTIES/ENTREES %		-1,41		2,92	0,00	-0,61	-2,06

ATTENTION: Le bilan est équilibré seulement si les écarts Sorties/Entrées en valeur absolue sont inférieurs ou égaux aux incertitudes relatives calculées

1 1 - Dans cette partie de la fiche, sont rentrés tous les résultats des analyses effectuées sur les laits, fromages et sérums. Sont également entrés les poids des différents produits ainsi que les incertitudes de ces contrôles.

2 2- Les incertitudes absolues liées aux analyses sont répertoriées. Cette incertitude est égale à la valeur de l'incertitude absolue de la méthode utilisée.

3 3-Comparatifs entrées-sorties
Dans cette partie, sont calculées les entrées et les sorties totales des différents composants analysés.

On calcule également les écarts entre les sorties et les entrées.

Dans notre cas : entrées = lait ; sorties = sérum moulage et égouttage + fromage.

4 4 - Calcul des incertitudes absolues

On sait que l'incertitude relative ($\Delta a/a$) d'un produit ($a = b \times c$) ou d'un quotient ($a = b/c$) est égale à la somme des incertitudes relatives de chacun des termes. D'où

$$a = b \times c \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$$

et

$$a = \frac{b}{c} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$$

* Par exemple, pour le calcul de l'incertitude absolue commise sur la connaissance de l'EST du lait, nous aurons :

$$\Delta EST = (EST_{\text{lait}} \times \text{poids}_{\text{lait}}) \times \left(\frac{\text{incertitude analyse}}{\text{résultat analyse EST}} + \frac{\text{incertitude poids}}{\text{poids}_{\text{lait}}} \right)$$

* Si nous reprenons les résultats de la feuille de calcul pour ΔEST du lait en entrée :

$$\Delta EST = (0.12350 \times 410) \times \left(\frac{0,51}{123.50} + \frac{0,40}{410} \right) = \mathbf{0,259 \text{ kg}}$$

5 - incertitude de la chaîne analytique

5 * Suivant le théorème des incertitudes absolues, l'incertitude absolue (Δa) d'une somme ($a = b + c$) ou d'une différence ($a = b - c$) est égale à la somme des incertitudes absolues de chacun des termes.

D'où

$$a = b + c \quad \Rightarrow \quad \Delta a = \Delta b + \Delta c$$

$$\text{et } a = b - c \quad \Rightarrow \quad \Delta a = \Delta b + \Delta c$$

* Par conséquent, l'incertitude absolue commise dans l'établissement d'un bilan matière sera égale à la somme des incertitudes absolues à chaque niveau de contrôle (lait, fromage, sérum).

* Pour le bilan EST, l'incertitude absolue commise sur le bilan sera égale à :

$$\Delta \text{EST (kg)} = \Delta \text{EST}_{\text{lait}} \text{ (kg)} + \Delta \text{EST}_{\text{fromage}} \text{ (kg)} + \Delta \text{EST}_{\text{sérum}} \text{ (kg)}$$

* Pour calculer l'incertitude relative de la chaîne analytique, nous diviserons l'incertitude absolue par la valeur observée sur les entrées. Soit pour l'exemple des EST :

$$\frac{\Delta \text{EST}}{\text{EST}} \text{ de la chaîne} = \frac{\Delta \text{EST}_{\text{lait}} + \Delta \text{EST}_{\text{fromage}} + \Delta \text{EST}_{\text{sérum}}}{\text{EST}_{\text{lait}}} \times 100$$

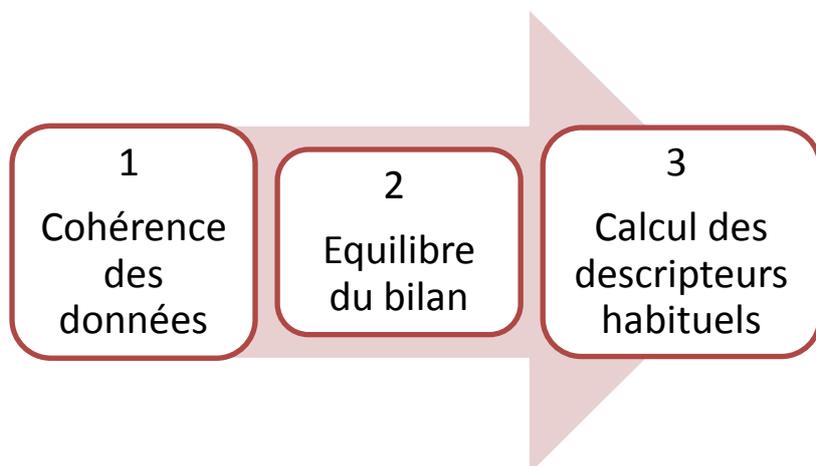
3-4 Interprétation des données et points de vigilance

Un bilan de fromagerie ne peut pas être comparé à un bilan comptable. Il y aura, en effet, forcément des écarts.

De ce fait, pour valider un bilan ou au contraire considéré qu'il n'est pas exploitable, il faut réaliser le calcul des incertitudes cumulées de la chaîne analytique.

Nous validerons le bilan quand l'écart constaté sorties/entrées exprimé en % des entrées sera inférieur ou à la limite égal à l'incertitude relative permise par la chaîne analytique.

L'analyse du bilan de fait dans l'ordre suivant :



3-4-1 Cohérence des données



Veillez à convertir l'ensemble des données dans la même unité. Il est recommandé de convertir les quantités en kg et les concentrations en g/kg.

➤ Entrées :

Dans notre cas d'étude, nous n'avons considéré que la matière première lait et le coagulant.

❖ Données relatives au lait :

Le lait présente les caractéristiques suivantes :

Tableau n°8 : caractéristiques du lait en entrée

CONTROLES ET ANALYSES	Mv20 (1.0...)	POIDS (kg)	Inc.Poids (kg)	M.G. (g/l)	MAP (g/kg)	E.S.T. (g/kg)	E.S.D. (g/kg)
LAIT	1,0292	410,00	0,40	37,00	32,76	123,50	87,55

✓ **Volume du lait** : dans notre cas la quantité de lait disponible est en kg.

✓ **Composition du lait** :

Le ratio MG/MP est de 1.13 : il n'y a pas eu d'écémage du lait.

La masse volumique est à déterminer afin de pouvoir homogénéiser les unités de mesure des concentrations en g/kg.



En effet, la matière grasse est, dans notre exemple, donnée en g/L par méthode Gerber.

➤ Sorties :



Dans notre cas d'étude, nous n'avons considéré que le fromage produit fini et le sérum de moulage et d'égouttage. Il peut être judicieux d'intégrer les fines et rognures sur la journée de fabrication suivie.

❖ Données relatives au sérum :

Les sérums moulage et égouttage présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau n°9 : caractéristiques des sérums en sortie

CONTROLES ET ANALYSES	Mv20 (1.0...)	POIDS (kg)	Inc.Poids (kg)	M.G. (g/l)	MAP (g/kg)	E.S.T. (g/kg)	E.S.D. (g/kg)
Sérum Moulage	1,025	356,00	0,40	5,00	7,55	69,90	65,02
Sérum Egouttage	1,025	8,82	0,04	3,00	7,81	67,80	64,87

✓ **Volume du sérum :**



Pour valider la cohérence des données il peut être judicieux de calculer une quantité de sérum théorique comme suit :

Quantité sérum théorique = Quantité des entrées – quantité des sorties

Dans le cas de fabrication de PPC, il est logique que la quantité de sérum mesurée soit inférieure à la quantité calculée du fait du chauffage appliquée qui entraîne une évaporation. Cette perte d'eau est en générale estimée à 2% en volume.

✓ **Matières protéiques du sérum :**

Dans notre cas, le taux de MP du sérum est comprise entre 7 et 8 g/kg ce qui semble cohérent pour du sérum issu d'un technologique PPC au lait cru.

Cette matière azotée protéique est composée :

- des protéines solubles ;
- du caséino-macropéptide ;
- mais aussi potentiellement des fines.

On peut calculer le ratio en % de MAP sérum / MAP lait.

En moyenne pour le sérum moulage et égouttage : ce ratio est de 23%.

Cette valeur est correcte pour ce type de technologie au lait cru.

✓ **Matières grasses du sérum :**

Dans le cas étudié, le taux de MG du sérum moulage est de 5g/L et de 3 g/L pour le sérum sous presse.

A l'étape du moulage, le taux de matière grasse est logiquement plus élevé à cause des pertes liées aux opérations mécaniques telles que décaillage et brassage.

On peut calculer le ratio en % de MG sérum / MG lait.

Dans notre cas, en moyenne pour le sérum moulage et sous presse : ce ratio est de 13.38% ce qui est relativement élevé ; à noter que ce sérum sera bien sûr écrémé.

❖ **Données relatives au fromage :**

Dans notre étude les caractéristiques d'EST et MG fromage correspondent à la cible.

Tableau n°10 : caractéristiques des fromages en sortie

CONTROLES ET ANALYSES FROMAGE	Mv20 (1.0...)	POIDS (kg)	Inc.Poids (kg)	M.G. (g/kg)	MAP (g/kg)	E.S.T. (g/kg)	E.S.D. (g/kg)
		39,434	0,400	340,00		630,00	290,00

3-4-2 Equilibre du bilan

Comme évoqué précédemment, nous validerons le bilan quand l'écart sorties/entrées exprimé en % des entrées sera inférieur ou à la limite égal à l'incertitude relative permise par la chaîne analytique.

Voici les écarts constatés dans notre cas :

Tableau n°11 : écarts des entrées/sorties

	POIDS (kg)	MG (kg)	N (kg)	EST (kg)	ESD (kg)
INCERTITUDES RELATIVES %	0,30	2,69	0,60	1,58	2,49
ECART SORTIES/ENTRÉES %	-1,41	2,92	0,00	-0,61	-2,06
ATTENTION: <i>Le bilan est équilibré seulement si les écarts Sorties/Entrées en valeur absolue sont inférieurs ou égaux aux incertitudes relatives calculées</i>					

Cas 1 :

- L'écart sortie / entrée est inférieur aux incertitudes relatives : exemple de l'EST et ESD.
Dans ce cas le bilan est validé.

Cas 2 :

- L'écart sortie / entrée est supérieur aux incertitudes relatives : exemple du poids et de la MG.
Dans ce cas le bilan n'est pas validé.

En ce qui concerne le poids, l'explication vient certainement de l'évaporation du sérum au cours du chauffage.

En ce qui concerne la MG : les sorties MG sont supérieures aux entrées. Soit les entrées ont été sous-estimées ou soit les sorties surestimées (Défaut d'échantillonnage ou d'analyses).

Il faut également considérer les pertes de MG liées à l'agglomération sur les outils (tranche-caillé, poches...)

3-4-3 Calcul des descripteurs habituels

Les résultats sont donnés dans les tableaux 12,13 et 14 selon modalités précisées en 2-2.

Tableau n°12 : Composition du fromage en %

Descripteurs	%	Descripteurs	%
E.S.T. =	63,00	G/S =	53,97
E.S.D. =	29,00	H.F.D. =	56,06
M.G. =	34,00		
N calculé =	27,07		
N réel =	0,00		

Tableau n°13 : Calcul des rendements

RENDEMENTS:	BRUTS		CORRIGES		
	9,62 kg/100 kg	+/- 0,11	EST obj =	600,00	g/kg
	9,90 kg/100 l	+/- 0,11	ESD sér =	65,02	g/kg
	10,40 kg L/kg F	+/- 0,12	R.co =	10,16	kg/100kg
	10,10 l L/kg F	+/- 0,11		10,45	kg/100 l

Tableau n°14 : Coefficients de récupération

Coef. de récupération	%	
M.G. :	90,96 %	+/- 1,97
N cal :	79,48 %	+/- 2,45
E.S.T. :	49,06 %	+/- 0,79
E.S.D. :	31,86 %	+/- 1,62

4 Aspects pratiques de la mise en œuvre :

→ Comment mesurer la quantité de lait ?

Les situations les plus fréquemment rencontrées sont les suivantes :

- **Présence d'un volucompteur**, la quantité est dans ce cas donnée en litres.
 Cette pratique implique d'avoir sur la ligne un dégazeur pour limiter la présence de gaz dissous.
 Ces systèmes permettent une mesure en continu et une automatisation. Ils nécessitent par contre une maintenance préventive et un étalonnage régulier.

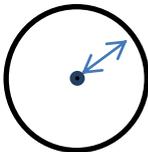
- Présence d'une jauge : la quantité est donnée en litres.
 Il faut être vigilant au maintien de la jauge en bon état : la jauge ne doit pas être tordue et être vérifiée régulièrement.
 Les jauges doivent être propres à chaque cuve.

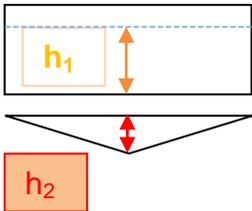
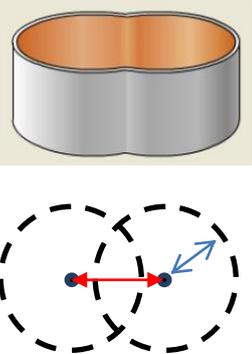
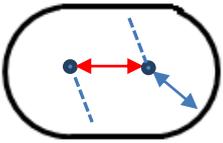
L'inconvénient majeur reste l'imprécision de ce système (une graduation correspond en générale à 50 L pour une cuve de 3000 L)
 Dans ce cas, il peut être nécessaire de vérifier par calcul le volume théorique dans la cuve.



Le tableau ci-dessous montre quelques exemples de volume relevé à la jauge et calculé en théorie :

Tableau n°15 : Modalité de calcul des volumes théoriques selon le format de la cuve

Forme de la cuve	Fond de la cuve	Mode de calcul	Comparatif terrain
Cuve ronde	à fond plat 	$V = h \times \pi r^2$ h = hauteur du liquide dans la cuve r = rayon cuve ↗	Volume réel jauge = 500 L +/- 50 Volume calculé : = 486 L $V_{\text{cylindre}} = 0.430 \times 3.14 \times (0.600)^2 = 0.486 \text{ m}^3$

Forme de la cuve	Fond de la cuve	Mode de calcul	Comparatif terrain
Cuve ronde	A fond conique h_1 = hauteur du liquide dans la cuve h_2 = hauteur du cône 	Volume cuve = V cylindre + V cône \Rightarrow V cylindre = $h_1 \times \pi r^2$ \Rightarrow V cône = $1/3 \times h_2 \times \pi r^2$	Volume réel jauge = 2700 L +/- 50 Volume calculé : = 2711 L V cylindre = $0.62 \times 3.14 \times (1.145)^2$ = 2.574 m^3 = 2574 L V cône = $1/3 \times 0.1 \times 3.14 \times (1.145)^2$ = 0.137 m^3 = 137 L
Cuve double 0		Volume cuve = $2[\pi r^2 - \frac{r^2}{2}(\alpha - \sin\alpha)] \times h$ Avec $\alpha = \arccos(\frac{2 \times \text{entraxe} - r}{r})$ h = hauteur du liquide dans la cuve r = rayon double O Entraxe = distance entre centre double O	Volume réel jauge = 4300 L +/- 50 Volume calculé : = 4348 L Avec $\alpha = 2.44$ = $\arccos(\frac{2 \times 74 - 110}{110})$ Et volume = $2[\pi r^2 - \frac{r^2}{2}(\alpha - \sin\alpha)] \times h$ = $2[\pi 110^2 - (110^2/2)(2.44 - \sin 2.44)] \times 80$
Cuve oblongue		V Volume cuve = $(\pi r^2 + 2r \times \text{entraxe}) \times h$ h = hauteur du liquide dans la cuve r = rayon double Entraxe = distance entre axe des tranche-caillé	Volume réel jauge = 400 L +/- 10 Volume calculé : = 406 L V Volume cuve = $(\pi \times 0.45^2 + 2 \times 0.45 \times 0.30) \times 0.448$

- Cuve sur pesons, la quantité est donnée en kg.

Cette solution permettra d'obtenir les résultats les plus représentatifs sous réserve d'étalonner régulièrement le système de pesée.

→ Problématique de la présence de mousse :

La présence de mousse peut fausser la détermination du volume.



Pour éviter cette formation, on doit prendre les précautions suivantes :

- Éliminer les prises d'air (raccords, pompes...) ;
- Préférer le remplissage des tanks par le bas ;
- Favoriser le remplissage des cuves avec écoulement du lait sur les parois.

→ Comment convertir le volume de lait en kg ?

La conversion se fera en kg grâce à la densité.



Il faut dans ce cas veiller à corriger l'impact température.

Un tableau de conversion est donné en annexe 1.

En effet la température modifie le volume par dilatation pour une même masse. Par ailleurs, dans le cas du lait, il faut également tenir compte de la teneur en MG.

La mesure de la densité se fait par utilisation d'un densimètre à 20°C.

→ Comment mesurer la quantité de sérum ?

Afin de simplifier les mesures de volumes et l'échantillonnage il est recommandé de séparer :

- Le sérum de moulage ;
- Le sérum d'égouttage extrait lors de l'acidification et/ou sous presse.

L'idéal est de pouvoir récupérer la totalité du sérum pour une valeur la plus juste possible de la quantité et un échantillon qui soit représentatif car prélevé sur le volume total.

Il sera donc nécessaire d'adapter les moyens de récupération en fonction du matériel et des volumes attendus. En effet, selon la technologie l'égouttage s'effectue majoritairement en cuve ou lors de l'acidification en moule.

La figure n°4 illustre les dynamiques d'égouttage selon les technologies présure ou lactique.

En technologie présure, l'égouttage s'effectue majoritairement en cuve (entre 94 et 96% du volume total de sérum) et faiblement en moules (entre 4 et 6 % du volume total de sérum).

A l'inverse en technologie lactique, l'égouttage en bassine est plus faible (environ 40 à 50% du volume total de sérum) et plus important en moules (environ 50 à 60% du volume total de sérum).

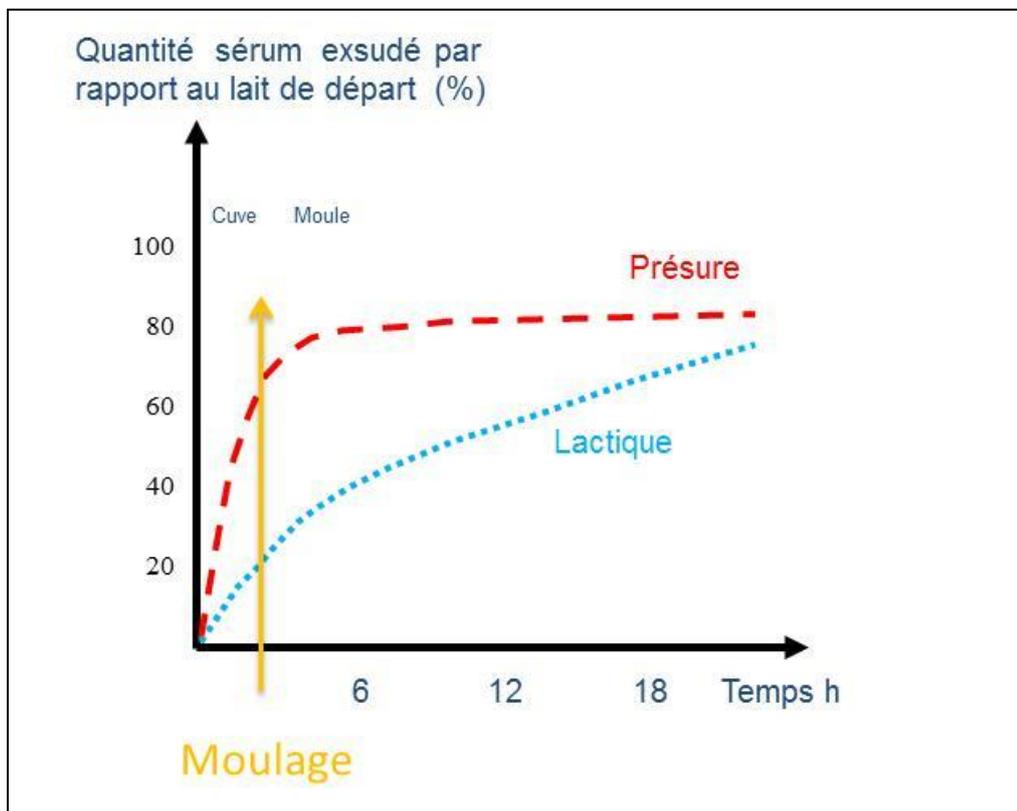


Figure n°4 : Dynamique d'égouttage selon modélisation lactique ou présure
Source : ENILBIO

→ Comment mesurer la quantité de fromage ?

Il faut, dans la mesure du possible, réduire le nombre de pesée intermédiaire afin de limiter les incertitudes absolues.

Afin d'illustrer ce point, nous allons détailler un cas concret :

Comment peser au mieux 8 fromages au démoulage (dans leur cercle et sur leur foncet) ?

En moyenne les fromages font 42 kg et cercle avec foncet = 7 kg (soit $42 \times 8 = 336$ kg net) :

Le tableau n°16 compare différents cas de pesée.

Tableau n°16 : Comparatif de différents cas de pesée de fromages
(Source : B. Mietton)

Balance A	Balance B
Portée maxi = 600 Kg Valeur à ± 0.2 kg	Portée maxi = 60 Kg Valeur à ± 0.02 kg
1° cas : <ul style="list-style-type: none"> • Pesée de chaque fromage dans son cercle et son foncet • Pesée de chaque foncet et cercle Soit au total : $8 \times 2 = 16$ contrôles de poids	
$16 \times 0.2 = 3.2$ kg soit 336 kg ± 3.2 kg	$16 \times 0.02 = 0.32$ kg soit 336 kg ± 0.32 kg
2° cas : <ul style="list-style-type: none"> • Pesée de chaque fromage dans son cercle et son foncet • Pesée globale des foncets et cercles Soit au total : $8 + 1 = 9$ contrôles de poids	
$9 \times 0.2 = 1.8$ kg soit 336 kg ± 1.8 kg	$9 \times 0.02 = 0.18$ kg soit 336 kg ± 0.18 kg
3° cas : <ul style="list-style-type: none"> • Pesée globale des fromages dans leurs cercles et leurs foncets. • Pesée globale des foncets et cercles Soit au total : $1 + 1 = 2$ contrôles de poids	
$2 \times 0.2 = 0.4$ kg soit 336 kg ± 0.4 kg	Impossible : problème de portée de la balance

	Balance A	Balance B
1° cas	3.2/336 $\rightarrow \pm 0.95$ %	0.32/336 $\rightarrow \pm 0.095$ %
2° cas	1.8/336 $\rightarrow \pm 0.53$ %	0.18/336 $\rightarrow \pm 0.053$ %
3° cas	0.4/336 $\rightarrow \pm 0.12$ %	impossible

Ce comparatif met bien en évidence que :

- La précision de la balance augmentant, l'incertitude relative sur la mesure diminue ;
- La diminution du nombre de pesée permet de réduire l'incertitude relative.

→ Quelle est la représentativité échantillons ?

Un échantillon est dit représentatif lorsque ses caractéristiques et sa composition sont généralisables à l'ensemble du lot dont il est issu.



L'échantillon qui servira à l'analyse est prélevé en faible quantité, il faut donc être très vigilant quant aux conditions de prélèvement.

La norme internationale ISO 707 : 2008 (F) FIL 50 : 2008 (F) donne les lignes directrices pour les méthodes d'échantillonnage du lait et des produits laitiers.

⇒ Cas des produits liquides : laits, ferments grand levains, sérums, crème....

Ces produits sont, de par leur composition, instables. La remontée des globules gras est rapide dès que le liquide est immobile. Ce phénomène de crémage est augmenté par un certain nombre de paramètres : taux de MG, température....

Les lactosérums contiennent des quantités variables de fines particules de caillé (les fines) qui auront tendance à se déposer au fond du tank.

Outre cette décantation, le lactosérum peut également s'évaporer et s'acidifier.

Le stockage doit donc être effectué en tank permettant un mélange suffisant sans risque de dégradation de la matière grasse (lipolyse). Le brassage est souvent réalisé en discontinu. Le prélèvement sera effectué après une agitation suffisante.

Les recommandations sont les suivantes :



Au minimum 5 minutes d'agitation mécanique continue avant prélèvement (Pointurier H *et al.* 2003).

⇒ Cas des produits solides : fromages

Deux problématiques sont à prendre en compte pour la réalisation d'un échantillon représentatif :

- Il peut y avoir des différences de composition significatives entre fromages ;
- Et un même fromage peut ne pas être homogène en terme de composition (écart croûte – cœur du fromage)

Il faut donc procéder selon une procédure bien définie et répétable :

→ Exemple 1 : dans un fromage de petite taille il est recommandé de prélever un secteur.

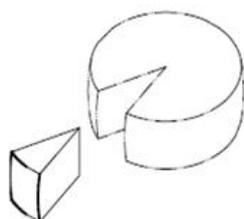


Figure A.8 — Échantillonnage d'un fromage cylindrique bas par prélèvement d'une portion

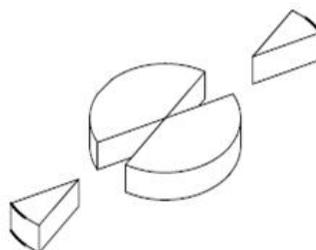


Figure A.9 — Échantillonnage par prélèvement de deux portions

Figure n°5 : Figures d'échantillonnage

Source : norme internationale ISO 707 : 2008 (F) FIL 50 : 2008 (F)

- Exemple 2 : dans le cas d'une grosse pièce, type meule de Comté, il est recommandé de réaliser plusieurs sondes :
2 sondes talon et 2 sondes milieu de rayon.



5- Conclusion

Ce guide avait pour objectif de présenter une méthode de réalisation des bilans matière qui permettent l'obtention de résultats exploitables. En effet, de nombreuses sources d'incertitudes peuvent entraîner des erreurs d'interprétation des résultats. Ces erreurs concernent la détermination des quantités et également leur caractérisation au niveau analytique.

La réalisation d'un bilan matière et le calcul des descripteurs qui y sont associés : rendements fromagers et coefficient de récupération sont des **outils** d'optimisation. En effet, ils permettent de **caractériser une fabrication** à un instant donné.

Le travail qui suivra la réalisation d'un bilan matière consistera ensuite à rechercher plus précisément les voix d'améliorations possibles : soit par les pratiques ou par le matériel. Cette recherche pourra s'effectuer par un découpage plus précis des différentes étapes de fabrication.

Les choix retenus pourront ensuite être validés et suivis par des bilans matière réguliers.

Ces suivis doivent permettre de façon rigoureuse et non discutable :

- De détecter d'éventuelles dérives telles que des augmentations de pertes matières par exemple ;
- D'anticiper les variations saisonnières de la matière première laitière notamment lorsque la standardisation n'est pas possible ;
- De valider des choix technologiques liés aux pratiques de fabrication ;
- De qualifier un choix de matériel.

Références bibliographiques

Buson C (1993) : Impact sur les eaux : approche global amont-aval. *Journée d'études IESIEL* du 9 décembre 1993.

Enilbio – service expérimentation : document interne

Gäuzere Y (2008) : Détermination des rendements en fromagerie - Bilan matière
Enilbio

Mietton B (1986) : Les rendements en fromagerie *In : Revue des Enils n°104.*

Mietton B (1991) : Initiation à la technologie fromagère (Tec et Doc) Tableau 11 page 98

Pointurier H *et al.* (2003) :

Définition et bases de la gestion matières - Gestion matières et rejets
In : La gestion matières dans l'industrie laitière. Edition Lavoisier, p. 375.

Short *et al.*(1955) : the temperature coefficient of expansion of raw milk. *J. Dairy.*

Norme internationale ISO 707 : 2008 (F) FIL 50 : 2008 (F)

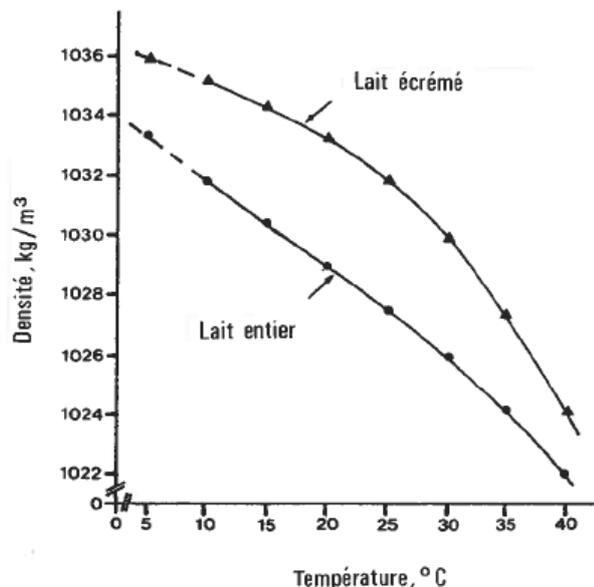
Annexe 1 :

Volume du lait en fonction de la température et de sa composition

Densité du lait en fonction de la température (Source Short)

Lait entier : 3% MG, 87% ESD

Lait écrémé : 0.02% MG, 8,9% ESD



Variation du volume de lait en fonction de sa température et de sa richesse en matière grasse

(Indice 100 pour une température de 20°C)

Source : B. Mietton

Température en °C	Richesse en MG du lait en g/kg				
	20	25	30	35	40
4	99.71	99.70	99.69	99.68	99.67
6	99.73	99.72	99.71	99.70	99.70
10	99.78	99.78	99.77	99.76	99.76
15	99.87	99.87	99.87	99.87	99.86
20	100	100	100	100	100
25	100.15	100.15	100.16	100.16	100.16
30	100.32	100.32	100.33	100.33	100.33
32	100.39	100.39	100.40	100.40	100.41
34	100.46	100.47	100.47	100.48	100.48
36	100.54	100.54	100.55	100.55	100.56
38	100.61	100.62	100.63	100.63	100.64
40	100.69	100.70	100.71	100.71	100.72

Annexe 2

Composition du lait en matières azotées

Matières Azotées Totales (MAT)	Matières Azotées Protéiques (MAP)	Caséines	Alpha s1 (α s1)	29 - 35	} 78	} 94 - 95
			Alpha s2 (α s2)	8 - 10		
			Béta (β)	35 - 40		
Kappa (κ)	10 - 15					
Gamma (γ)	4 - 8					
Protéines sériques	β lactoglobuline	8 - 9	} 17			
	α lactalbumine	4				
	Sérum albumine	0.8				
	Immunoqlobulines	2				
	Protéoses	2				
Matières Azotées non Protéiques (MANP)						5 - 6

Composition des matières azotées du lait de vaches en % relatifs :
Source : Yves Gaüzere

Annexe 3 :

Variations saisonnières de la matière azotée protéique

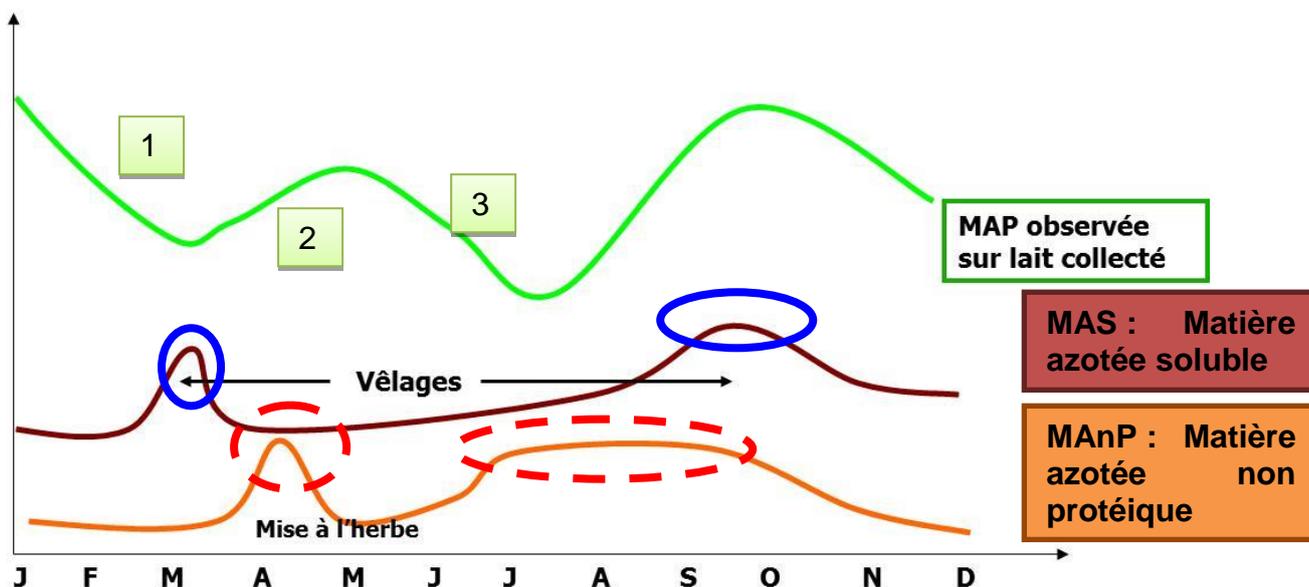
Évolution de la matière azotée pour un troupeau de vache nourri par une alimentation variée. (Source : Yves Gäuzere)

Evolution de la MAP observée sur le lait collecté :

- 1- La diminution de la MAP trouve son origine dans la diminution de la qualité de l'alimentation de base.
- 2- La mise à l'herbe apporte à la vache un aliment riche en azote d'où la remontée de la MAP
- 3- En période estivale, l'herbe durcit et est moins riche en MAP et de plus en plus en MAS

 Lors des vêlages : Le premier pic d'augmentation de la MAS est dû à la synthèse du colostrum. L'augmentation progressive de la MAS à partir du mois d'août aboutissant à un pic a pour origine la fin de la lactation.

 A la mise à l'herbe : augmentation de la part d'urée consécutive du changement de système alimentaire. L'herbe jeune contient beaucoup d'acides aminés qui seront dégradés en urée.



Pour toutes informations ou renseignements complémentaires :

Contacts :

- **CTFC : Centre technique des Fromages Comtois**

Page
32



9 avenue Wladimir Gagneur
39800 POLIGNY
03.84.37.13.18

d-flechon@ctfc.fr

- **ENILBIO : École Nationale d'Industrie Laitière et des Biotechnologies**



Rue de Versailles – BP 70 049
39801 Poligny Cedex 1
Tél. 03 84 73 76 76 / Fax 03 84 37 07 28

expe.enil.poligny@educagri.fr