

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/20

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV    Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Production et Nutrition Animale

Présenté par :

*HANSALI Sara & RAHMANI Bochra*

*Thème*

**Effet de l'alimentation des produits à base de levure sur les performances de production laitière chez les vaches laitières: méta-analyse et méta-régression à plusieurs niveaux.**

Soutenu le : 29 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

*Nom et Prénom*

*Grade*

CHERIFI Zakia

MCB.

Univ. de Bouira

Présidente

MOUHAMD S

MCB.

Univ. de Bouira

Examinatrice

ABDELLI Amine

MCB.

Univ. de Bouira

Promoteur

*Année Universitaire : 2019/2020*

## **Remerciements**

*Nous remercions **DIEU** tout puissant de nous avoir donnée la bonne santé, la patience, la volonté et le courage pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier notre promoteur **M. ABDELLI Amine** de nous avoir encadrés, pour son aide et ces précieux conseils, son suivi rigoureux et même pour sa disponibilité derrière nous jusqu'à la fin de ce travail.*

*Nous tenons à remercier également **Mme. CHERIFI Zakia** qui nous a enseignés et d'avoir accepté de présider le jury.*

*Nos remerciements vont aussi à **Mme. BENFODIL Karima** qui nous a enseignés, et qui a accepté de juger notre travail.*

*Un grand merci à tous nos enseignants qui ont contribués à notre formation durant notre cursus universitaire en particulier : **M. ABDELLI A.,***

***Mr. HAMZAOUI S., Mme. Mme. CHERIFI Z., Mme. BENFODIL K.,***

***M. LAMINE, M. GUETTAL, M. ZAOUANI, Mme. DOUMANDJI,***

***M. CHEDDAD M.***

*En fin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicaces*

*A mes très chers parents qui ont veillé sur moi le long de mes études, que DIEU vous protège.*

*A mes très chères frères OUSSAMA et ABD RAHIM et ma petite sœur  
NARIMANE.*

*A ma grande mère Aïcha.*

*A tout la famille HANSALI et REMAS.*

*A ABDOU qui est toujours derrière moi et qui m'a apporté leur soutien moralement durant la réalisation de ce travail.*

*A ma chère copine BOUCHRA que je remercie vivement pour son aide et soutien avant, durant et après la réalisation de ce travail.*

*A mes chères copines : CHAFIA, DAHBLIA, HANANE, SALMA, NACIRA, OUNISSA, WISSAM, IMANE, WAFA, SARA, HAYAT, HADJER.SOFI.*

*A Dr. HAROUN qui m'a toujours aidé.*

*Je dédie ce travail*

**SARA**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chères parents que DIEU me les protège :  
BEN ALIA et MALIKA*

*A Ma sœur AMINA son mari HAKIM sa fille  
LOUDJAYNE*

*A Ma sœur HADJIRA son mari KHALED et son fils  
ABD ELHADI*

*A Mon frère ABD EL NOUR*

*A Ma sœur MERIEM*

*A la mémoire de ma sœur FOUZIA*

*A mon fiancé MOHAMMED*

*A ma chère copine SARA que je remercie pour son  
aide et soutien avant, et après la réalisation de ce  
travail*

*A tous mes chères copines*

*A toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de  
près à la réalisation de ce travail*

*Je dédie ce travail*

**BOCHRA**

Liste des abréviations	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique sur <i>saccharomyces cerevisiae</i>	
I.1. Généralités sur <i>saccharomyces cerevisiae</i> .....	3
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2.Morphologie.....	3
I.2. Classification.....	4
I.3. Métabolisme.....	4
I.3.1. Pour le milieu aérobie .....	4
I.3.2.Pour le milieu anaérobie .....	5
I.4. Origine des différentes souches différentes de la levure .....	5
I.5. Reproduction de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	6
I.5.1. Cycle de vie .....	6
I.5.2. Phases de croissance cellulaire .....	7
I.6. Condition de culture .....	8
Chapitre II : Utilisations et avantages de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> comme additif alimentaire chez les vaches laitières.	
II.1. Les additifs alimentaires à base des levures.....	9
II.2. Différences entre la levure vivante (LV) et la culture de levure (CL) .....	10
II.3. Devenir de la levure dans le tube digestif du ruminant .....	10
II.4. Effet de la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sur les performances de la vache .....	11
II.4.1. Effet sur la prise alimentaire .....	12
II.4.2. Effet sur la digestibilité .....	12
II.4.3. Effet sur les microflores ruminales .....	12
II.4.4. Effet sur le PH ruminal .....	14
II.4.5.Effet sur la population ruminale .....	15
II.4.6. effet sur la matière sèche ingérée (MSI) .....	16
II.4.7.Effet sur la production laitière .....	17
II.4.8. Teneurs en matières grasses .....	18
II.4.9. Teneurs en Protéines .....	18
Chapitre III : La lecture critique des essais expérimentaux en agronomie (méta-analyse)	
III.1. Définition .....	20

III.2. Les objectifs de la méta-analyse .....	20
III.3.Principes fondamentaux .....	20
III.4.Limite de la méta-analyse .....	21
III.5.Méthodes .....	21
III.6.Les étapes de méta-analyse .....	22
III.6.1. Formulation d'une question de recherche .....	23
III.6.2. Collection des études existantes.....	23
III.6.3. Sélection des études.....	24
III.6.4. Codage des informations Collectées .....	25
III.6.5. le contrôle de biais de publication .....	25
III.6.6. l'analyse et l'intégration des résultats empiriques d'études .....	26
III.6.6.1.L'agrégation des résultats .....	26
III.6.6.1.1. Le choix d'une grandeur d'effet commune .....	26
III.6.6.1.2. La combinaison des grandeurs d'effet « standardisées ».....	26
III.6.6.2. Test d'homogénéité .....	27
III.6.7. Interprétation des résultats de la synthèse .....	28
III.7.Types de méta-analyses selon les études incluses.....	29
III.7.1. Etudes publiées seules .....	30
III.7.2. Etudes publiées et non publiées .....	30
III.7.3. Les études sur données individuelles .....	30
IV : Partie pratique	
IV.1.Matériels et Méthodes	
IV.1.1.Contexte du travail.....	31
IV.1.2.Stratégie de recherche .....	31
IV.1.3.Recherche documentaire .....	31
IV.1.4.Sélection des études .....	32
IV.1.5.Extraction de données .....	32
IV.1.6.Analyses statistiques .....	33
IV.1.6.1.Calcul de la taille de l'effet .....	34
IV.1.6.2.Approche méta-analytique à plusieurs niveaux .....	35
IV.1.6.3. Évaluation de l'hétérogénéité .....	36
IV.1.6.4. Biais de publication .....	36
IV.1.6.5. Interprétation des valeurs de DMS .....	36
IV.2 Résultats et Discussion	

IV.2.1.Résultats .....	37
IV.2.1.1. Production laitière .....	40
IV.2.1.2.MSI et composants du lait .....	52
IV.2.1.3. Analyse multivariée .....	54
IV.2.2.Discussion .....	55
Conclusion .....	60

## Liste des abréviations

**J.C** : Jésus-Christ

**µm** : Micromètre

**ATP** : Adénosine triphosphate

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**UFC/g** : Unités formant colonies/ gramme

**Sc** : Saccharomyces cerevisiae

**LV** : Levure vivante

**CL** : Culture de levure

**MS** : Matières sèches

**MO** : Matière organique

**PB** : Protéine brute

**FDN** : Fibre détergent neutre

**FDA** : Fibre détergente acide

**MSI** : Matières sèches ingérées

**AGV** : Acide gras volatile

**PBL** : Produit à base de levure

**PL**: Production laitière

**DM** : D'éférance de moyenne

**DMS** : Différence de moyenne standardisée

**IC 95%** : Intervalle de confiance à 95%

**ID** : Identification d'essai

**TE** : Taille de l'effet

**ET** : Ecart-type combiné



**ES** : Erreur standard

**RTM**: Ration totale mélangée

**JPP** : Jour poste partum

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Micrographie de <i>S. cerevisiae</i> .....	4
<b>Figure 02</b> : Bourgeonnement de <i>S. cerevisiae</i> .....	6
<b>Figure 03</b> : (a) le cycle biologique de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , (b) Changement de type d'accouplement dans les haploïdes. Commutation des cellules mères en G1.....	7
<b>Figure 04</b> : Cinétiques du nombre de levure dans le rumen et dans les fèces.....	11
<b>Figure 05</b> : Mode d'action présumé de <i>S. cerivisiea</i> sur la performance de l'animale.....	14
<b>Figure 06</b> : Effet de la supplémentation en levures et bicarbonate sur la production de lactates.....	15
<b>Figure 07</b> : Effet de la levure sur l'écosystème ruminal de la vache laitière.....	16
<b>Figure 08</b> : Exemple de distribution des tailles de l'effet et intervalles de confiance à 95 %.....	28
<b>Figure 09</b> : Exemple de distribution des tailles de l'effet.....	29
<b>Figure 10</b> : Diagramme de flux PRISMA pour la sélection des études incluses dans les méta-analyses des effets de PBL sur la performance productive.....	33
<b>Figure 11</b> : Diagrammes en entonnoir pour toutes les méta-analyses.....	41
<b>Figure 12</b> : Diagrammes en entonnoir pour toutes les méta-régressions.....	41
<b>Figure 13</b> : Diagramme forestier de la différence de moyenne standardisée (DMS) à effets aléatoires.....	42
<b>Figure 14</b> : Diagramme forestier de l'analyse de méta-régression de l'effet du début de traitement sur la taille estimée de l'effet.....	46
<b>Figure 15</b> : Diagramme forestier de l'analyse de méta-régression de l'effet du niveau de l'FDA sur la taille estimée de l'effet.....	47
<b>Figure 16</b> : Diagramme forestier de l'effet des niveaux d'FDA et d'amidon sur la taille estimée de l'effet.....	49

<b>Figure 17:</b> Diagramme forestier de l'effet des niveaux FDA et PB sur la taille estimée de l'effet. ....	50
<b>Figure 18 :</b> Diagramme forestier de l'effet des niveaux d'FDA et de FDN sur la taille estimée de l'effet.....	51
<b>Figure 19 :</b> Les effets modérateurs de (a) FDA+ amidon, (b) FDA + PB, et (c) FDA + FDN sur les réponses PL à PBL.....	52
<b>Figure 20 :</b> Diagramme forestier du modèle à effets aléatoires multivariés pour les réponses PL et MSI à l'alimentation d'un PBL.....	54

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Les principales étapes d'une méta-analyse.....	22
<b>Tableau 02</b> : Résumé des études incluses dans les méta-analyses et leurs caractéristiques...37	
<b>Tableau 03</b> : Résumé de l'effet estimé de la méta-analyse du sous-groupe de la PBL sur la PL (kg / j) chez les vaches laitières en lactation de toutes les études.....	43
<b>Tableau 04</b> : Résultats des analyses de méta-régression (avec un modérateur) des facteurs qui peuvent avoir influencé la réponse de PL à la PBL alimentaire .....	45
<b>Tableau 05</b> : Résultats des analyses de méta-régression (avec deux modérateurs) des facteurs qui peuvent avoir influencé la réponse de MA à la PJ alimentaire.....	48
<b>Tableau 06</b> : Effets estimés du PBL sur le MSI et les composants du lait de toutes les études .....	53

# *Introduction*

## **Introduction**

L'influence des produits à base de levure (PBL) basés sur la supplémentation en *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) sur les performances des vaches laitières fait l'objet de recherches et d'analyses depuis plusieurs décennies. Bien que la quantité de recherches accumulées sur ce sujet soit très importante, les résultats ont été très incohérents. Des améliorations de la production laitière (PL) et de la matière sèche ingérée (MSI) ont été signalées dans certaines études (**DANN *et al*, 2000 ; RAMSING *et al*, 2009 ; MOALLEM *et al*, 2009 ; SALVATI *et al*, 2015**). Autres études ont observé une augmentation de la PL sans MSI (**YUAN *et al*,2015; ZHU *et al*,2016; SHI *et al*, 2019; PERDOMO *et al*, 2020**); cependant, d'autres études n'ont montré aucune réponse significative aux suppléments de PBL ni sur la production ni sur la MSI (**SHWARTZ *et al*, 2009; FERRARETTO *et al*,2012; DIAS *et al*,2018c ; OLAGARAY *et al*, 2019**). Dans des études méta-analytiques et des analyses d'études multiples antérieures (**SAUVANT *et al*, 2004 ; DESNOYERS *et al*, 2009 ; DE ONDARZA *et al*, 2010 ; POPPY *et al*, 2012**), la réponse du lait aux suppléments de PBL était positive alors que la réponse MSI était variable. Ceci, en dépit du fait que plusieurs auteurs ont lié l'effet positif de PBL sur la production laitière par une augmentation de l'apport en matière sèche. (**ALLEN et YING 2012 ; POPPY *et al*, 2012 ; HABEEB *et al*, 2017**). Alors que d'autres auteurs ont lié les réponses positives de PBL par une amélioration du métabolisme ruminal (**MALEKKHAHI *et al*, 2016 ; OH *et al*, 2019**) ; et une stabilisation de l'environnement de tube digestif (**BACH *et al*, 2007**), ce qui peut conduire à une augmentation de l'efficacité alimentaire (**SCHINGOETHE *et al*, 2004 ; DE ONDARZA *et al*, 2010**).

La variation des réponses à l'alimentation des PBL n'est pas bien comprise et des incertitudes demeurent quant à savoir si des facteurs contextuels tels que le stade de lactation (**DANN *et al*, 2000 ; LEHLOENYA *et al*, 2008**), la parité (**MCGILLIARD et STALLINGS, 1998; ROBINSON et GARRETT, 1999**), type de PBL (**AL SHAIKH *et al*, 2001**), période de traitement, comportement alimentaire (**DEVRIES et CHEVAUX, 2014 ; YUAN *et al*, 2015, DIAS *et al*, 2018a ; PERMODO *et al*, 2020**), les caractéristiques du régime alimentaire (**FERRARETTO *et al*, 2012**), les espèces de levures (**MWENYA *et al*, 2005 ; MOALLEM *et al*, 2009**), et les conditions de gestion ou expérimentales en vigueur (**ROBINSON, 2002, DANN *et al*, 2000 ; ERASMUS *et al*, 2005**) modèrent la réponse à l'alimentation de PBL.

Nous avons suggéré qu'une méta-analyse peut identifier les facteurs affectant l'efficacité de PBL sur la production laitière et la consolidation de l'estimation de la réponse au traitement est possible grâce à l'utilisation de la méta-régression à plusieurs niveaux. La présente étude méta-analytique visait donc à fournir un aperçu des effets quantitatifs de la supplémentation en PBL sur les performances de lactation chez les vaches laitières et déterminer si certains facteurs interférents ou confondants influent sur ces effets. En utilisant une méta-analyse multivariée, nous avons également examiné si, et dans quelle mesure, les effets de telles interventions différaient entre la PL et la MSI, une question qui était restée sans réponse par les approches utilisées dans les méta-analyses précédentes.

# *Chapitre I :*

## *Etude bibliographique sur saccharomyces cerivisiae*



## Chapitre I : Etude bibliographique sur *saccharomyces cerevisiae*

Depuis la préhistoire, l'homme a exploité la capacité de la levure de boulangerie commune *S. cerevisiae* à convertir les sucres en éthanol et en composés aromatiques désirables pour obtenir des aliments et des boissons ayant une durée de conservation prolongée, un palais sensoriel enrichi, une meilleure digestibilité et un effet euphorisant. Cependant, son utilisation dans la nutrition animale a été relativement tardive mais elle ne cesse d'augmenter.

Ce premier chapitre aborde dans un premier temps les généralités concernant la définition, classification scientifique de *S. cerevisiae*, pour ensuite s'atteler, à partir de critères bien définis, à la morphologie et le métabolisme suivis par l'origine des différentes souches. Enfin, nous terminerons par la reproduction de *S. cerevisiae* et les conditions de culture.

### I.1. Généralités sur *S. cerevisiae*

#### I.1.1. Définition

Bien avant de faire son utilisation dans la nutrition animale, *S. cerevisiae* était déjà utilisée par l'homme. Bien qu'il aura fallu attendre le début du XIXe siècle et les travaux de Pasteur pour l'identifier et comprendre son rôle, elle est exploitée depuis des millénaires (6000 ans avant J.C) pour son aptitude à fermenter le glucose en éthanol (à des fins brassicoles) ou encore en dioxyde de carbone (pour le levage du pain, **BERNSTEIN et BERNSTEIN, 2019**). D'après **LARPENT et GOURGOUD, (1985)** son nom provient du fait que cet organisme servant à la fabrication du vin et de la bière (*cerevisiae* en référence à la cervoise) est un petit champignon (-myces) se nourrissant de sucre (-Saccharo). Ainsi, ce terme signifie le petit champignon microscopique qui compose les différentes sortes de levures intervenant dans la fermentation. *S. cerevisiae* est une eucaryote dont on la distingue par leur caractère unicellulaire. Elle est microscopique et immobile (**GUIRAUD et GALZY, 1998**). A ce jour, cette levure est considérée comme cellule modèle en microbiologie et reconnue comme la « Levure de boulanger » et levure du sucre (**THANH, 2016**).

#### I.1.2. Morphologie

*S. cerevisiae* est une cellule caractérisé par sa forme sphérique, ovoïde ou arrondies de taille très variable soit de 3 à 14  $\mu\text{m}$  selon la composition nutritive de son milieu (**Figure 01**). Tandis que certaines cellules sont cylindriques et de grandes tailles jusqu' à 20  $\mu\text{m}$  de longueur ou plus (**LARPENT, 1991**).



Figure 01 : Micrographie de *S. cerevisiae* (BERNSTEIN et BERNSTEIN, 2019).

## I.2. Classification

La classification de la levure *S.cerevisiae* selon THANH (2016), est la suivante :

**Règne** : Fungi

**Division** : Ascomycota

**Sous-division** : Saccharomycotina

**Classe** : Saccharomycets

**Ordre** : Saccharomycetales

**Famille** : Saccharomycetaceae

**Genre** : *Sacharomyces*

**Espèce** : *Saccharomyces cerevisiae*

## I.3. Métabolisme

Selon THANH (2016), *Saccharomyces cerevisiae* est capable de vivre dans deux milieux différents : le milieu aérobie et le milieu anaérobie.

### I.3.1. Pour le milieu aérobie

La levure utilise l'oxygène pour que les glucides soient métabolisés en dioxyde de carbone, en eau et une grande quantité d'énergie. C'est le processus métabolique de la respiration. Dans ce milieu l'oxydation du glucose est complète (GUINET et GODON 1994).

D'après plusieurs auteurs comme (SCRIBAN, 1988, GUINET et GODON, 1994, HESCLOT et VLADESCU, 1994, FERREIRA, 1997 et GUIRAUD, 1998) la réaction est la suivante :

Glucose + Oxygène -----> Gaz carbonique + Eau + Energie.

Il se forme donc 13 fois plus d'ATP que par métabolisme anaérobie (VLADESCU, 1994 ; BELLAM et FOULD, 1996 et FERREIRA, 1997).

En 2016, AGGOUNE et ZERKANE mentionnent que la levure entre en croissance et se multiplie car elle peut synthétiser de la matière organique plus que elle assure son maintien en vie.

### I.3.2. Pour le milieu anaérobie

En absence d'oxygène, la levure utilise des sucres pour produire l'énergie nécessaire à son maintien en vie. Pasteur a défini ce processus métabolique comme étant celui de la fermentation. Les sucres sont transformés en gaz carbonique et en alcool (LEYRAL et VIERLIN, 2007). Selon SCRIBAN, (1988), GUINET et GODON, (1994), HESCLOT et VLADESCU, (1994), et FERREIRA, (1997) et GUIRAUD, (1998), la réaction est la suivante :

Glucose -----> Gaz carbonique + Alcool + Energie

REGNAULT en 1990 a déclaré que l'oxydation du glucose est incomplète on parle de fermentation ou de vie sans air.

Cependant l'alcool formé contient encore beaucoup d'énergie, donc la libération de l'énergie présente dans le glucose est limitée, ainsi, qu'elle est 20 fois moins par rapport à la respiration. Elle assure un minimum vital à la levure, sans lui permettant de se multiplier rapidement (GUINET et GODON 1994).

## I.4. Origine des différentes souches de la levure

Les souches de l'espèce *S. cerevisiae* peuvent être isolées depuis plusieurs origines, telles que le sol, les fruits (raisins), la sève des arbres, etc., et présentent des propriétés physiologiques différentes (BARBARA *et al*, 2012). Cette diversité indique leur capacité d'adaptation dans les conditions différentes de l'environnement. Ces différences sont basées sur une large variation génétique qui est corrélée avec l'origine géographique et les sources d'isolement (JESPERSEN *et al*, 2003 ; FAY et BENAVIDES, 2005 ; TOWNSEND *et al*, 2006).

## I.5. Reproduction de *Saccharomyces cerevisiae*

### I.5.1. Cycle de vie

Concernant les levures, et plus particulièrement *S. cerevisiae*, le cycle de vie est décrit comme haplo-diplobiontique : ce terme illustre le fait que cet organisme est capable de croître à la fois à l'état haploïde et à l'état diploïde. Le passage de l'état haploïde à diploïde se fait par conjugaison ; à l'inverse, la méiose permet de passer de deux copies de chaque chromosome à une copie unique (MELL et BURGESS, 2003) (Figure 03).

Selon LEKIKOT et MALKI en 2016, le cycle cellulaire de *S. cerevisiae* comprend deux modes de reproduction différents :

#### a) Reproduction asexuée (végétative)

Le bourgeonnement représente le mode de reproduction asexuée chez la levure *S. cerevisiae* (GUIRAUD et GALZY, 1980) (Figure 2). C'est un processus par lequel une cellule donne naissance à une autre cellule essentiellement identique (HERSKOWITZ, 1988).

D'après GUIRAUD et GALZY en 1980, le cytoplasme de la cellule fille reste réuni au cytoplasme de la levure mère pendant la formation du bourgeon, le noyau de celui-ci grossit et se déplace vers le bourgeon. La membrane nucléaire étrangle le noyau de telle manière que la moitié de celui-ci demeure dans la cellule-mère et l'autre passe dans la cellule fille, tandis que la membrane cellulaire se referme autour de chaque noyau en donnant ainsi deux levures semblables.

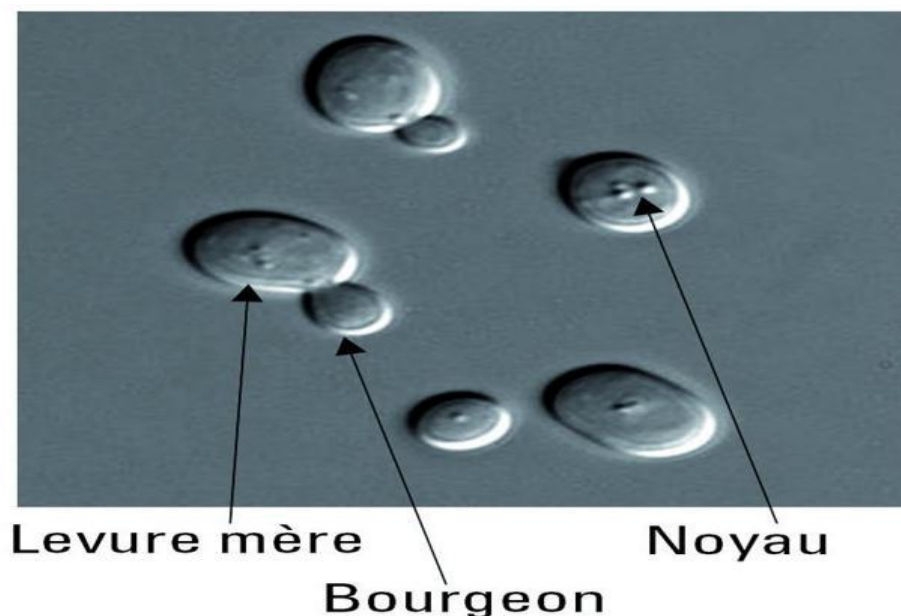
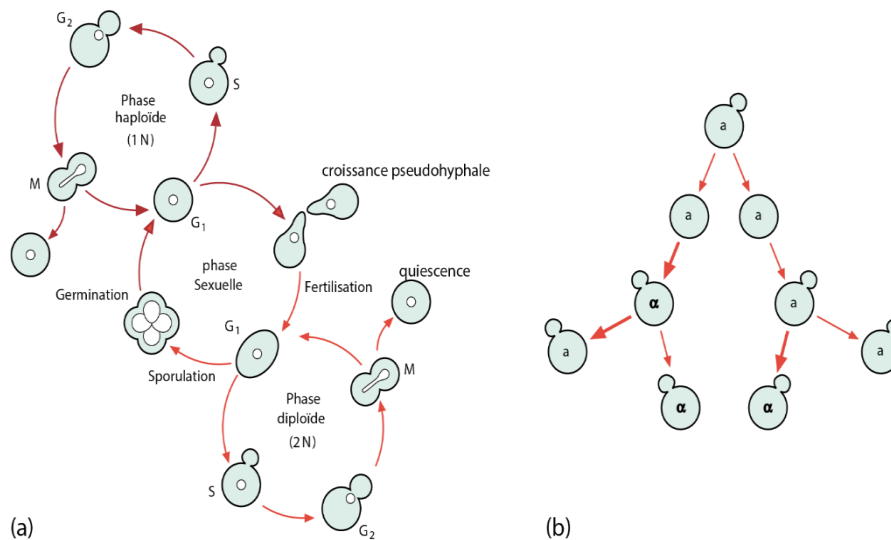


Figure 2 : Bourgeonnement de *S. cerevisiae* (KREGER –VAN, RIJ, 1984).

### b) Reproduction sexuée :

La reproduction sexuée s'effectue par conjugaison des deux cellules qui donnent naissance à un zygote, ce dernier subit une méiose ou les quatre noyaux haploïdes forment quatre ascospores donnant plus tard des cellules haploïdes (**Figure 3**), (**BOUIX et LEVEAU, 1993**).



**Figure 3 :** (a) le cycle biologique de *Saccharomyces cerevisiae*, (b) Changement de type d'accouplement dans les haploïdes. Commutation des cellules mères en G1 (**MELL et BURGESS, 2003**)

Selon **MELL et BURGESS, (2003)** à l'état naturel, la levure présente une croissance végétative et vit préférentiellement sous la forme diploïde. Cela lui permet de s'adapter à des changements de milieu et ainsi de mieux résister aux divers stress qui endommagent l'ADN. Avoir deux copies de chaque gène lui permet une meilleure résistance. Dans des conditions de stress extrêmes, elle peut aussi s'orienter vers un état de quiescence ou encore vers une croissance pseudohyphale qui lui permet d'explorer le milieu à la recherche de nutriments. Enfin, pour se protéger des agressions extérieures, elle peut sporuler. Suite à cette dernière possibilité, dans des conditions redevenues normales, la levure peut se diviser sous une forme haploïde ou encore se conjuguer à une levure de type sexuel opposé afin de revenir vers une forme diploïde.

#### I.5.2. Phases de croissance cellulaire

**BREITENBACH et al. (2004)** la courbe de croissance de la levure est déterminée principalement par quatre phases : phase latence, phase exponentielle, phase stationnaire (quiescence) et phase de déclin. Elle peut être encore distinguée plus précisément en rajoutant deux phases : phase d'accélération et phase de ralentissement. Cette terminologie est souvent

utilisée pour décrire la courbe de croissance dans un milieu liquide, mais la croissance des cellules dans un milieu solide présente des phases similaires.

La phase exponentielle et la phase stationnaire sont les deux phases les plus importantes pour les études fondamentales ou les applications industrielles. La vitesse de division cellulaire et le taux de croissance varie selon la qualité nutritionnelle du milieu dans la phase exponentielle, dont la croissance cellulaire ralentit ou même s'arrête, lorsque les éléments nutritifs essentiels deviennent limités. Dans la phase stationnaire la levure contient une quantité plus élevée de tréhalose et de glycogène que dans les autres phases. Selon **WERNER-WASHBURNE *et al* (1993)** les cellules de la phase stationnaire sont capables de résister à un large nombre de stress.

## **I.6. Condition de culture**

**THANH en 2016** indique que la production des levures qui présentent des caractéristiques intéressantes nécessite une compréhension des conditions de culture. La culture *S. cerevisiae* est peut-être dans un milieu liquide ou solide dont la croissance et le bourgeonnement de la levure est assuré par la présence de l'énergie et les éléments nutritifs. Ces éléments nutritifs permettent de distinguer deux types de milieu peuvent : un milieu riche sélectif et un milieu synthétique. Le milieu riche sélectif contient tous les nutriments essentiels pour le développement cellulaire comme le phosphate, le sulfate, le sodium, le magnésium, le calcium, le cuivre, le fer, des acides aminés, des nucléotides. Le sucre ou d'autres sources d'énergie doivent être ajoutés comme le glucose, le saccharose, l'acide lactique en fonction de la capacité de consommation des levures. Dans ce type de milieu, les cellules se divisent rapidement avec un temps de division d'environ 90 minutes et les colonies sont facilement observées après environ deux jours d'incubation. Le milieu synthétique fournit les éléments nutritifs essentiels comme le milieu riche sélectif, mais il manque les acides aminés, les nucléotides et d'autres précurseurs. Ainsi, une souche doit être capable de synthétiser ces éléments afin de croître et se diviser dans le milieu synthétique. Par rapport le milieu riche sélectif la croissance cellulaire est plus lente avec un temps de division d'environ 240 minutes.

## *Chapitre II :*

*Utilisations et avantages de  
Saccharomyces cerevisiae comme  
additif alimentaire chez les vaches  
laitières.*

## **Chapitre II : Utilisations et avantages de *S. cerevisiae* comme additif alimentaire chez les vaches laitières.**

L'utilisation de *S. cerevisiae* dans la nutrition animale notamment la vache laitière gagne en popularité de jour en jour. Ces dernières années, plusieurs entreprises de nutrition ont lancé commercialement différentes souches de *S.cerevisiae* pour l'alimentation des ruminants.

Dans ce chapitre nous allons, par conséquent, aborder les différents types de *S. cerevisiae* existent dans le marché, son mode d'action et pour terminer par son effet sur les performances de la vache laitière.

### **II.1. Les additifs alimentaires à base des levures**

Les produits à base de levure sont largement utilisés comme additifs alimentaires pour les ruminants dans de nombreuses régions du monde. La première utilisation de la levure (*S. cerevisiae*) comme additif alimentaire chez la vache laitière a été rapportée par **ECKLES et WILLIAMS (1925)**. D'après **CHAUCHEYRAS-DURAND et al. (1997)**, cette levure est généralement produite dans un milieu aérobie sur une matière de mélasse, de sels d'ammonium et de phosphate, et commercialisée sous forme de : les levures vivantes ou extraits de levures. Les levures vivantes sont fractionnées en 2 groupes : les souches pures sans milieu de culture et les souches liées à leur milieu de culture. **LYONS et al en 1993** ont déclaré que les souches pures sans milieu de culture respectent un taux élevé de cellules vivantes exprimé UFC/g, sont revivifiables et suivent des conditions de fabrication spéciales, la souche pure est principalement représentée par la souche NCYC Sc 47, commercialisée par la société « Lesaffre Feed Additives » sous la marque déposée de ACTISAF, la souche CNCM I-1077 commercialisée par la société Lallemand sous le nom de LEVUCCELL. Ainsi que les souches liées à leur milieu de culture sont cultivées dans leur milieu de croissance, pour maintenir leur capacité fermentaire ce groupe est notamment représenté par la souche CBS 493.94, commercialisée par la société Alltech sous le nom de YEA-SACC. La deuxième forme de commercialisation de *S. cerevisiae* : extraits de levures sont produites à partir de la fermentation en présence de divers substrats et déshydratées avec le milieu de croissance sans détruire les composants de la levure tels que : XP original, Nutritek...etc. commercialisée par la société Diamond-V (**LYNCH et MARTIN, 2002**).



## II.2. Différences entre la levure vivante (LV) et la culture de levure (CL)

Des recherches approfondies ont été menées sur *S. cerevisiae* à la fois in vitro et in vivo (LYNCH et MARTIN, 2002) pour déterminer son effet sur les modèles animaux. Plusieurs produits LV et LC issus de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sont disponibles sur le marché. Les produits sont classés en fonction des ingrédients actifs et de leur mode d'action (POPPY *et al*, 2012). Les produits de levure vivante active sont des levures vivantes fermentescibles séchées et contiennent au moins  $15 \times 10^9$  cellules de levure vivantes par gramme, tandis qu'un CL est produit par la fermentation de grains de céréales dans un liquide sélectionné avec de la levure de boulangerie, puis par le séchage de la culture en milieu entier (POPPY *et al*, 2012 ; LYNCH et MARTIN, 2002). Les CL contiennent de la paroi cellulaire de levure ( $\beta$ -glucanes et mannan-oligosaccharides), des protéines, des vitamines, des acides aminés, des nucléotides, des lipides, des acides organiques, des esters, des vitamines B, des polyphénols, des acides organiques et des antioxydants (JENSEN *et al*, 2008), qui peuvent tous avoir des effets positifs sur les performances et la santé lorsqu'ils sont incorporés dans le régime alimentaire des animaux. La composition de chacun des composés bioactifs susmentionnés dans la levure *S. cerevisiae* n'a pas été caractérisée (KIM *et al*, 2011) et, par conséquent, les effets de la levure *S. cerevisiae* sont principalement attribués aux composants de la paroi levurienne. La levure vivante active est censée avoir un effet principalement probiotique, tandis que les composants de la culture de levure sont considérés comme ayant un effet à la fois probiotique et prébiotique. FULLER, (1989) a défini les probiotiques comme des compléments microbiens vivants qui ont un effet bénéfique sur la santé et le bien-être de l'animal hôte en améliorant son équilibre gastro-intestinal. Dans l'Union européenne, cinq souches probiotiques de *S. cerevisiae* sont aujourd'hui officiellement autorisées pour une application dans l'alimentation animale (Règlement de la Commission européenne n° 1831/2003 et 70/524 EWG) : NCYC *Sc* 47, NCYC 1026, CNCM I-1077, CNCM I-1079 et MUCL 39885 (BÜCHL *et al*, 2010).

## II.3. Devenir de la levure dans le tube digestif du ruminant

En 1997, KUNG *et al* indiquent que la levure est un microorganisme allochtone du tube digestif de l'animal, dont le rythme de multiplication est ralenti. Selon NEWBOLD *et al* (1989), la vitesse de disparition de probiotique dans le rumen étant de l'ordre de 0,17 UFC/h (Figure 04) et son rythme limité de multiplication ne lui permettent pas de s'installer dans ce

milieu qui lui est défavorable. Pour cette raison, la levure doit être administrée régulièrement pour lui assurer une présence permanente dans le tractus digestif.

L'activité du probiotique s'exerce principalement dans le rumen chez les ruminants, c'est donc la concentration dans le contenu ruminal qui est la condition essentielle de l'action du probiotique concerné (MARDEN, 2007). Selon JOUANY *et al* (1994), une concentration inférieure à 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> UFC/g de contenu digestif ne permet pas d'obtenir d'effet notable entre la levure et la flore intrinsèque.

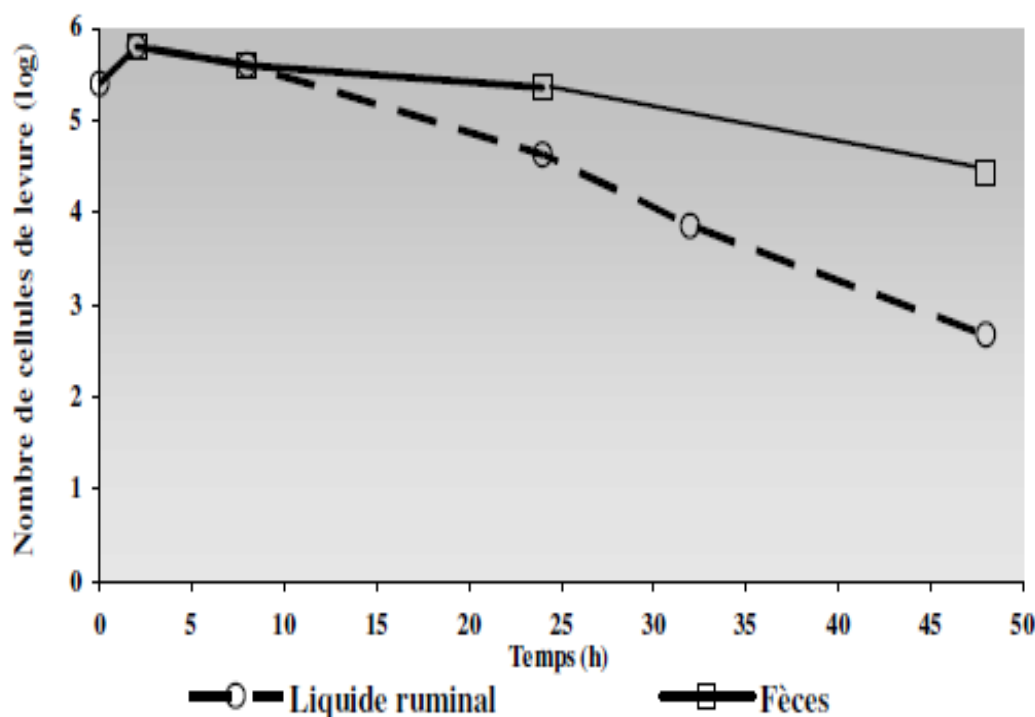


Figure 04 : Cinétiques du nombre de levure dans le rumen et dans les fèces

(FIEMS *et al*, 1993).

#### II.4. Effet de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur les performances de la vache.

Depuis de nombreuses années, les levures sont de plus en plus utilisées en alimentation du bétail. Elles sont désormais très souvent ajoutées directement dans les aliments du commerce. Chez le ruminant, les levures utilisées appartiennent presque toujours à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* (REY, 2012). L'action de la levure dépend de sa concentration dans le rumen (UFC/g de contenu ruminal frais) qui doit être supérieure à 10<sup>6</sup> - 10<sup>7</sup> selon JOUANY *et al* (1994).

La variabilité observée dans l'effet de l'incorporation de la levure à la ration pourrait s'expliquer par le stade physiologique des animaux (WILLIAMS et NEWBOLD, 1990) et la nature de la ration (DAWSON, 1989).

#### **II.4.1. Effet sur la prise alimentaire**

DESNOYER *et al* en 2009, ont déclaré qu'une analyse quantitative de la littérature pour méta-analyse (110 publications, 157 expériences, 376 traitements) a récemment montré que l'apport des levures a augmenté l'ingestion (+0,44g/kg de poids vif).

#### **II.4.2. Effet sur la digestibilité**

La plupart des chercheurs s'accordent à dire que la levure peut avoir des effets mesurables sur la fermentation ruminale et entraîner des changements bénéfiques dans la digestion. La supplémentation en levure a influencé de manière significative la digestibilité totale des nutriments alimentaires suivants, à savoir, MS, MO, PB, FDN, FDA et Hémicellulose. La digestibilité totale de la MS dans le tractus a augmenté de manière significative avec la supplémentation en levure pour les agneaux supplémentés avec (3 g/jour) Diamond V XP (HADDAD et GOUSSOUS, 2005), les génisses (LASCANO *et al*, 2009b) et les bouvillons (10 g/jour) (MIR et MIR, 1994) et des digestibilités plus élevées de la MS in vitro ont été observés (TANG *et al*, 2008). L'absence d'effet de la levure sur la digestibilité totale de la MS du tractus a été constatée dans des recherches antérieures (HARRIS *et al*, 1992 ; DOREAU et JOUANY, 1998 ; GARCIA *et al*, 2000 ; ABD EL GHANI, 2004 ; COOKE *et al*, 2007 ; MOALLEM *et al*, 2009 ; TRIPATHI et KARIM, 2010).

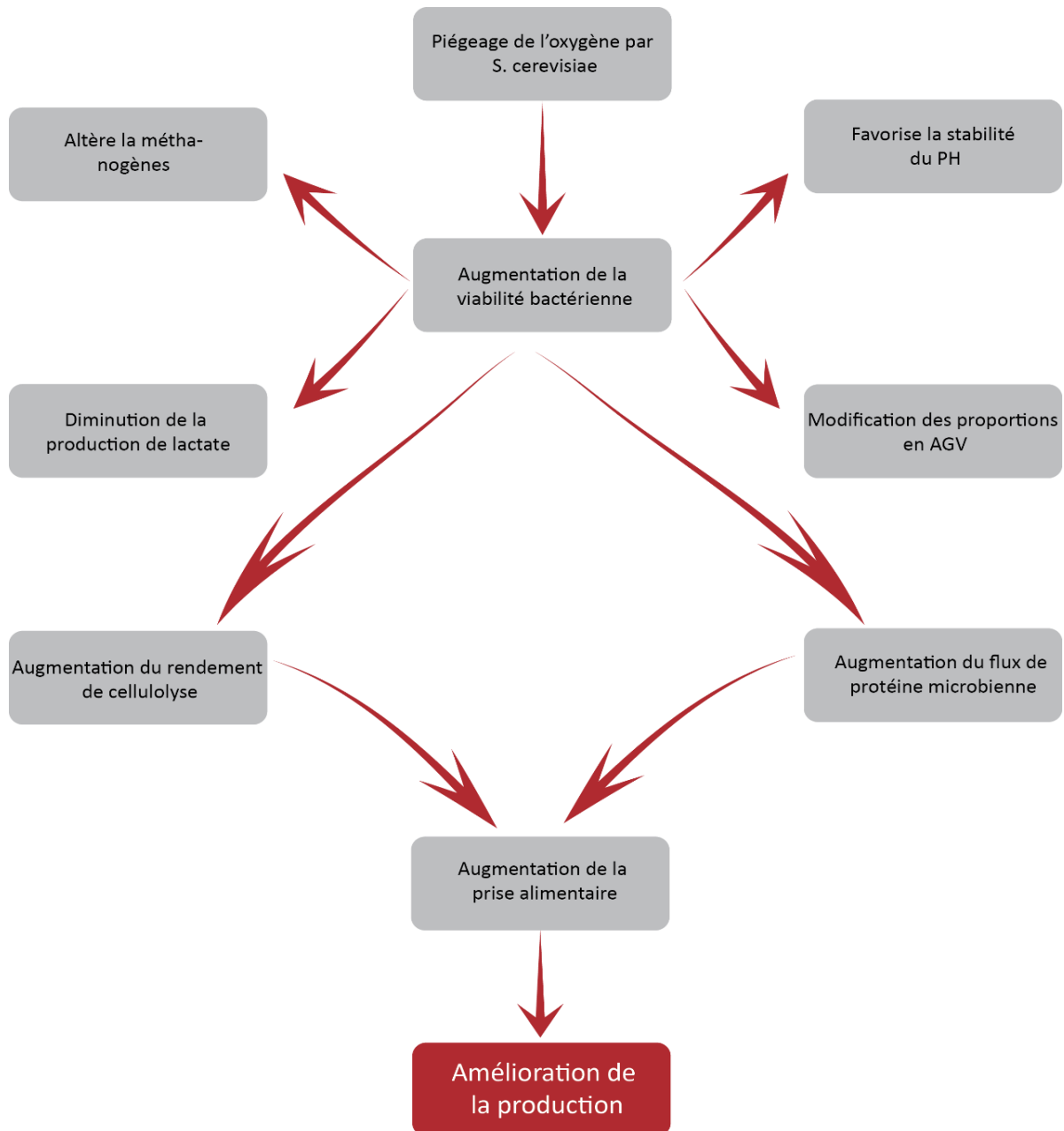
#### **II.4.3. Effet sur les microflores ruminales**

Le mode d'action le plus constant de la levure est le fait qu'elle stimule les micro-organismes ruminants (ARAKAKI *et al*, 2000 ; ABDL-GHANI, 2004). Ces micro-organismes qui ont été étudiés dans des études précédentes sont des protozoaires, des bactéries cellulolytiques, lactique, amylolytiques et protéolytiques. L'ajout des levures aux régimes alimentaires a entraîné une augmentation du nombre de bactéries associées au liquide du rumen ou de bactéries viables (LASCANO *et al*, 2009a), cependant, le nombre total de bactéries anaérobies n'était pas différent entre les traitements dans d'autres études (HARRISON *et al*, 1988). Le nombre ou la concentration de bactéries protéolytiques qui participent à la dégradation des protéines a augmenté grâce à la supplémentation en levure et a été documenté par YOON et STERN (1996) (3,09 contre  $2,00 \times 10^8$ /ml). Les concentrations

de bactéries cellulolytiques ont augmenté grâce à la supplémentation en levure in vitro (JIANG *et al*, 2017 ; DAWSON *et al*, 1990 ; NEWBOLD *et al*, 1995), chez les bouvillons (DAWSON *et al*, 1990), les moutons (NEWBOLD *et al*, 1995), les vaches laitières (JIANG *et al*, 2017) et les veaux (VANEETA *et al*, 1998). Les populations de bactéries cellulolytiques sont influencées par la supplémentation en levure, créant ainsi un meilleur environnement anaérobie pour les bactéries anaérobies telles que les bactéries cellulolytiques et lactiques qui sont sensibles à l'oxygène (CHAUCHEYRAS-DURAND et FONTY, 2002), ainsi que la levure augmente certaines activités fibrolytiques (REY, 2012). DAWSON en 1989 déclare que chez des vaches supplémentées avec la levure recevant une alimentation riche en fibre, la quantité de bactéries dans le rumen ne varie pas entre le lot levure et le lot témoin. Par contre WEIDMEIER *et al* (1987) et HARRISON *et al* (1988) ont déclaré que chez des vaches laitières supplémentées en levures avec une alimentation acidogène, le nombre de bactéries dans le rumen augmente dans lot levure par rapport au lot témoin sans levures. In vitro, la présence des levures stimule la croissance de la bactérie utilisatrice de lactate *M. elsdenii* (ROSSI *et al*, 1995).

CHAUCHEYRAS-DURAND *et al* en 2008 et MARDEN *et al* en 2008 ont confirmé que les synthèses récentes montrent que la supplémentation en levures vivantes agit directement sur la microflore qui dégrade les fibres au sein du rumen par son action au niveau de la consommation d'oxygène. Aussi l'utilisation des sucres et la production de vitamines (comme des vitamines du groupe B) permettant d'augmenter la densité de la microflore responsable de la dégradation des fibres et promouvoir l'activité fibrolytique (CHAUCHEYRAS-DURAND et DURAND, 2010).

WALLACE (1993), propose différents modes d'actions possibles de la levure *S. cerevisiae* sur les performances des animaux (Figure 02).

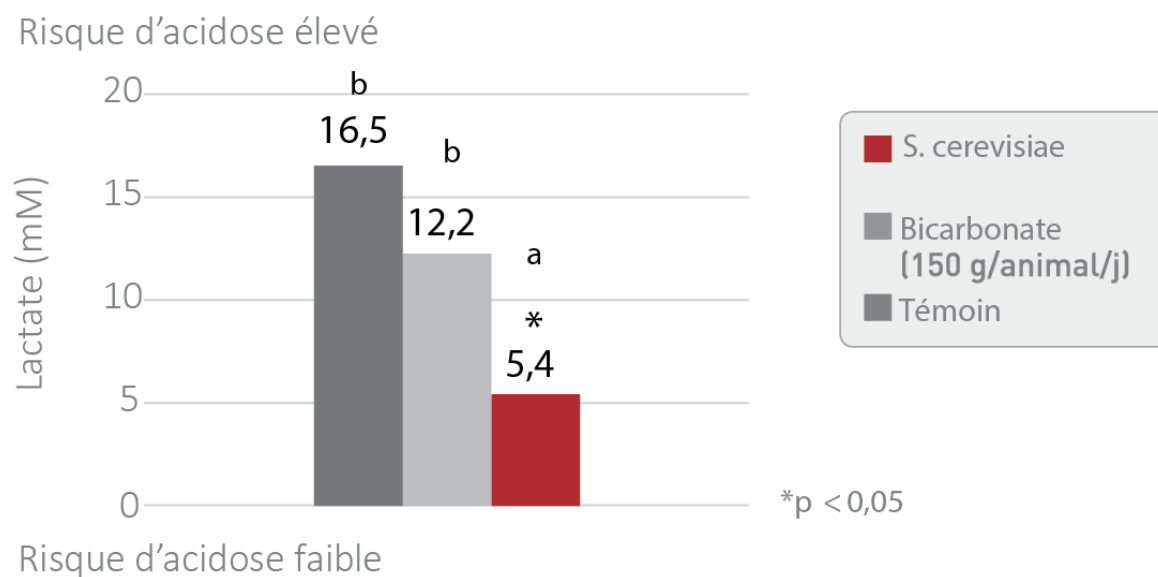


**Figure 05** : mode d'action présumé de *S. cerevisiae* sur la performance de l'animal (WALLACE 1993).

#### II.4.4. Effet sur le PH ruminal

La supplémentation en levure et ses effets sur la stabilisation du pH du rumen ont fait l'objet de nombreuses recherches. La supplémentation en levure a augmenté ou stabilisé le pH du rumen, comme l'ont montré des études sur des vaches laitières (BACH *et al*, 2007 ; MARDEN *et al*, 2008 ; PERDOMO *et al*, 2020), des bouvillons (ROA *et al*, 1997), des chèvres (ABD EL-GHANI, 2004) et des veaux (VANEETA *et al*, 1998) (DESNOYERS *et al*, 2009). Le pH ruminal moyen était significativement plus élevé pour les ruminants vivants

supplémentés en levures, avec des valeurs de ph ruminal de 6,05 vs 5,49 (BACH *et al*, 2007), 6,14 vs 5,94 (MARDEN *et al*, 2008) et 6,26 vs 5,99 (PERDOMO *et al*, 2020) pour les vaches supplémentées en levures vs les vaches contrôles. BACH *et al* (2007) ont suggéré que la levure sèche active pourrait être plus efficace pour stabiliser le ph du rumen, bien que la fréquence accrue des repas enregistrée dans leur étude puisse jouer un rôle dans l'augmentation constante du ph ruminal mesuré. Néanmoins, les concentrations plus faibles d'acide lactique ruminal pourraient être responsables de la baisse du ph ruminal (GUEDES *et al*, 2008 ; MARDEN *et al*, 2008) (Figure 06).



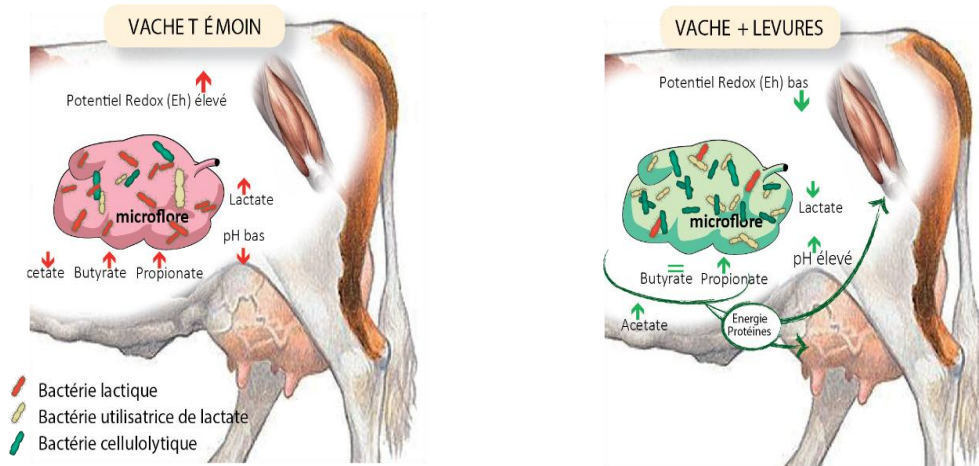
**Figure 06 :** Effet de la supplémentation en levures et bicarbonate sur la production de lactates (MARDEN *et al*, 2008).

#### II.4.5.Effet sur la population ruminale

Le potentiel redox du rumen est un paramètre permet de caractériser l'équilibre de l'écosystème ruminal et de décrire l'activité de la population ruminale, Il doit donc être pris en compte comme complémentaire à celle du ph pour offrir une meilleure approche de la bioénergétique ruminale (WALLONIE, 2011 et REMOND *et al*, 1995). Selon l'analyse quantitative de HUANG *et al* en 2016 chez la vache laitière, l'effet des levures vivantes consiste à régulé le potentiel redox (Eh) de rumen dans le cas où le risque de dysfonctionnement du rumen est suffisamment élevé.

D'après PIVA *et al*, (1993) la supplémentation en levure modifie les rapports d'AGV, son impact se traduit par une réduction du rapport acétate/propionate qui est rapportée malgré une augmentation légère de la concentration en acétate. De même, la supplémentation en

levure facilite l'activité des bactéries cellulolytiques en augmentant la production totale des AGV et en diminuant le rapport acétate/propionate qui explique une transformation accrue du lactate en propionate (MARDEN, 2007).



**Figure 07** : Effet de la levure sur l'écosystème ruminal de la vache laitière (PHILEO-LESAFFRE, 2018).

#### III.4.6. Effet sur la matière sèche ingérée (MSI)

Des études menées dans plusieurs laboratoires ont démontré que la supplémentation en PBL peut influencer le processus digestif dans le rumen et la consommation d'aliments (KUMAR *et al*, 1997). La MSI est souvent considérée comme une fonction du taux initial de digestion des fibres ; on peut s'attendre à ce qu'une stimulation précoce de l'activité ruminale ait un impact majeur sur la consommation d'aliments et puisse constituer une force motrice pour l'amélioration des performances des animaux. De telles études suggèrent un rôle important de la supplémentation en levures dans la digestion chez les animaux maintenus avec un régime alimentaire riche en fourrage (DAWSON et TRICARICO, 2002).

Dans les conditions d'élevage, les producteurs sont surtout préoccupés par les effets d'un additif alimentaire sur la production animale et l'efficacité de l'alimentation. L'action de levure au niveau des animaux a été bien documentée au cours des deux dernières décennies, principalement dans la production de lait et de viande (JOUANY, 2001 ; CHEVAUX et FABRE, 2007). De nombreuses études ont fait état des effets positifs, mais aussi de l'absence d'effets, de différentes levures sur la quantité de MSI.

L'alimentation de PBL a augmenté l'apport en matière sèche (MSI) dans certaines études (DANN *et al*, 2000 ; RAMSING *et al*, 2009 ; MOALLEM *et al*, 2009 ; SALVATI *et*



*al*, 2015) mais pas dans d'autres (YUAN *et al*, 2015 ; MUÑOZ *et al*, 2017 ; ZHU *et al*, 2016 ; SHI *et al*, 2019 ; PERDOMO *et al*, 2020). Des cultures de levure ont également été administrées à des vaches en période pré-partum, ce qui a amélioré la MSI dans certaines études (DANN *et al*, 2000 ; WOHLT *et al*, 1991), mais pas dans d'autres (ROBINSON, 1997 ; SODER et HOLDEN, 1999). De même, POOPLY *et al*, (2012) ont remarqué dans leur méta-analyse que l'effet de la levure sur la MSI était observé pendant le début de lactation, cependant, au milieu et la fin de lactation, cet effet était absent, ces résultats indiquent que, bien que la même préparation de la levure ait été donnée, la réponse de l'animal a varié d'une expérience à l'autre.

#### II.4.7.Effet sur la production laitière

La supplémentation en levure des vaches en lactation a toujours permis d'augmenter la production du lait (ROBINSON and ERASMUS, 2009 ; DESNOYERS *et al*, 2009 ; POPPY *et al*, 2012). Plusieurs auteurs ont montré les avantages d'un complément à LV (MOALLEM et 2009 ; SALVATI *et al*, 2015 ; AMBRIZ-VILCHIS *et al*, 2017) ou CL (BRUNO *et al*, 2009 ; ZAWORSKI *et al*, 2014 ; FACCIO-DEMARCO *et al*, 2008) sur les performances de lactation des vaches laitières. POPPY *et al* (2012) ont relié cette augmentation de production à une amélioration de la capacité d'ingestion reflétée par une augmentation de MSI. Par exemple, BACH *et al* (2018) ont rapporté que les vaches en début de lactation (c'est-à-dire les premières 21 JPP) supplémentées avec un produit de levure vivante produisaient 38,7 kg/j de lait, alors que les vaches non supplémentées en produisaient 32,7 kg/j. Les auteurs ont attribué cette réponse à la différence de MSI entre les vaches ayant reçues un supplément et les vaches n'ayant pas reçues de supplément (18,2 contre 15,7 kg/j, respectivement). DANN *et al* (2000) et LEHLOENYA *et al* (2008) ont constaté que la réponse à l'inclusion de la levure était plus importante au début qu'au milieu ou à la fin de la lactation. D'autre part, les résultats peuvent être très incohérents d'une expérience à l'autre (DESNOYERS *et al*, 2009), et certaines études n'ont observé aucune influence significative de la supplémentation en levure sur la production de lait chez les vaches laitières en milieu de lactation (SCHINGOETHE *et al*, 2004). Comme l'expliquent ERASMUS *et al* (2005), le supplément de levure influence positivement les performances productives des vaches produisant 30 kg/jour par rapport à celles qui ont un niveau de production inférieur à 30 kg/j. Cela peut contribuer à expliquer l'écart entre les études en ce qui concerne les réponses de la production laitière à la supplémentation en culture de levure.



#### **II.4.8. Effet sur la teneur en matières grasses**

Le rendement en matière grasse du lait (kg) était significativement plus élevé pour un groupe de vaches ayant reçu un supplément de levure pendant la saison chaude, ce qui peut être dû à la production laitière plus élevée mesurée simultanément (**MOALLEM et al, 2009**). Le rendement en matière grasse laitière est passé de 1,3 à 1,47 Kg/jour ( $P < 0,05$ ) pour le groupe ayant reçu un supplément de levure lorsque des grains de maïs à forte teneur en humidité ont été nourris (**LONGUSKI et al, 2009**).

**LONGUSKI et al (2009)** ont donc conclu que la dépression des matières grasses du lait dû à une inclusion d'amidon hautement fermentable peut être atténuée par une supplémentation en levure. La supplémentation en levure a augmenté de manière significative le rendement en matière grasse du lait dans les études de **KALMUS et al (2008)** et **PIVA et al, (1993)** avec des rendements de 0,78 contre 0,9 kg/jour pour le groupe témoin et le groupe supplémenté en levure de cette dernière étude. Le pourcentage de matière grasse du lait était significativement plus élevé chez les chèvres (**ABD EL-GHANI, 2004**) et les vaches Holstein (**WHITE et al, 2008**) en raison de la supplémentation en levure.

Ainsi, le pourcentage de matière grasse du lait de chèvre était significativement plus élevé au niveau du dosage de six grammes par jour par rapport au groupe supplémenté de trois grammes et au groupe témoin (**ABD EL-GHANI, 2004**). Ainsi, la méta-analyse réalisée par (**DESNOYERS et al, 2009**) a montré que le pourcentage de matière grasse du lait avait tendance à augmenter de 0,05 unité de pourcentage en raison de la supplémentation en levures.

#### **II.4.9. Effet sur la teneur en protéines**

La supplémentation en levure a le potentiel d'augmenter les pourcentages de protéines (**NOCEK et al, 2003 ; WHITE et al, 2008**) et les rendements en protéines. Les rendements en protéines du lait étaient significativement plus élevés à 1,17 kg/jour pour les vaches nourries à la levure par rapport au contrôle qui produisait 1,14 kg/jour (**SHAVER et GARRETT, 1997**). Ces résultats sont similaires à ceux des études de **BRUNO et al, (2009)** et **KALMUS et al, (2009)**. La réponse significative peut être due au fait que la supplémentation en levure augmente les processus digestifs qui se produisent dans le rumen, et par conséquent augmentent les nutriments disponibles pour l'absorption qui est utilisée pour la production de lait (**BRUNO et al, 2009**). La protéine microbienne plus élevée produite pour être métabolisée dans le duodénum pourrait éventuellement contribuer à l'augmentation de la

production de protéines par la glande mammaire (**BRUNO et al, 2009 ; KALMUS et al, 2009**). L'efficacité de l'utilisation des protéines est en outre accrue grâce à la supplémentation en levure, comme **BRUNO et al, (2009)** l'avaient suggéré, car une baisse de l'azote uréique du sang a été enregistrée dans cette étude.

Les pourcentages de protéines résultant de la supplémentation en levure étaient sensiblement inférieurs en raison de l'effet de dilution des rendements laitiers plus élevés, ce qui a été constaté dans les études **d'ABD EL-GHANI (2004) et de SHAVER et GARRET (1997)**.

## *Chapitre III :*

# *La lecture critique des essais expérimentaux en agronomie (méta-analyse)*

## **Chapitre III : la lecture critique des essais expérimentaux en agronomie (méta-analyse)**

Dans ce chapitre la définition, les objectifs et les principes de la méta-analyse sont présentés en premier, ils sont suivis par la limite, les méthodes et étapes et enfin les types de méta-analyses selon les études incluses.

### **III.1. Définition**

D'après **ROSENTHAL en 1984** et **CUCHERAT en 1997**, la méta-analyse est une démarche scientifique, plus qu'une simple technique, utilisée pour combiner les résultats de plusieurs études. Dans le but de formuler des conclusions associant l'ensemble des variables incluses dans ces études et faire une synthèse reproductible et quantifiée. Alors que plusieurs auteurs comme (**NIEMI, 1986 et MULLER, 1988 et PIGNON et POYNARD, 1991 et BORENSTEIN et al, 2009**) définissent la méta-analyse comme la synthèse statistique des résultats issus d'une série d'études, d'un même domaine, distinctes mais similaires. Selon **HOWICK et al, 2018**, elle est la partie quantifiée de la revue systématique, et est considérée avec elle comme l'investigation scientifique dont les résultats sont les plus fiables.




### **III.2. Les objectifs de la méta-analyse**

D'après **LITTELL et al (2008)** et **GUEGUEN et al (2007)**, l'objectif de méta-analyse est de faire une synthèse de la littérature sur un ensemble de recherches portant sur une thématique donnée d'une part, et d'autre part d'analyser les variations des résultats d'un ensemble d'études en corrigeant les erreurs et les biais des études individuelles.

### **III.3.Principes fondamentaux**

En **2016**, **LAOUANI et BENTLEMSANI** signalent que le principe de méta-analyse est de tester certaines hypothèses par l'évaluation de l'effet d'un traitement utilisé sur des populations comparables, en rassemblant les résultats de multiples études.

Selon **LAROCHE et SOULEZ (2012)**, la démarche méta-analytique s'appuie alors sur trois grands principes :

-  Une recherche exhaustive des études existantes.
-  Une sélection rigoureuse et argumentée des études.
-  Une estimation de la taille de l'effet commun.

### **III.4.Limite de la méta-analyse**

Cette méthode de synthèse comporte des limites qu'il importe de considérer.

**La première critique** de méta-analyse est formulée lorsque y'a une combinaison et comparaison des études trop hétérogènes en matière de méthodologie, de population à l'étude, du type d'intervention évaluée, des résultats mesurés, etc. (**GLASS et al, 1981**).

**La deuxième critique** est dans la combinaison des résultats d'études qu'ont des qualités méthodologique varie. Pour cela, **WOLF (1986)** montre qu'une recherche s'appuyant sur une méthodologie solide résulte des tailles d'effets plus faibles qu'une recherche basé sur qualité moindre.

**La troisième critique**, une méta-analyse se basant sur les études publiées car sont plus susceptibles de présenter des résultats significatifs et de répondre aux questions de recherche que les études non publiées (**GLASS et al, 1981**).

### **III.5.Méthodes**

**GUEGUEN et al (2007)** confirment que la sélection des recherches et surtout, l'obtention des données est la phase la plus importante d'une méta-analyse de plus cette dernière ne présente pas d'intérêt, si elle ne s'appuie pas sur des articles, des données et ne possède pas au moins 12–15 articles avec données exploitables .Il faut aussi des recherches exploitables en nombre suffisant (contenant des données numériques précises).

La qualité d'une méta-analyse selon **LAOUANI et BENTLEMSANI (2016)**, est assurée par la disponibilité des informations de base pour le lecteur (nombre de sujets dans chaque groupe, nombre de succès ou de complication dans chaque groupe). Cette disponibilité est considérée comme un principe fondamental de visibilité et crédibilité de l'activité scientifique. Dans le cas où les informations de bases ne seraient pas toutes publiées, l'auteur de la méta-analyse doit fournir les données de base pour le lecteur intéressé.

### III.6. Les étapes de méta-analyse

**Tableau 01 :** Etapes principales d'une méta-analyse (GLASS *et al*, 1981 et LAROCHE et SOULEZ en 2012).

<b>Etapes</b>	<b>Question posé</b>	<b>Objectif principal</b>
<b>1. Formuler une question de Recherche.</b>	Quel est l'objectif de la recherche ?	-Formuler et préciser une question et les objectifs de recherche. -Définir les variables d'intérêt (population, résultat principal, types d'études)
<b>2-Collecter les études existantes.</b> (Recherche documentaire systématique)	Quelles procédures doivent être utilisées pour trouver les études pertinentes ?	Identifier les bases de données, type de revues et mots clés utilisés pour rechercher les études pertinentes.
<b>3- Sélectionner les études</b>	Quelles études doivent être incluses ou exclues de la synthèse sur la base de leurs caractéristiques ?	Appliquer des critères afin de sélectionner les études qui abordent la question de recherche.
<b>4-Coder les informations Collectées.</b>	Quelles informations faut-il rassembler ?	Sélectionner les informations pertinentes des études que l'on souhaite rassembler.
<b>5-Contrôler le Biais de publication</b>	Existent'ils des Biais de publication	Contrôler la qualité des études et interpréter les résultats en tenant compte du fait qu'une méta-analyse portant uniquement sur des résultats d'études publiées.
<b>6-Analyser et intégrer les résultats empiriques</b>	Quelles procédures utilisées pour analyser et intégrer les	combiner les résultats et tester les différences entre

<p><b>d'études</b></p> <p>(Agrégation des résultats, test d'homogénéité)</p>	<p>résultats empiriques ?</p>	<p>les résultats des études.</p> <p>On assurant que la variable indépendante est la même dans chaque étude.</p>
<p><b>7-Présenter et interpréter des résultats</b></p>	<p>Quelles conclusions peut-on tirer des résultats de la méta-analyse ?</p> <p>Quelles informations doivent être présentées dans le rapport de synthèse ?</p>	<p>Résumer les résultats de la méta-analyse.</p> <p>Identifier et appliquer les règles éditoriales afin de mettre en avant les résultats les plus significatifs.</p>

### **III.6.1. Formulation d'une question de recherche**

C'est une étape préliminaire à toute méta-analyse, commune à tous les travaux scientifiques, consiste à déterminer le sujet de l'étude et acquérir une bonne compréhension du problème de recherche. Ainsi qu'elle va permettre aussi d'identifier un problème et de justifier l'intérêt de la méta-analyse (**VÖLCKNER et HOFMANN, 2007**). Comme le mentionnent **LITTELL et al (2008)**, cette première étape implique l'identification des questions centrales qui guideront la démarche. Dès le départ, il est important de clarifier les objectifs de la synthèse et les hypothèses centrales.

### **III.6.2. Collection des études existantes**

Après avoir formulé une question de recherche précise, l'étape suivante d'après **LAROCHE et SOULEZ (2012)** est consistée à faire une recherche exhaustive des études existant sur cette question de façon que d'après **ANNICK et MARIE, (2013)**, les études doivent offrir une réponse aux questions centrales. **LAROCHE et SOULEZ en 2012 et COOK et al en 1993** ont convenu que pour une collecte des études il faut d'une part effectuer une recherche bibliographique approfondie afin d'identifier ce qui a été publié en utilisant des moteurs de recherche sur Internet, comme *Google Scholar*, *EconPapers SSR* et *Scientific Commons* qui sont devenues des outils essentiels de recherche bibliographique et d'autre part envisager de collecter les études non publiées par une recherche manuelle directement auprès des sommaires, des revues ou des ouvrages collectifs, la prise de contact avec les spécialistes

du domaine sont autant de moyens complémentaires permettant de prendre connaissance de la littérature existant sur un sujet. Alors que **COOK et al (1993)** signale que les méta-analystes ne sont pas d'accord entre eux quant à l'inclusion des travaux non publiés pour chaque méta-analyse, les données nécessaires sont les moyennes et les écarts-types ainsi que le nombre expérimenté et le nombre témoin dans chaque étude. Les moyennes et les écarts-types sont calculés à partir des valeurs récoltées pour chaque individu testé. La méthode de test n'est pas la même pour tous les études. (**AOUADI, 2014**).

### **III.6.3. Sélection des études**

D'après **ANNICK et MARIE, (2013)**, **LAROCHE et SCHMIDT, (2004)** et **AJAMIEH, (2018)**, une fois le sujet formulé et les études sont collectées il convient de définir des critères d'inclusion précis, établis par le chercheur, ces critères permettent de spécifier les protocoles, les populations, les interventions, les comparaisons et les résultats à inclure. Plusieurs auteurs comme **GLASS et al (1981)**, **CHANG et al. (2000)** et **DOUCOULIAGOS et LAROCHE (2003b)** ont confirmé que la méta-analyse excluait :

- Les publications qui s'appuient sur les résultats d'une même étude pour éviter le biais de surreprésentation.
- Les études dont l'information est insuffisante pour la méta-analyse
- Les études qui se fondent sur des méthodologies de recherche très différentes

**GLASS et al en 1981**, recommandent d'éliminer certaines études dans le cas où le méta-analyse aurait des doutes sur la qualité de celles-ci. D'autres spécialistes recommandent d'exclure les études de mauvaise qualité. En se basant sur l'utilisation des bases de données qui assure le classement des revues internationales (**DOUCOULIAGOS et LAROCHE, 2003b**). D'après **ANNICK et MARIE, (2013)**, l'évaluation de la qualité des études incluses dans la méta-analyse se fait par différentes approches telles que : le type de protocoles utilisés, la présence d'un groupe de contrôle. D'autres approches impliquent l'utilisation d'échelles permettant de calculer un score de qualité pour chaque étude à partir de multiples items (ex. : type de protocoles, administration de mesures de suivi, utilisation de sources de données multiples).

D'autres encore examinent de manière approfondie la validité interne et externe de chaque étude (**COOPER, 2010**). Au-delà du méta-analyse peut aussi éliminer un certain nombre d'études qui ne répondent pas aux critères établis par le chercheur. (**GLASS et al (1981)**).



#### **III.6.4. Codage des informations Collectées**

Après avoir sélectionné les études existantes, l'étape suivante d'après **REISINGER, (1997)**, consiste à Coder les informations collectées par la grille de codage qu'est utilisée par le méta-analyste pour rassembler toutes les informations sur chacune des études sélectionnées. Selon le même auteur lorsque le nombre d'études collectées est important, l'élaboration de la grille de codage devient une opération laborieuse, car il s'agit d'établir une liste de toutes les informations des études que l'on souhaite rassembler qui peut réunir de nombreuses variables. **COOPER en 2010** signale que le grille de codage varie d'une méta-analyse à l'autre et se basant toujours sur les mêmes informations comme : les caractéristiques de la publication, les conditions expérimentales de l'étude, la nature des variables d'intérêt et leur mode de mesure, la méthodologie adoptée, les résultats statistiques obtenus et, éventuellement, des informations sur le codage lui-même. Ces informations peuvent être regroupées dans un tableur afin de pouvoir aisément mener les traitements statistiques de la méta-analyse.

#### **III.6.5. le contrôle de biais de publication**

La plus puissante menace à la validité interne d'une méta-analyse réside dans le biais de publication. Plusieurs auteurs comme (**BEGG, 1994 et DICKERSIN, 2005 et SCHERER et al, 2007 et TORGERSON, 2006 et COOK et al, 1993**) démontrent que les études publiées sont celles qui présentaient des résultats positifs et significatifs que les études dont les résultats sont négatifs ou nuls. **COOPER en 1984** remarque que les travaux non publiés comme les thèses de doctorat, cahiers de recherche ... etc sont généralement de mauvaise qualité que les travaux publiés, c'est pour cela qu'il convient de ne pas les inclure dans l'analyse. Dans cette étape de biais de publication, la validité et la fiabilité de la méta-analyse sont assurées par la collecte exhaustive de la littérature et la sélection rigoureuse des études. D'après plusieurs auteurs comme (**STERNE et al, 2001 ; SUTTON et al, 2000a, b; GILLET, 2001 ; STANLEY et al, 2003 et BEGG et MAZUMDAR, 1994**), il existe plusieurs techniques permettant d'identifier le biais de publication tel que funnel plot qui permet de quantifier la probabilité d'existence d'un biais et l'utilisation de tests de corrélation de rang (Tau de Kendall ou Rho de Spearman) pour quantifier plus précisément le biais de publication.

Ces techniques font actuellement l'objet de débats quant à leur utilité et aux limites importantes que certains leur attribuent (**DAYA, 2006**).

### **III.6.6. l'analyse et l'intégration des résultats empiriques d'études**

**LAROCHE et SCHMIDT en 2004**, signalent que dans ce niveau, le méta-analyste peut débiter l'analyse des données extraites des études retenues à l'étape précédente. Ces données vont servir de base aux différents calculs permettant d'obtenir une synthèse des résultats existants dans la littérature.

#### **III.6.6.1. L'agrégation des résultats**

D'après **LAROCHE et SCHMIDT, (2004)**, L'obtention de ces résultats passe par deux étapes :

1. Le choix d'une taille d'effet commune.
  2. La combinaison de ces tailles d'effet.
- L'estimation du degré de relation entre deux variables d'intérêt définit la taille d'effet.

##### **III.6.6.1.1. Le choix d'une taille d'effet commune**

Plusieurs techniques existent pour transformer les statistiques présentées dans les études collectées afin de calculer une métrique qui va permettre de combiner les résultats et de calculer la moyenne des tailles d'effet (**WOLF, 1986**). Ces méthodes divergent selon la nature des variables (variables continues, variables nominales) et selon le type d'études disponibles (recherches expérimentales ou recherches de type corrélationnel) (**LAROCHE et SCHMIDT, 2004**).

##### **III.6.6.1.2. La combinaison des tailles d'effet « standardisées »**

Les tailles d'effet standardisées peuvent être combinées lorsqu'elles sont calculées pour chaque étude. Il existe, deux méthodes d'agglomération des effets « standardisés » : la première dite « méthode à effet fixe » et la seconde dite « méthode à effet aléatoire »

(**EREZ et al, 1996**). La méthode à effet fixe fait l'hypothèse d'une homogénéité entre études, c'est-à-dire que le même effet théorique pour chacune, et les seules variations des résultats observés entre les études proviennent de variations aléatoires autour de cet effet commun moyen, dues à l'erreur de mesure et à l'erreur d'échantillonnage. La formulation de l'estimation de cet effet commun moyen est égale à la moyenne des effets observés dans chaque recherche parfois pondérés par un poids  $w_i$  inverse de leur variance estimée et de son intervalle de confiance à 95 % (**HEDGES et OLKIN, 1985**). Selon **RAUDENBUSH, (1994) et HEDGES et VEVEA ,(1998)**, dans la méthode à effet aléatoire, la moyenne pondérée des effets observés dans chaque étude c'est l'estimation de la taille de l'effet commun en intégrant un terme représentant la variabilité inter-études qui vient s'ajouter à la variabilité intra-études.

A la fin l'estimation de la taille de l'effet commun pour les deux méthodes (à effet fixe ou à effet aléatoire) est en général sensiblement la même, par contre l'intervalle de confiance est différent. Celui obtenu par la méthode à effet aléatoire est plus large et peut amener à des conclusions différentes quant à la significativité de l'effet commun.

### **III.6.6.2. Test d'homogénéité**

Etudier l'homogénéité d'un effet est une étape très importante dans l'analyse d'une méta-analyse. C'est pour cela **HEDGES et OLKIN (1985)** ont proposé un test d'homogénéité des tailles d'effet afin de répondre à la question fondamentale suivante : **la variation des tailles de l'effet est-elle réellement due à des variables modératrices ou simplement à des erreurs d'échantillonnage ?** L'homogénéité des études est vérifiée avec la réalisation de test  $QT$  de Cochran qui permet de tester l'hypothèse nulle selon laquelle toutes les tailles d'effet sont égales (**HEDGES et OLKIN, 1985 ; GUREVITCH et HEDGES, 1993**). L'hétérogénéité totale d'un échantillon,  $QT$  est calculée de la manière suivante :

$$Q_T = \sum_{i=1}^k w_i (d_i - d_t)^2$$

Avec  $w_i$  étant l'inverse de la variance de l'échantillon,  $d_i$  est la taille d'effet de l'étude  $i$  et  $d_t$  est l'estimation de la taille d'effet dans la population.

La valeur obtenue se distribue comme un chi-deux. Si  $Q_t$  est voisin de 1, la variation des résultats est due à l'échantillonnage, dans le cas contraire, la variation est due aux fluctuations d'échantillonnage. L'utilisation de cette procédure conduit à déterminer l'existence d'éventuels groupe d'études dont les tailles d'effets sont homogènes.

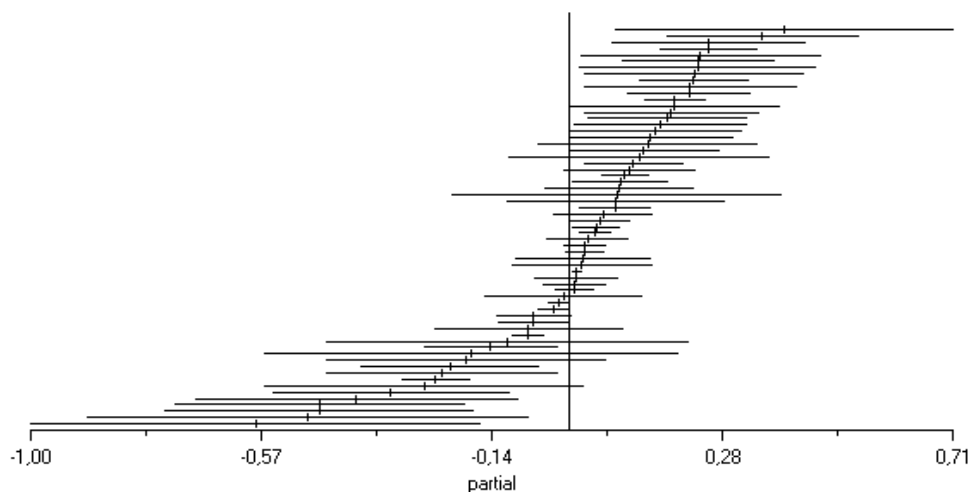
La procédure de **HUNTER et al. (1982)** n'utilise pas forcément les tests statistiques d'homogénéité des effets mais cherche dans un premier temps à évaluer la part de la variance des effets liée aux erreurs d'échantillonnage. Ainsi, pour déterminer dans la population la variance des tailles d'effets on calcule la somme des différences au carré entre chaque taille d'effet et la taille d'effet estimée dans la population. On pondère ensuite chaque différence en fonction des tailles des échantillons de chaque étude. Celle-ci correspond à la variance observée de la population.

### III.6.7. Interprétation des résultats de la synthèse

Selon **LIGHT et PILLEMER en 1984**, Les résultats de la méta-analyse se présentent généralement sous la forme d'un tableau qui contient (**Figure 02**) :

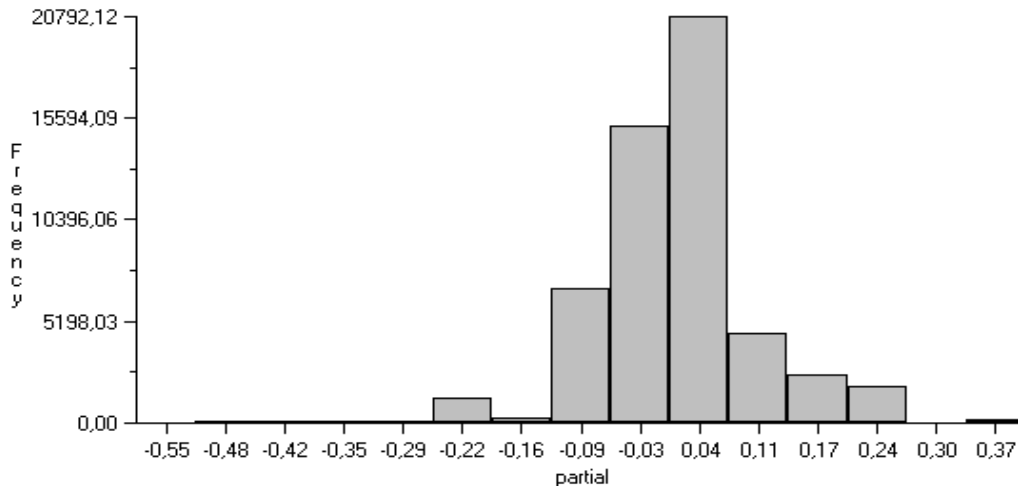
1. Le nombre d'études incluses dans la méta-analyse (k)
2. La taille de l'échantillon total (N)
3. L'estimation de la taille de l'effet commun en combinant l'ensemble des données issues des études réunies dans la méta-analyse.
4. intervalle de confiance de cette estimation (généralement à 95 %) et parfois de l'étendue des grandeurs d'effets
5. Le résultat du test d'hétérogénéité.

Les résultats de la méta-analyse peuvent aussi être représentés sous forme graphique. Il existe plusieurs formes de représentation graphique des résultats (**Figure 08,09**). La représentation graphique en ligne est la plus courante et qui permet de présenter facilement l'ensemble des résultats issus d'une méta-analyse. Sur le même graphique sous la forme de points on trouve les tailles de l'effet de chaque étude et l'effet estimé dans la population (carré ou tiret vertical) entouré par leur intervalle de confiance (trait horizontal). Cette représentation de la distribution des fréquences des valeurs de l'effet mesuré permet de constater que le rejet de l'hypothèse d'homogénéité n'est pas le fait de quelques points dispersés (**LIGHT et PILLEMER, 1984**).



**Figure 08 :** Exemple de distribution des tailles de l'effet et intervalles de confiance à 95 % (**DOUCOULIAGOS et LAROCHE, 2003a**).

**LIGHT et PILLEMER, 1984** expliquent que dans la **Figure 08**, les tailles de l'effet de chaque étude et l'effet estimé dans la population sont représentés sur le même graphique sous la forme de points (tiret vertical) entourés par leur intervalle de confiance (trait horizontal). A partir de cette représentation de la distribution des fréquences des valeurs de l'effet mesuré, le rejet de l'hypothèse d'homogénéité n'est pas le fait de quelques points dispersés.



**Figure 09** : Exemple de distribution des tailles de l'effet (**DOUCOULIAGOS et LAROCHE, 2003a**)

La **figure 09**, présente la distribution de l'ensemble des résultats publiés autour de la grandeur d'effet moyenne calculée représentée par un histogramme.

### **III.7.Types de méta-analyses selon les études incluses**

Les types de méta-analyses selon **LAOUNI et BENTLEMSANI (2016)** sont :

- ✚ Les études publiées seules
- ✚ Les études publiées et non publiées
- ✚ Les études sur données individuelles

### **III.7.1. Etudes publiées seules**

Représente **70%** des méta-analyses publiées entre 1989 et 1991, il compte sur des grandes bases de données bibliographiques (MEDLINE, PASCAL...) pour avoir que les études publiées, ce qui explique le risque majeur de biais de publication dans ce type de méta-analyse. (<http://www.medcine.Ups.tlse.fr/index.PHP>)

### **III.7.2. Etudes publiées et non publiées**

Ce type implique une recherche laborieuse par les chercheurs pour avoir l'ensemble des études publiées et non publiées. Ce qui nécessite en plus de la recherche bibliographique, une exploration des résumés de congrès, les registres d'essais en cours, un contact des chercheurs... cette exploration permet d'éviter en grande partie le risque majeur de biais de publication dans ce type de méta-analyse. (LAOUNI et BENTLEMSANI, 2016).

### **III.7.3. Les études sur données individuelles**

Cette méthode suppose d'accéder aux données originales recueillies par les chercheurs et d'obtenir une copie de leurs fichiers de données c'est pour cela elle est plus lourde sur le plan du recueil des données. Disposant de l'ensemble de l'information élémentaire, il est possible d'harmoniser les critères de jugement, d'avoir une idée plus précise de la qualité des essais. Cette méthode permet également quelques analyses spéciales : multi-variée, données de survie ou ré-analyses en intention de traiter (<http://www.medecine.ups-tlse.fr/index.php>).

# *IV : Partie pratique*

## ***IV.1. Matériels et Méthodes***



## IV. Partie pratique

### IV.1. Matériels et méthodes

#### IV.1.1. Contexte du travail

Les produits à base de levure (PBL) sont couramment utilisés dans le monde entier pour l'alimentation des animaux de production. On pense que les produits de levure affectent la population microbienne du rumen, provoquant des changements dans la production d'AGV ruminants qui se traduisent par une augmentation de la production de lait ainsi que par une augmentation des rendements en matière grasse et en protéines du lait des vaches laitières en lactation. En dépit de nombreuses études examinées sur les effets de l'alimentation avec des produits à base de levure, les résultats de ces études chez les vaches laitières semblent peu concluants. Le but de cette étude est de passer en revue de manière critique toutes les recherches pertinentes et d'estimer l'effet de PBL sur les performances de production chez les vaches laitières en utilisant des méthodes méta-analytiques. Un objectif secondaire était d'examiner les différents facteurs qui peuvent affecter l'effet de PBL.

#### IV.1.2 Stratégie de recherche

La revue systématique a été réalisée conformément aux lignes directrices énoncées dans PRISMA (MOHER *et al*, 2009). La figure 10 présente la stratégie de recherche utilisée.

#### IV.1.3. Recherche documentaire

Les articles pertinents ont été obtenus en recherchant des manuscrits évalués par un comité de lecture et qui ont été publiés en anglais en utilisant 3 moteurs de recherche [PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>) et Google Scholar (<http://www.scholar.google.com/>)]. Des termes de recherche comprenaient diverses combinaisons : de «produits à base de levure», «vache laitière», «production laitière» et «performances productives» ont été utilisés. De plus, des méta-analyses antérieures et des listes de références de revues systématiques (ROBINSON et ERASMUS, 2009 ; DESNOYERS *et al*, 2009 ; POPPY *et al*, 2012) ont été examinées afin de révéler des études potentiellement manquées.

#### **IV.1.4.Sélection des études**

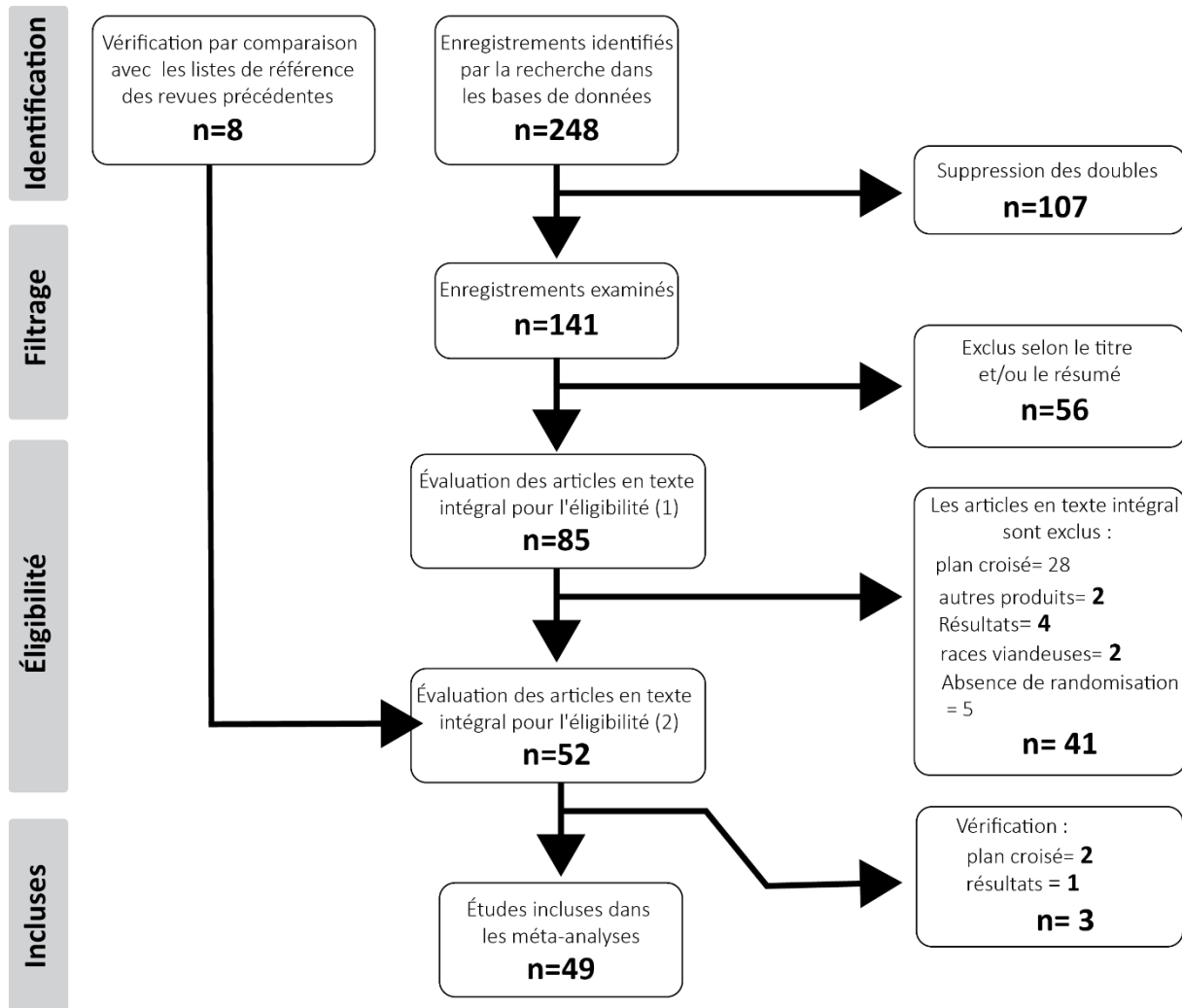
Les articles obtenus à partir des recherches finales ont d'abord été dédoublés, puis un processus d'inclusion / exclusion a été effectué sur la base des critères d'inclusion suivants : (1) essais contrôlés randomisés (2) publiés dans des revues à comité de lecture (3) testant l'effet de PBL (c'est-à-dire, pas d'autolysats de levure) et (4) disponibles en anglais. (5) Les articles doivent également avoir été réalisés sur des vaches laitières en lactation (6) avec des rapports statistiques adéquats, (7) doivent avoir utilisé un plan du groupe parallèle (c'est-à-dire, pas de plan croisé) et (8) doivent avoir rapporté des résultats d'au moins un des résultats de production (PL, MSI et composition du lait) avec une mesure de variance (erreur standard ou écart type).

#### **IV.1.5.Extraction de données**

Les données sur la MSI, la PL et la composition du lait ont été utilisées pour estimer les résultats. Une feuille d'extraction de données a donc été développée dans Microsoft Excel. Chaque expérience contenait 2 traitements ou plus (contrôle vs levure), qui étaient également codés individuellement et chaque ligne représentait une taille d'effet. Dans le cas où plusieurs tailles d'effets utilisent un seul groupe témoin commun et étaient présentes dans une seule étude, ces effets ont été saisis sur des lignes séparées et ont été liés par un ID d'essai. Au-delà de la taille de l'effet, d'autres informations ont été extraites sur chaque étude, notamment l'année de publication, le pays, le type de l'étude (étude de terrain ou expérimentale), le type de levure [levure vivante (LV) ou de culture de levure (CL)], la firme de produit, la parité (primipare, multipare ou un mélange de multi- et primipares), stade de lactation pour la période d'étude (début <100 jours post-partum, milieu  $\geq 100$ , <200 jours post-partum ou tard  $\geq 200$  jours post-partum), fréquence de traite ( $\times 2$  ou  $\times 3$ ), caractéristiques du régime, méthode de livraison de culture de levure (mélangée avec l'aliment ou épandue sur aliment), et comment le traitement a été administré à la vache [individuellement ou groupée (nourrie à un enclos de vaches)]. Pour les firmes de produits, étant donné que les produits Vi-Cor font désormais partie de la famille Arm & Hammer, les études sur les produits Vi-Cor ont été classées comme Arm & Hammer.

Les caractéristiques des régimes alimentaires étaient l'amidon, les fibres insolubles dans les détergents neutres (FDN), les fibres insolubles dans les détergents acides (FDA) et les protéines brutes (PB). Les caractéristiques des régimes alimentaires ont été dichotomisées en deux niveaux (élevé ou faible) et les seuils pour considérer les proportions d'amidon, de

FDN, d'AFD ou de PB comme élevées étaient de 25%, 20%, 30% ou 17%, respectivement selon **DIAS *et al*,(2018b)** pour amidon, **BEAUCHEMIN et BUCHANAN-SMITH (1989)** pour FDN, **CUMMINS (1992)** pour FDA et **PUTNAM *et al*,(1997)** pour PB. Il convient de noter que les résultats de **WOHLT *et al*, (1991)** concernant la PL n'étaient pas disponibles, cependant les résultats de la composition du lait ont été utilisés.



**Figure 10 :** Diagramme de flux PRISMA pour la sélection des études incluses dans les méta-analyses des effets de PBL sur la performance productive

#### IV.1.6. Analyses statistiques

Toutes les méta-analyses ont été réalisées en utilisant les paquets metafor (**VIECHTBAUER, 2010**) et metaSEM (**CHEUNG, 2014**) de R via RStudio (Version 1.1.383 ; RStudio, Inc.).

#### IV.1.6.1. Calcul de la taille de l'effet

Les mesures de la taille de l'effet (TE) ont été calculées à l'aide de Cohens  $d$ , reflétant la différence de moyenne standardisée (DMS) entre les conditions de traitement et de contrôle divisée par l'écart-type combiné (ET). Si l'erreur standard de chaque groupe était signalée, l'écart type était calculé à partir de l'erreur standard d'une moyenne en multipliant par la racine carrée de la taille de l'échantillon. Pour l'erreur standard intra-groupe ( $ES_{\text{combiné}}$ ), les ET intra-groupes ( $ET_{\text{combiné}}$ ) ont été obtenus selon **BAGULEY (2012)** en utilisant la formule suivante :

$$ET_{\text{combiné}} = \frac{ES_{\text{combiné}}}{\sqrt{\frac{1}{n_c} + \frac{1}{n_e}}} \quad (1)$$

Où  $ES_{\text{combiné}}$  est l'erreur standard intra-groupes et  $n_c$ ,  $n_e$  sont la taille de l'échantillon dans les groupes témoin et expérimental.

La DMS ( $d$ ) et sa variance ( $V_d$ ) ont été calculées à l'aide des formules suivantes (**MOORIS et al, 2002 ; BORENSTEIN et al, 2009**) :

$$d = \frac{\bar{Y}_e - \bar{Y}_c}{ET_{\text{combiné}}} \quad (2)$$

Où  $\bar{Y}_e$ ,  $\bar{Y}_c$  sont les moyennes des groupes expérimentaux et témoins,  $ET_{\text{combiné}}$  est l'écart-type intra-groupes ET et  $n_c$ ,  $n_e$  sont la taille de l'échantillon dans les deux groupes.

Si le  $ET_{\text{combiné}}$  n'a pas été rapporté, il est calculé en utilisant :

$$ET_{\text{combiné}} = \sqrt{\frac{(n_c - 1)E_c^2 + (n_e - 1)E_e^2}{n_c + n_e - 2}} \quad (3)$$

Où  $n_c$ ,  $n_e$  sont la taille de l'échantillon dans les deux groupes, et  $E_e$ ,  $E_c$  sont les écarts-types dans les deux groupes.

$$V_d = \frac{n_c + n_e}{n_c n_e} + \frac{d^2}{2(n_c + n_e)} \quad (4)$$

Toutes les valeurs TE ont été ajustées à l'aide de la correction de **HEDGES (HEDGES et OLKIN, 1985)**, ce qui donne une estimation sans biais de la différence de moyenne standardisée de la population ( $g$ ). La correction ( $g$ ) a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{g} = \mathbf{d} * \left( \frac{3}{4*df-1} - \mathbf{1} \right) \quad (5)$$

#### IV.1.6.2.Approche méta-analytique à plusieurs niveaux

La plupart des études ont produit des structures de données complexes telles que celles avec des comparaisons multiples (c'est-à-dire des études avec plus de deux groupes d'intervention avec un groupe témoin commun). Nous avons abordé cette question en utilisant une approche à plusieurs niveaux (CHEUNG 2019 ; MOEYAERT *et al*, 2017) qui nous a permis d'inclure tous les TE dérivés des mesures de chaque variable, sous une forme non agrégée pour chaque étude. Le modèle à trois niveaux comprenait la variation d'échantillonnage (niveau 1), la variation intra-étude (niveau 2) et la variation inter-études (niveau 3). Le modèle se compose de trois équations de régression, une pour chaque niveau et combinées dans l'équation suivante :

$$d_{ok} = \gamma + v_k + u_{ok} + r_{ok} \quad (6)$$

$$\text{Avec } r_{ok} \sim N \left( 0, \sigma_{r_{ok}}^2 \right), u_o \sim N \left( 0, \sigma_u^2 \right), v_k \sim N \left( 0, \sigma_{v_k}^2 \right)$$

où  $d_{ok}$  est l'TE observée pour le résultat  $o$  dans l'étude  $k$ , égale à la taille de l'effet global  $\gamma$  plus l'écart entre cet effet global et l'effet moyen spécifique dans l'étude  $k$  (c.-à-d.  $v_k$ ), plus l'écart entre l'effet observé de résultat  $o$  dans l'étude  $k$  et l'effet moyen de l'étude  $k$  (c.-à-d.  $u_{ok}$ ), plus un résidu (c.-à-d.  $r_{ok}$ ) dû à la variation d'échantillonnage.

Des analyses de sous-groupes ont été utilisées pour déterminer s'il existait une différence statistique au sein des sous-groupes. Un minimum de trois études dans chaque catégorie des différents facteurs de confusion devaient être incluses dans les méta-analyses du sous-groupe, les sous-groupes suivants ont été explorés et testés : produits de type levure, plan de l'étude, début du traitement, parité, stade de lactation, alimentation, mode d'administration, fréquence de traite, niveau d'amidon, niveau PB, niveau FDA et niveau FDN.

Nous avons également mené des analyses de méta-régression avec l'utilisation de modèles à trois niveaux à effets mixtes pour examiner les différents facteurs de confusion testés dans une méta-analyse de sous-groupes en tant que modérateurs potentiels de la taille d'effet groupé de PL.

De même, nous avons effectué des analyses de méta-analyse multivariées avec PL et MSI comme résultats pour nous permettre de déterminer si, et dans quelle mesure, les effets

sur PL différaient de ceux sur MSI (analyses limitées aux études qui rapportaient à la fois sur les résultats PL et MSI). Par conséquent, trente études et cinquante-deux essais ont été disponibles pour une utilisation dans la méta-analyse multivariée.

Pour toutes les méta-analyses, des modèles à effets fixes et aléatoires ont été réalisés pour chaque résultat de production afin d'estimer la taille de l'effet, l'IC à 95% et la signification statistique de la DMS. Si  $\chi^2$  de l'hétérogénéité était significatif, nous avons utilisé un modèle à effets aléatoires pour estimer la taille des effets, sinon, nous avons utilisé un modèle à effets fixes (COOPER et HEDGES, 2009).

#### IV.1.6.3. Évaluation de l'hétérogénéité

Les variations entre les DMS au niveau de l'essai ont été évaluées en utilisant à la fois le test d'hétérogénéité du Chi-Deux ( $\chi^2$ ) et le  $I^2$ . Les valeurs négatives de  $I^2$  ont été attribuées une valeur de zéro, par conséquent  $I^2$  se situe entre 0 et 100% (BORSTEIN *et al*, 2009). Une valeur  $I^2$  inférieure à 25% indique une faible hétérogénéité, tandis que des valeurs comprises entre 35 et 50% dénotent une hétérogénéité modérée et celles supérieures à 50% dénotent une hétérogénéité élevée (HIGGINS *et al*, 2003).

#### IV.1.6.4. Biais de publication

Le biais de publication a été évalué visuellement à l'aide de graphiques en entonnoir et du test d'egger (EGGER *et al*, 1997). Un diagramme en entonnoir est un nuage de points utilisé pour détecter l'hétérogénéité systématique en présentant la distribution de la taille de l'effet (DMS) par rapport à l'erreur standard. Les valeurs aberrantes ont également été identifiées en effectuant un diagnostic de cas influent (VIECHTBAUER et CHEUNG, 2010) [c.-à-d. Valeur DFFITS, distances de Cook, rapports de covariance, estimations de  $\tau^2$  et statistiques de test pour l'hétérogénéité (résiduelle)].

#### IV.1.6.5. Interprétation des valeurs de DMS

Les données DMS sont exprimées en unités d'écart type (HIGGINS et GREEN, 2008) et les valeurs DMS inférieures à 0,4, comprises entre 0,4 et 0,7 ou supérieures à 0,7 ont été considérées respectivement comme des effets faibles, modérés ou importants (SCHÜNEMANN *et al*, 2008). De plus, afin de simplifier la présentation des résultats, la taille de l'effet a également été examinée en utilisant la différence moyenne (DM), ce qui permet d'exprimer la taille de l'effet dans la même unité (TAKESHIMA *et al*, 2014).

## *IV.2 Résultats et Discussion*

## IV.2. Résultats et Discussion

### IV.2.1. Résultats

Un total de quarante-neuf études de recherche répondait aux critères d'inclusion dans la méta-analyse, parmi les 49 études, 99 comparaisons (essais) ont été rapportées. Une description synthétique des études incluses est présentée dans le **tableau 02**. Les études provenaient en grande partie d'Amérique du Nord et d'Europe et les PBL utilisées dans les études provenaient d'au moins 12 préparations commerciales différentes.

**Tableau 02** : Résumé des études incluses dans les méta-analyses et leurs caractéristiques.

Référence	Type <sup>1</sup>	Conception de l'étude <sup>2</sup>	N total	Race <sup>3</sup>	Parité <sup>4</sup>	Stade de lactation	Origine	Début du traitement <sup>5</sup>	Alimentation	Livraison	Amidon	FDA	FDN	PB	N° de traite
Erdman and Sharma. 1989	CL	Exp	20	H	??	Mi	Diamond V	Après	Individuel	Mixte	??	9,9	??	17	X2
Arambel et Kent. 1990	CL	Exp	20	H	??	Début	Diamond V	Après	individuel	épandues	??	29,4	47,4	16,5	X2
Woholt et al. 1991	LV	EST	24	H	PR	Début	Chr. Hansen	Avant	Groupe	épandues	??	??	??	18	X2
Piva et al. 1993	LV	Exp	24	H	??	Mi	Doxal	Après	Groupe	??	??	21,1	33,5	17,6	??
Skorko-Sajko et al. 1993	CL	EST	24	H	??	Début	Alltech	Après	??	Mixte	??	??	??	12	??
Swartz et al. 1994	CL	EST	247	H	MP.PR	Mi	Western Yeast Company	Après	individuel	épandues	??	22,3	35,1	18	X2
Adams et al. 1995	CL	Exp	40	H	MP.PR	Mi	Alltech	Après	??	épandues	??	plus 20	??	??	X 3
Chiquette 1995	LV	Exp	20	H	MP	Début	Alltech	Après	individuel	Mixte	??	??	??	??	X2
Kamalamma et al. 1996	CL	EST	12	C	MP	Mi	Alltech	Après	Groupe	épandues	??	??	??	??	X2
Kung et al. 1997	LV	EST	20	H	MP	Fin	Chr. Hansen	Après	Individuel	épandues	??	21	36,4	15,1	X2
Robinson 1997	CL	Exp	40	H	MP	Début	Diamond V	Avant	individuel	Mixte	??	??	??	16,5	X2
Woholt et al. 1998	LV	Exp	36	H	MP	??	Chr. Hansen	??	individuel	épandues	??	??	??	??	??
Robinson and Garrett 1999	CL	Exp	44	H	PR	Début	Diamond V	Avant	Groupe	Mixte	??	15.9	28.4	17,19	X2



Soder and Holden 1999	LV	Exp	48	H	MP.PR	Début	Chr. Hanse n	Avant	individuel	épandues	??	20,5	33,2	16,5	??
Dann et al. 2000	CL	Exp	39	J	MP.PR	??	Diamond V	Avant	individuel	épandues	??	24,6	35,2	14,5	??
Wang et al. 2001	CL	Exp	60	H	MP.PR	Début	Diamond V	Avant	individuel	Mixte	??	23	35	19	X2
Alshaikh et al. 2001	??	EST	150	H	MP	Mi	??	Après	Groupe	Mixte	??	18,6	??	17,5	X3
Schingoethe et al. 2004	CL	Exp	38	H	MP.PR	Mi	Diamond V	Après	Individuel	Mixte	??	20,2	31	17,5	X3
Erasmus et al. 2005	CL	Exp	40	H	MP	Début	Diamond V	Avant	individuel	Mixte	??	19,2	31,2	18,1	X2
Lehloenya et al. 2007	CL	Exp	31	H	PR	Début	Diamond V	Avant	Groupe	Mixte	??	26.90	39.60	16,5	X2
Cooke et al. 2007	CL	Exp	30	H	MP	Fin	Diamond V	Après	Individuel	Mixte	??	17,5-17,8	38,3-38,9	17,8-18	X2
Rihma et al. 2007	LV	EST	69	H	MP.PR	Début	Lalle mand	Après	Groupe	??	??	??	??	17,34	X2
White et al. 2008	CL	EST	222	H	??	Fin	Diamond V	Après	Groupe	Mixte	??	22,4 to 22,6	36,7 to 37,7	17,4 to 17,7	X3
Kalmus et al. 2009	CL	EST	46	H	MP	Début	Alltech	Avant	Individuel	Mixte	??	??	??	??	X2
Ramsing et al. 2009	CL	Exp	66	H	MP.PR	Début	Diamond V	Avant	ndividuel	épandues	??	18.6	32.3	16,5	X2
Bruno et al. 2009	CL	EST	723	H	MP	Début	Arm & Hammer	Après	Groupe	mixte	~20	??	33,9-37,4	16,7-17,4	X4
Moallem et al. 2009	LV	Exp	42	H	MP.PR	Mi	Lesafre	Après	Groupe	mixte	??	16	31,7	16,5	X3
Shwartz et al. 2009	CL	Exp	23	H	MP	Mi	Alltech	Après	Individuel	épandues	??	??	??	??	X2
De Ondarza et al. 2010	LV	EST	141	H	MP.PR	Début	AB Vista	Après	Groupe	??	26,1	20,1	33,8	18,1	X3
Nocek et al. 2011	CL	EST	150	H	MP	Début	Arm & Hammer	Après	Groupe	mixte	??	??	30,5	17,9	X2
Bitencourt et al. 2011	LV	Exp	20	H	MP	Mi	Lalle mand	Après	Individuel	épandues	??	??	30,9	16,8	X2
Ferraretto et al. 2012	LV	Exp	64	H	MP	Fin	Lesafre	Après	individuel	mixte	30h	??	25,5	16,7	X2
Dehghan-Banadaky et al. 2013	LV	EST	56	H	MP.PR	Mi	Biochem	Après	Groupe	épandues	??	19,3	32,1	16,9	X3
Zhang et al. 2013	CL	EST	??	H	MP.PR	Mi	Diamond V	Après	individuel	épandues	??	23,2 à 26	37,1 à 38,8	15,4-15,9	??
AlZahal et al. 2014	LV	Exp	16	H	MP	Fin	AB	Après	Individ	épandues	16.6	32,5	44,9	14,3	X2

							Vista		uel						
Zaworski et al. 2014	CL	EST	42	H	MP.PR	Début	Diamond V	Avant	Individuel	épandues	??	16,9	27,2	18,7	??
Salvati et al. 2015	LV	Exp	28	H	??	Fin	Lesafre	Après	Individuel	épandues	26.8 to 26.6	??	38	18,4	X2
Yuan et al. 2015	CL	Exp	40	H	MP	Début	Arm & Hammer	Avant	individuel	épandues	20,2	16,9	31	17,7	X3
Hasunuma et al. 2016	LV	Exp	29	H	MP	Debut	Lesafre	Après	Individuel	Mixte	28,7	17,2	33,2	15,3	X2
Zhu et al. 2016	CL	EST	81	H	MP	Fin	Diamond V	Après	Individuel	épandues	??	22,6	36,4	16,7	??
Ambriz-Vilchis et al. 2017	LV	Exp	14	H	MP	Mi	AB Vista	Après	Individuel	épandues	14,3	??	35	16,7	X2
Dias et al. 2018c	CL	Exp	32	H	MP.PR	Fin	GRASP	Après	Individuel	??	26,7	??	29	16,6	X3
Kumprechtová et al. 2018	LV	EST	50	H	MP.PR	Début	Lesafre	Après	Groupe	épandues	>30	17	??	??	??
Nasiri et al. 2019	LV	Exp	12	H	MP	Début	Biochem	Avant	individuel	Épandues	??	??	26,8	16,2	X3
Faccio-Demarco et al. 2019	CL	EST	30	H	MP	Début	Arm & Hammer	Avant	individuel	épandues	??	??	??	??	X2
Ferreira et al. 2019	LV	Exp	24	H	MP.PR	Mi	GLOBAL NUTRITION	Après	Individuel	mixte	28	??	26,9	14,8	X2
Olagaray et al. 2019	CL	Exp	64	H	MP.PR	Début	Diamond V	Avant	individuel	mixte	22,6	25pre17, 8PP	43,1pre3 1,3pp	17	??
shi et al. 2019	CL	Exp	117	H	MP.PR	??	Diamond V	Avant	Individuel	mixte	13,9	31,6	49,5	15,3	??
Perdomo et al. 2020	LV	Exp	60	H	MP.PR	Début	Lallemand	Après	individuel	épandues	26	21,4	29.1 ± 0.6	16,6	X2

1- LV : levure vivante, CL : culture de levure.

2- Exp : expérimental ; EST : Essai sur le terrain.

3- H : Holstein ; J : J Jersey, C : Croisée

4- PR : Primipare ; MP : multipare ; MP.PR : Primipare et multipare.

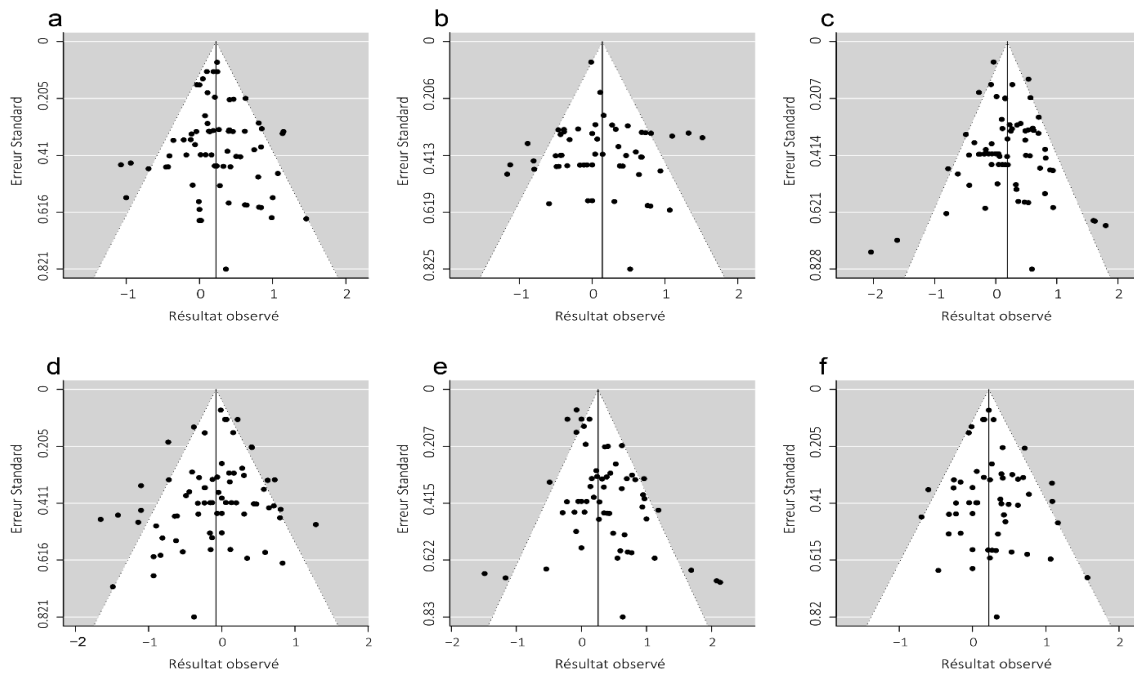
5- Avant : avant le vêlage, après : après le vêlage.

#### IV.2.1.1. Production laitière

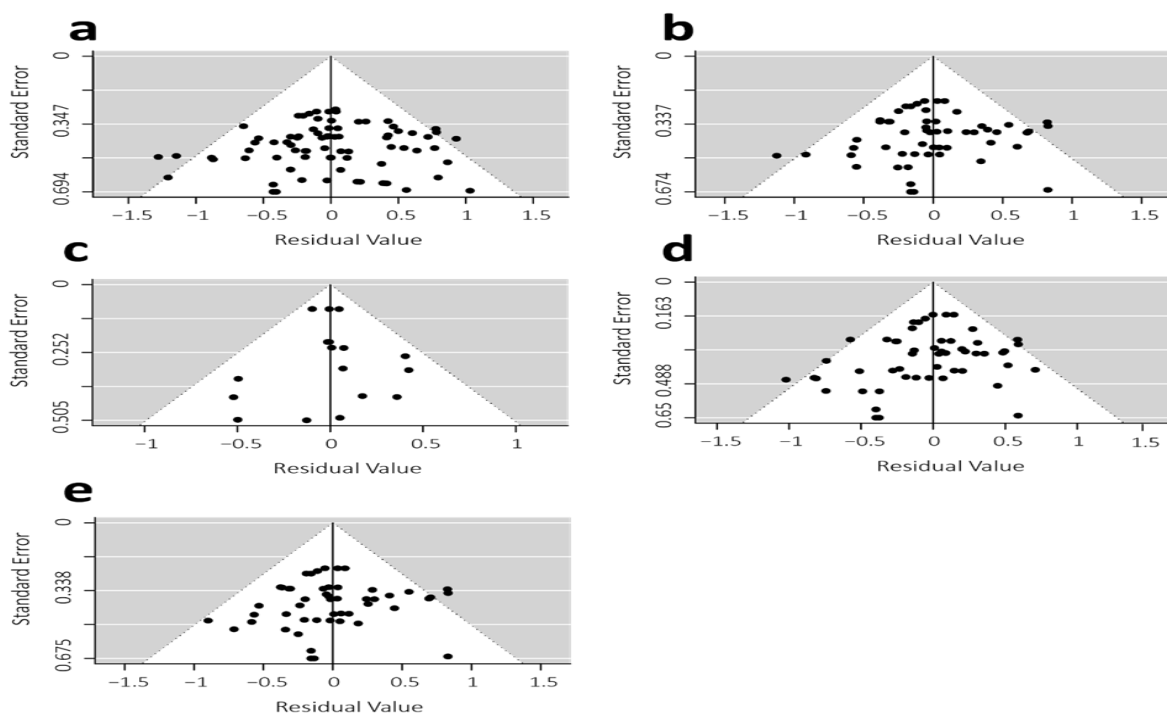
Un essai (PIVA *et al*, 1993) a été identifié comme un cas influent et cet essai a été supprimé. Le graphique en entonnoir ne suggérait pas de biais de publication (**Figure 11**). Le test d'hétérogénéité était modéré pour toutes les études ( $I^2 = 43,72\%$ ;  $\chi^2$  (dl) = 145,71 (82) ;  $p < 0,0001$ ) et il variait cependant de “élevé” à “nul” ( $I^2$  variait de 54,45% à 0,00%). La DMS totale combinée obtenue avec le modèle à effets aléatoires était petite mais hautement significative (0,26 ; IC à 95%: 0,16-0,36;  $p < 0,0001$ , (**Figure 13**), ce qui équivaut à une DM de 0,69 kg / j (IC à 95%: 0,51- 0,87). Par la suite, l'analyse des sous-groupes (**tableau 03**) a révélé que la plupart des sous-groupes de facteurs étaient significatifs à l'exception de stade de lactation, de la parité et de l'FDN. Par conséquent, la PL n'a été affectée qu'au début de lactation (DMS = 0,30 ; IC à 95%: 0,18-0,42;  $p < 0,0001$ ). Cependant, la supplémentation en PBL n'a pas réussi à améliorer la PL au milieu ou à la fin de la lactation ( $p > 0,05$ ).

Les vaches primipares supplémentées en PBL avaient tendance à avoir la même PL que les vaches témoins. Cependant, les vaches multipares ont été affectées par la supplémentation en PBL (DMS = 0,26 ; IC à 95%: 0,08-0,44;  $p = 0,004$ ).

Les vaches dont le régime alimentaire était faible en FDN n'ont pas été affectées par le traitement PBL ( $p = 0,245$ ), ce qui contraste avec les régimes riches en FDN (DMS = 0,25 ; IC à 95%: 0,13-0,36;  $p < 0,0001$ ).



**Figure 11 :** Diagrammes en entonnoir pour toutes les méta-analyses : (a) Production laitière (b) MSI. (c) Matières grasses (%). (d) Protéine de lait (%). (e) Rendement en matière grasse laitière (kg / jour). (f) Rendement en protéines du lait (kg / jour). Diagramme en entonnoir indiquant la distribution symétrique des résultats observés (par rapport aux DMS de toutes les études) par rapport à l'erreur standard pour les études.



**Figure 12 :** Diagrammes en entonnoir pour toutes les méta-régressions : (a) Début du traitement, (b) FDA, (c) FDA + Amidon, (d) FDA + PB et (e) FDA + FDN.

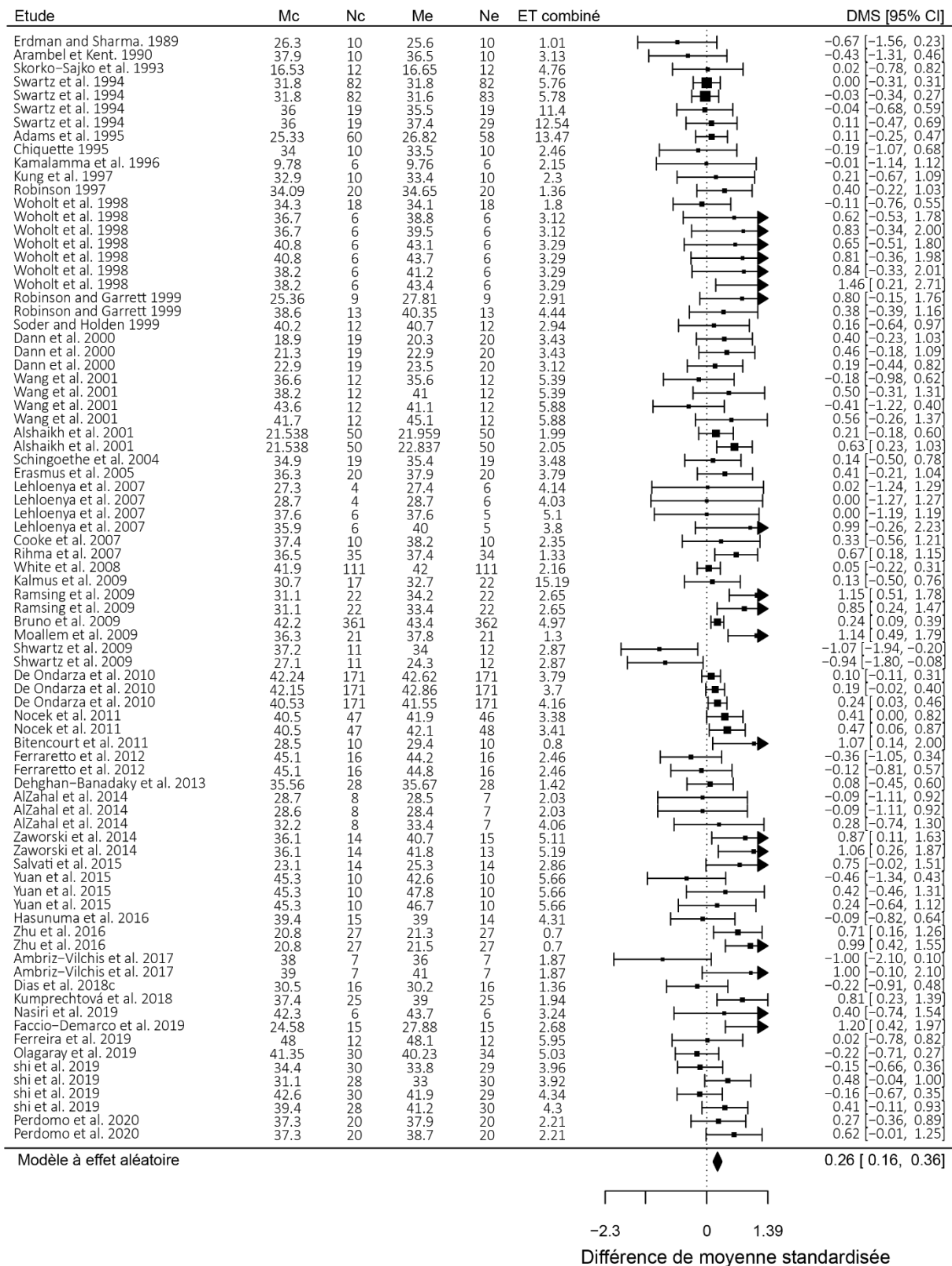


Figure 13 : Diagramme forestier de la différence de moyenne standardisée (DMS) à effets aléatoires (et leur IC à 95%) pour la réponse de la production laitière à l'alimentation d'un

PBL.

Les carrés noirs dans le graphique forestier représentent la pondération (par variance inverse) pour l'étude représentée, et les barres horizontales représentent l'IC à 95% de l'étude. Le centre de la figure du diamant représente la moyenne normalisée et la largeur du diamant représente l'IC à 95% de l'effet global du traitement. Le résultat à droite de la ligne verticale pointillée passant par zéro représente une augmentation de la production de lait. Me : réponse moyenne dans le groupe du groupe de traitement expérimental, Mc : réponse moyenne dans le contrôle, Nc : nombre d'animaux dans le groupe de contrôle, Ne : nombre d'animaux dans le groupe de traitement expérimental, ET combiné : l'écart type combiné.

**Tableau 03 :** Résumé de l'effet estimé de la méta-analyse du sous-groupe de la PBL sur la PL (kg / j) chez les vaches laitières en lactation de toutes les études. Le graphique en entonnoir ne suggérait pas de biais de publication

Sous / groupes		N° des études	DMS <sup>4</sup> (95% CI)		Hétérogénéité <sup>5</sup>			DM(kg/d) (95% CI)
			Effet Aléatoire	P	$\chi^2$ (df) <sup>6</sup>	p	I <sup>2</sup> (%)	
<b>Total</b>		47	0.26(0.16-0.36)	<0.0001	145.71 (82)	<0.0001	43.72	0.69(0.51-0.87)
<b>Type de levure</b>	<b>LV</b>	18	0.30(0.15-0.46)	0.0001	44.41 (30)	0.043	32.45	0.76(0.43-1.10)
	<b>CL</b>	29	0.24(0.10-0.37)	0.0007	101.23 (50)	<0.0001	50.61	0.69(0.33-1.04)
<b>Conception de l'étude</b>	<b>EST</b>	18	0.34(0.20-0.49)	<0.0001	53.35 (25)	0.0008	53.14	0.72(0.50-0.93)
	<b>Exp</b>	30	0.18(0.06-0.33)	0.005	91.62 (56)	0.002	38.88	0.60(0.17-1.02)
<b>Commencement de traitement</b>	<b>Avant</b>	17	0.42(0.26-0.58)	<0.0001	38.61 (34)	0.268	11.94	1.31(0.67-1.94)
	<b>Après</b>	31	0.20(0.06-0.33)	0.003	91.35 (44)	<0.0001	51.83	0.62(0.42-0.81)
<b>Parité</b>	<b>Primipare</b>	3	0.38(-0.27-1.03)	0.254	3.06 (4)	0.547	0.00	1.60(-1.45-4.66)
	<b>Multipare</b>	23	0.26(0.08-0.44)	0.004	65.54 (39)	0.005	40.49	0.69(0.44-0.94)
	<b>Les deux</b>	19	0.28(0.14-0.42)	<0.0001	67.26 (34)	0.0006	49.45	0.84(0.54-1.14)
<b>Stade de</b>	<b>Début</b>	29	0.30(0.18-0.42)	<0.0001	60.62 (45)	0.059	25.77	1.03(0.67-1.39)

<b>lactation</b>	<b>Milieu</b>	18	0.20(-0.07-0.46)	0.148	63.69 (23)	<0.0001	63.89	0.62(0.26-0.97)
	<b>Fin</b>	9	0.21(-0.03-0.45)	0.093	19.52 (12)	0.076	38.52	0.45(0.12-0.78)
<b>Alimentation</b>	<b>Groupe</b>	13	0.29(0.18-0.39)	<0.0001	27.05 (19)	0.103	29.76	0.80(0.51-1.08)
	<b>Individuel</b>	34	0.23(0.08-0.37)	0.001	117.51 (60)	<0.0001	48.94	0.61(0.37-0.85)
<b>Livraison</b>	<b>Épandues</b>	24	0.24(0.15-0.53)	0.0003	94.41 (43)	<0.0001	54.45	0.74(0.48-1.00)
	<b>Mixte</b>	22	0.19(0.07-0.31)	0.001	42.24 (33)	0.129	21.88	0.62(0.22-1.02)
<b>Traite</b>	<b>Deux</b>	31	0.23(0.09-0.36)	0.0006	105.25 (60)	0.0003	42.99	0.70(0.35-1.04)
	<b>Trois</b>	9	0.19(0.09-0.28)	<0.0001	18.99 (14)	0.165	26.28	0.59(0.24-0.93)
<b>Amidon</b>	<b>Haut</b>	11	0.24(0.06-0.41)	0.007	16.52 (15)	0.347	9.20	0.65(0.18-1.11)
	<b>Faible</b>	5	0.16(0.04-0.29)	0.010	13.01 (8)	0.111	38.51	0.63(-0.30-1.56)
<b>PB</b>	<b>Haut</b>	21	0.21(0.12-0.30)	<0.0001	49.03 (37)	0.089	24.54	0.71(0.42-0.99)
	<b>Faible</b>	21	0.31(0.10-0.52)	0.004	54.84 (29)	0.002	47.12	0.67(0.42-0.92)
<b>FDA</b>	<b>Haut</b>	17	0.16(0.04-0.28)	0.008	41.71 (30)	0.075	28.07	0.57(0.32-0.83)
	<b>Faible</b>	16	0.45(0.27-0.64)	<0.0001	33.79 (23)	0.068	31.93	1.12(0.48-1.75)
<b>FDN</b>	<b>Haut</b>	29	0.25(0.13-0.36)	<0.0001	83.69 (49)	0.001	41.45	0.71(0.49-0.93)
	<b>Faible</b>	8	0.28(-0.02-0.58)	0.068	14.33 (11)	0.215	23.24	0.63(-0.33-1.60)

L'inclusion de début de traitement dans la méta-régression a permis une réduction de 4% de l'hétérogénéité ( $I^2 = 39,98\%$ , **tableau 04**). Les vaches avaient tendance à produire plus du lait de 0,79 kg / j (modèle 1.1 ; SMD = 0,22 ; IC à 95% = 0,01-0,43 ; p = 0,040), si elles étaient supplémentées en PBL en pré- et post-partum (avant) par rapport à celles complétées avec PBL seulement après le vêlage (**Figure 14**).

**Tableau 04:** Résultats des analyses de méta-régression (avec un modérateur) des facteurs qui peuvent avoir influencé la réponse de PL à la PBL.

Modèle	Modérateur	Classe	SMD <sup>d</sup> (95% CI)		Hétérogénéité			MD(kg/d) (95% CI)
			Effet aléatoire	P	$\chi^2$ (df)	P	$I^2$ (%)	
I-1	Intercepter		0.20(0.07-0.33)	0.001	129.96 (78)	0.0002	39.98	0.62 (0.42-0.81)
	Début du traitement	Avant	0.22(0.01-0.43)	0.040				0.79 (0.18- 1.38)
		Après	Réfèrent					Réfèrent
I-2	Intercepter		0.16(0.03-0.28)	0.012	75.50 (53)	0.022	29.80	0.57 (0.32-0.83)
	FDA	Faible	0.30(0.08-0.51)	0.006				0.35 (0.09- 0.79)
		Haut	Réfèrent					Réfèrent



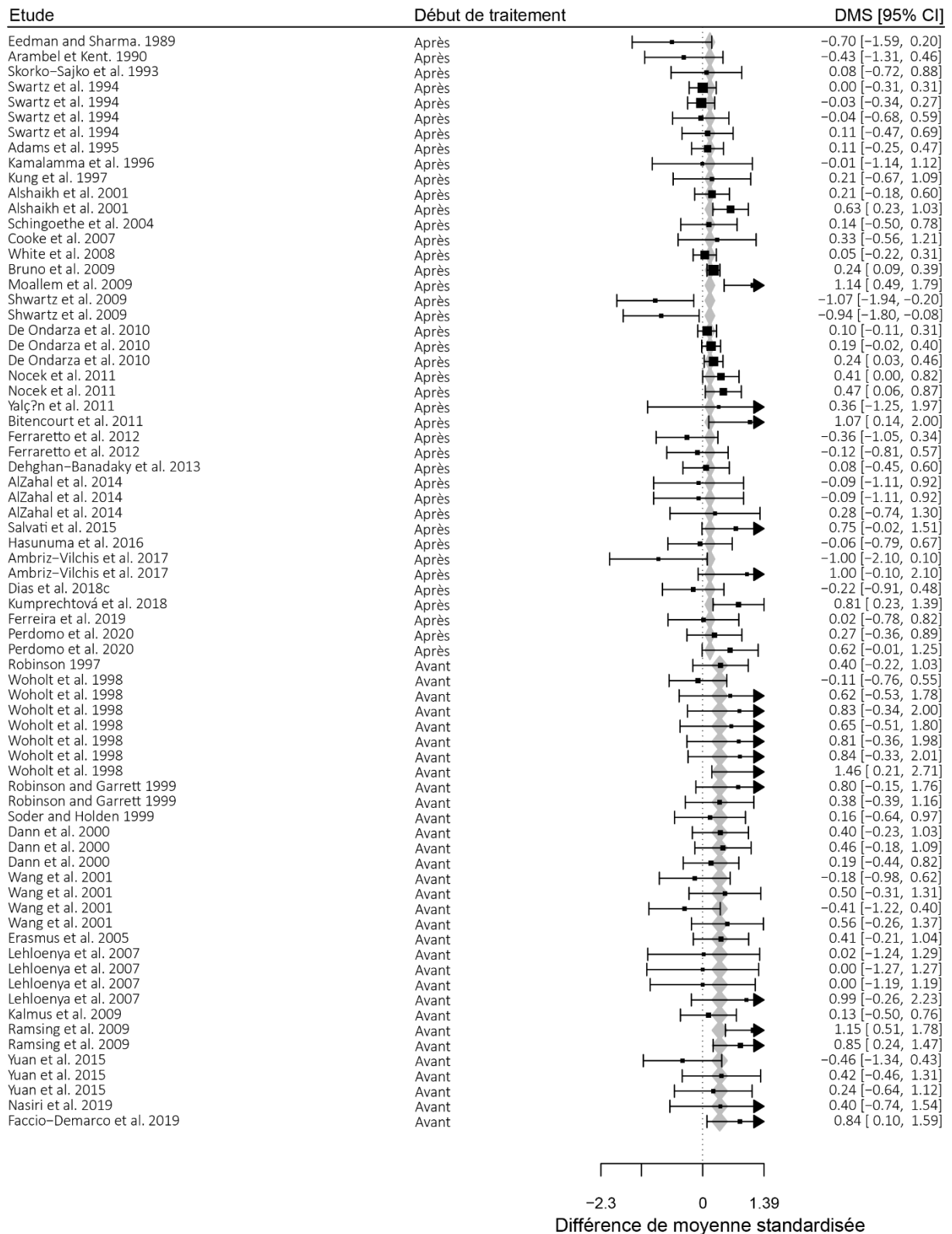
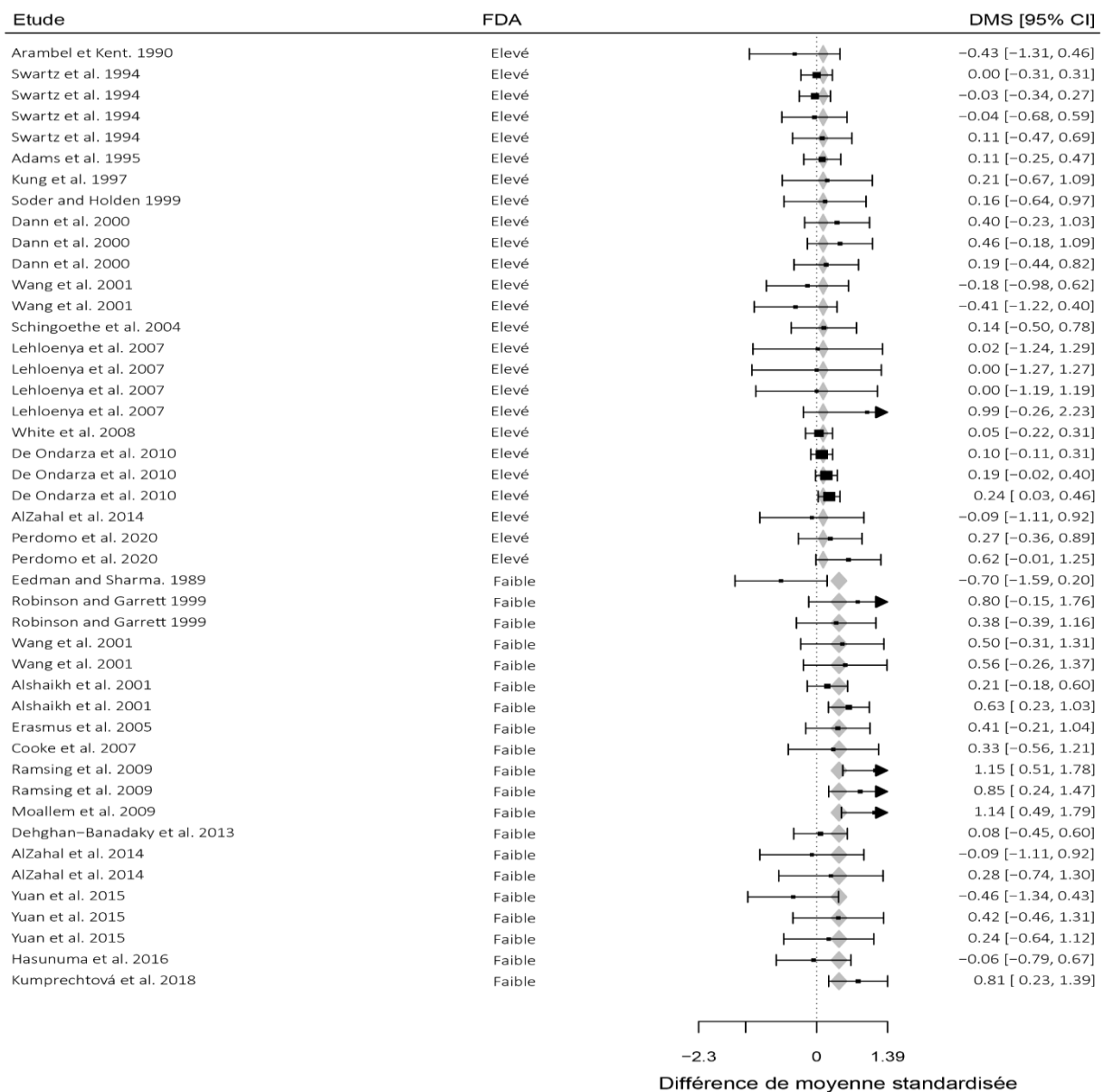


Figure 14 : Diagramme forestier de l'analyse de méta-régression de l'effet du début de traitement sur la taille estimée de l'effet. Les losanges gris représentent les effets prédits du modérateur.

L'inclusion de la proportion d'FDA dans la méta-régression a permis une réduction de 14% de l'hétérogénéité ( $I^2 = 29,80\%$ , **tableau 04**). L'effet positif de la supplémentation en levure sur la PL a été augmenté par le niveau de FDA (modèle 1.2 ; SMD = 0,30 ; IC à 95% : 0,08-0,51 ; P = 0,006). Ainsi, les vaches supplémentées en PBL produisaient plus du lait (+ 0,35 kg / j ; IC à 95% : 0,09-0,79) si elles étaient nourries avec une faible proportion d'FDA par rapport à ceux qui se nourrissent avec une forte proportion d'FDA (**Figure 15**). Les autres modérateurs énumérés dans le **tableau 03** n'étaient pas associés à des variables explicatives statistiquement significatives.



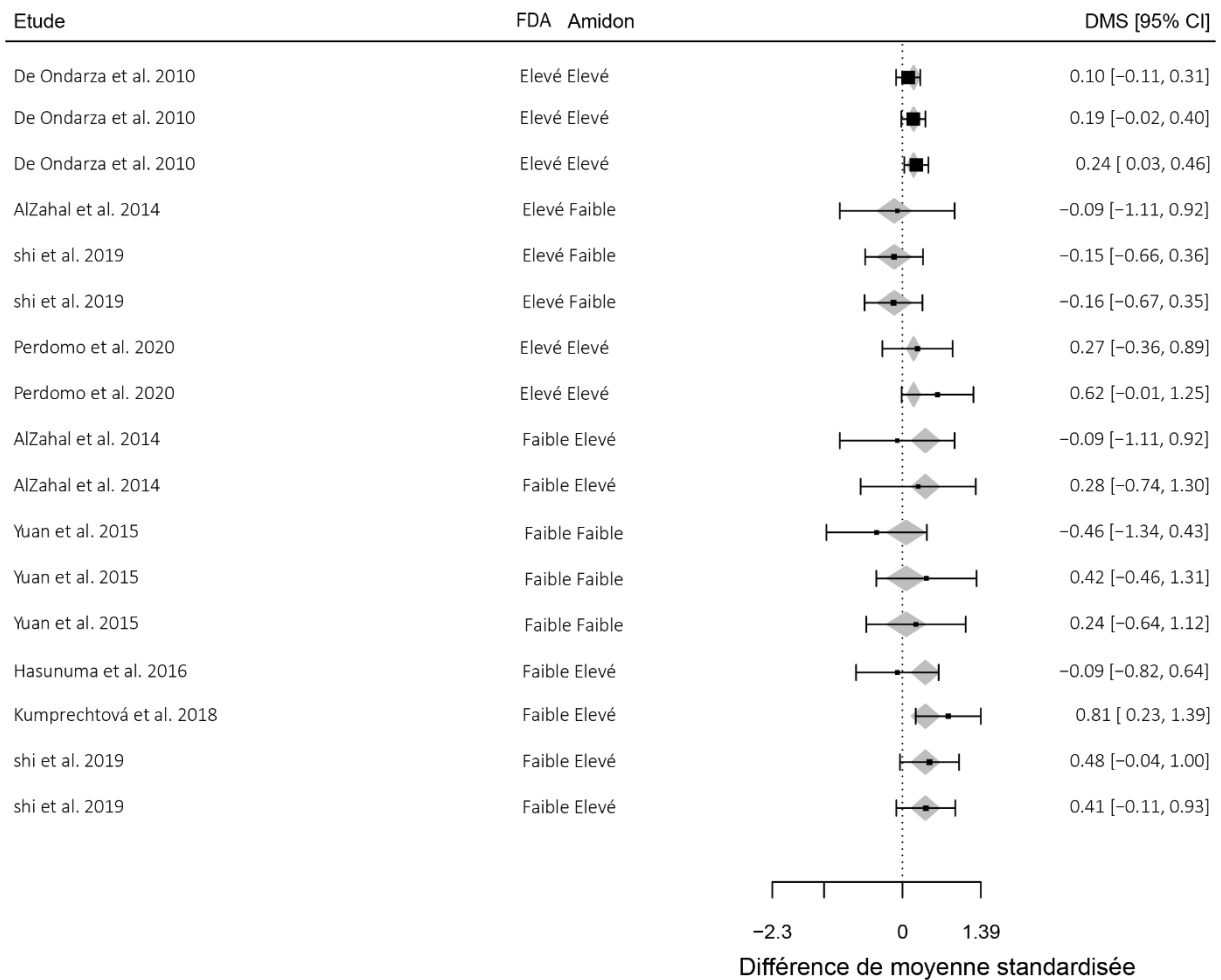
**Figure 15** : Diagramme forestier de l'analyse de méta-régression de l'effet du niveau de l'FDA sur la taille estimée de l'effet. Les losanges gris représentent les effets prévus du modérateur.

Le **tableau 05** présente les méta-régressions multiples finales (avec deux modérateurs). L'ajout des modérateurs FDA + amidon (**modèle 2.1**), FDA + PB (**modèle 2.2**) et FDA + PB (**modèle 2.3**) a permis de réduire l'hétérogénéité de 29,80%, 11,68% et 2,30%, respectivement, par rapport au modèle avec le modérateur FDA (**modèle 1.2**). Les modèles à effets fixes ont révélé que les vaches avaient tendance à produire plus de lait (+ 1,79 kg / j ;  $p = 0,012$ ) si elles étaient nourries avec des régimes à faible teneur en FDA et à haute teneur en amidon (**Figure 16**). Alors que, celles qui sont alimentées avec des régimes à faible FDA et à PB élevé, à faible FDA et à faible PB, et à haut FDA et faible PB avaient tendance à afficher une PL plus élevée (+0,53, +0,75 et + 0,38 kg / j respectivement) par rapport avec des vaches nourries à la fois avec des régimes riches en FDA et en PB (**Figure 17**). L'effet aléatoire de l'alimentation PBL sur PL était, en outre, significatif lorsque les vaches étaient nourries avec un faible régime en FDA et élevé en FDN (+ 0,63 kg / j), et était considéré comme significatif ( $p = 0,059$ ) lorsque les vaches avaient une alimentation faible en FDA et FDN (+ 1,27 kg / j) contre celle qui sont alimentées des régimes riches en FDA et FDN (**Figure 18**).

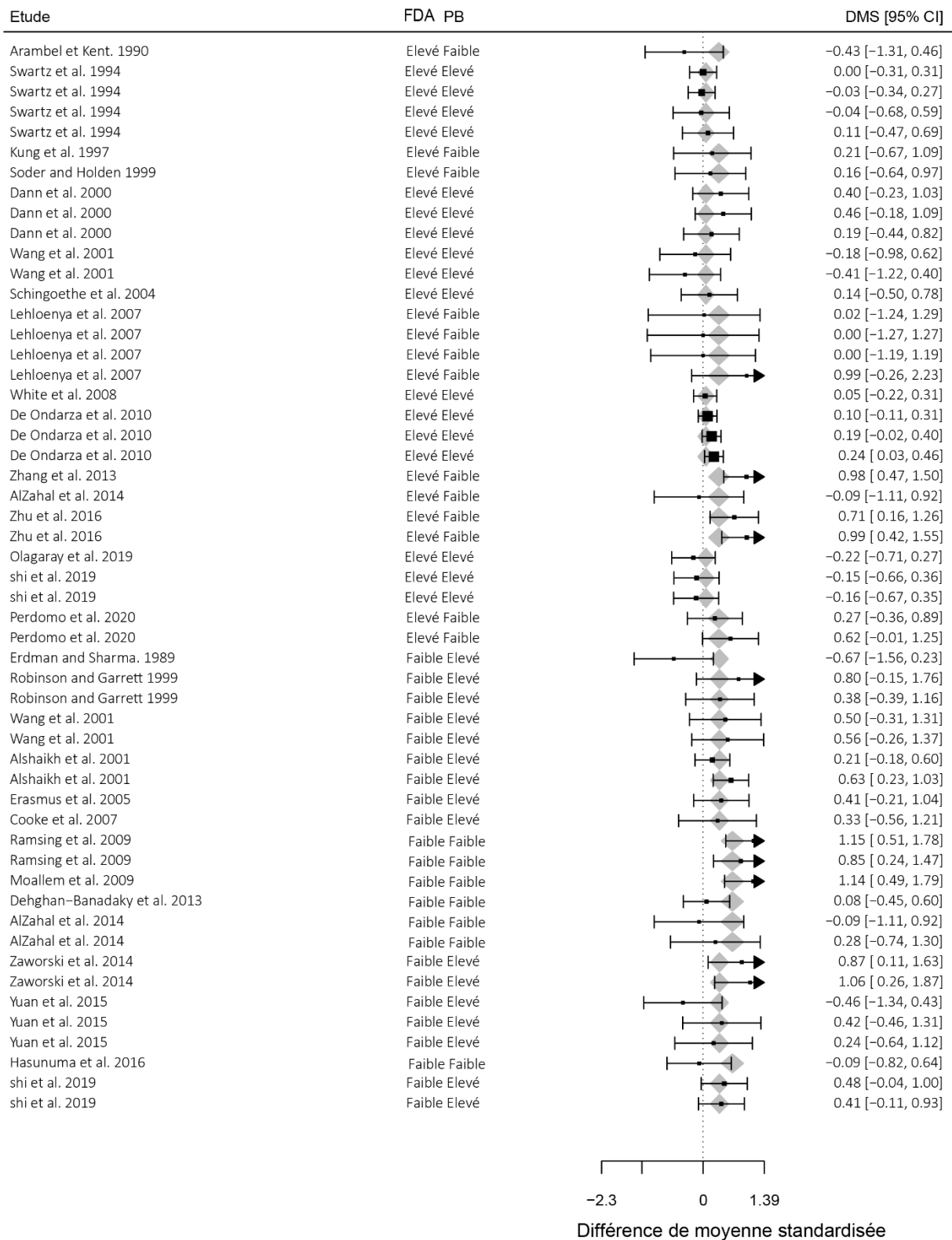
**Tableau 05** : Résultats des analyses de méta-régression (avec deux modérateurs) des facteurs qui peuvent avoir influencé la réponse de PL à la PBL alimentaire.

Modèle	Modérateurs		DMS <sup>4</sup> (95% CI)		Hétérogénéité <sup>5</sup>			MD (kg/d) (95% CI)		
			Effets fixes	P	$\chi^2$ (df)	P	I <sup>2</sup> (%)			
2-1	FDA	Amidon			9.60 (13)	0.725	0.00			
	Intercepter		-0.14(-0.48-0.19)	0.395						-0.49(-2.20-1.21)
	Haut	Haut	0.55 (0.07-0.31)	0.061						1.23 (-0.57-3.04)
	Faible	Haut	0.34 (-0.01-0.70)	0.012						1.79 (-0.23-3.81)
	Faible	Faible	0.21 (-0.39-0.83)	0.489						0.89 (-3.50-5.28)
	Haut	Faible	Réfèrent							Réfèrent
2-2	FDA	PB								
	Intercepter		0.01 (-0.17-0.20)	0.853	59.84 (49)	0.138	18.11	0.30 (-0.24-0.86)		
	Faible	Haut	0.41 (0.14-0.68)	0.003				0.53 (-0.28-1.35)		

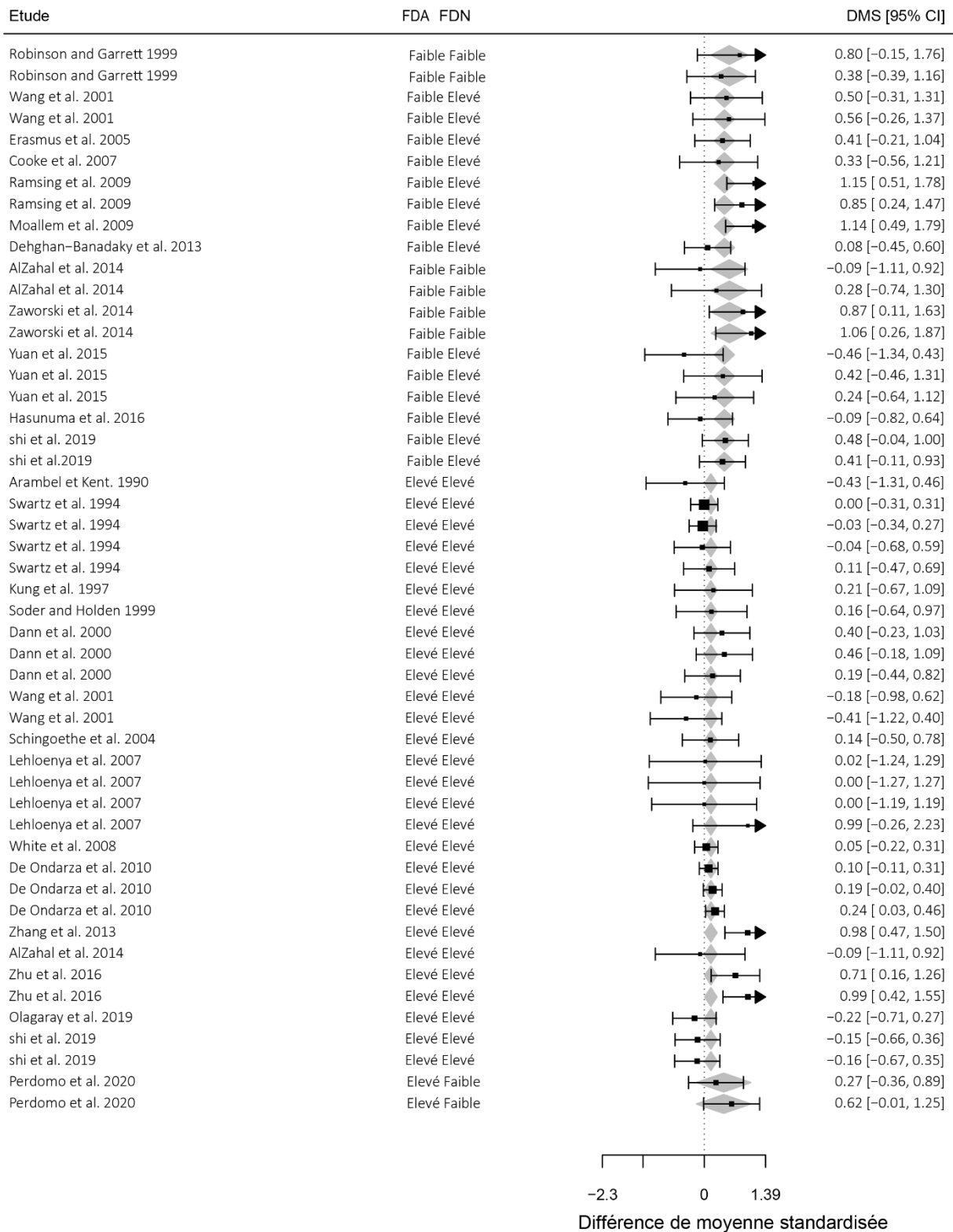
	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	0.49 (0.12-0.86)	0.009				0.75 (-0.16-1.68)
	<b>Haut</b>	<i>Faible</i>	0.44 (0.11-0.76)	0.008				0.38 (-0.3-1.12)
	<b>Haut</b>	<b>Haut</b>	Réfèrent					Réfèrent
<b>2-3</b>	<i>FDA</i>	<i>FDN</i>						
	<b>Intercepter</b>		0.15 (0.01-0.29)	0.033				0.56 (0.30-0.81)
	<b>Haut</b>	<i>Faible</i>	0.29 (-0.34-0.92)	0.370				0.44 (-0.95-1.83)
	<i>Faible</i>	<b>Haut</b>	0.30 (0.04-0.57)	0.024	63.46 (46)	0.045	27.56	0.63 (-0.03-1.29)
	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	0.42 (-0.01-0.85)	0.059				1.27 (-0.49-3.04)
	<b>Haut</b>	<b>Haut</b>	Réfèrent					Réfèrent



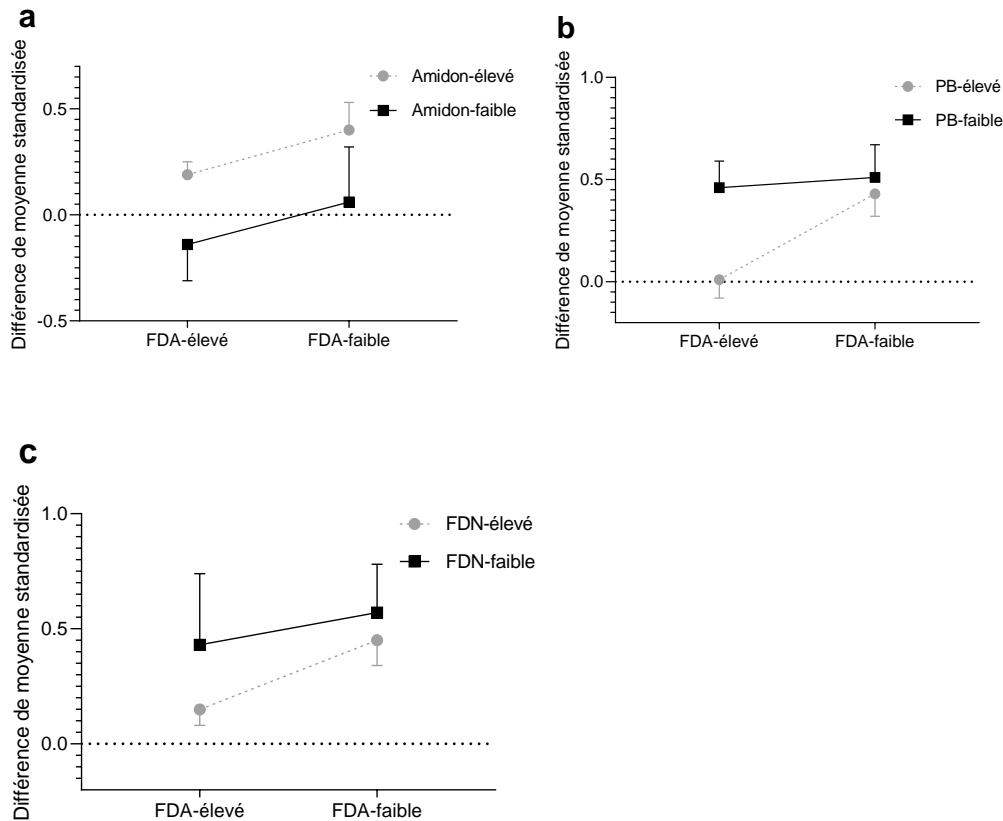
**Figure 16 :** Diagramme forestier de l'effet des niveaux d'FDA et d'amidon sur la taille estimée de l'effet. Les losanges gris représentent les effets prévus des modérateurs.



**Figure 17 :** Diagramme forestier de l'effet des niveaux FDA et PB sur la taille estimée de l'effet. Les losanges gris représentent les effets prévus des modérateurs.



**Figure 18 :** Diagramme forestier de l'effet des niveaux d'FDA et de FDN sur la taille estimée de l'effet. Les losanges gris représentent les effets prévus des modérateurs.



**Figure 19 :** Les effets modérateurs de (a) FDA+ amidon, (b) FDA + PB, et (c) FDA + FDN sur les réponses PL à PBL.

#### IV.2.1.2.MSI et composants du lait

Un résumé des effets du PBL sur la MSI et les composants du lait est présenté dans le (tableau 06). Trente-deux, quarante-sept et trente-quatre études étaient disponibles pour explorer les influences possibles de PBL pour l'impact sur la MSI, les pourcentages des composants du lait et les rendements respectivement.

Deux essais sur la MSI, le rendement en protéines et le pourcentage en protéines du lait (ALSHIKH *et al*, 2001), et un essai sur le pourcentage en matière grasse (FERRARETTO *et al*, 2012) et le rendement en matière grasse (SWARTZ *et al*, 1994) ont été identifiés comme un cas influent et ces essais ont été supprimés.

Les modèles pour l'impact de la PBL sur la MSI et les composants du lait ont montré une hétérogénéité généralement élevée ( $p < 0,01$ ), sauf pour le modèle de rendement en protéines du lait dans lequel une faible hétérogénéité de réponse ou un biais de publication a été noté pour ce paramètre ( $I^2 = 21,24\%$ ,  $p = 0,076$ ).

La prise de matières sèches était similaire ( $p > 0,05$ ) pour le contrôle et PBL dans les périodes entières, pré et post-partum (**tableau 06**).

L'alimentation d'un PBL a augmenté le pourcentage en matière grasse de 0,06% (DMS = 0,19 ; IC à 95%: 0,09-0,30;  $p = 0,0003$ ) par rapport au témoin. Cependant, les vaches supplémentées en PBL ont le même pourcentage en protéines ( $p = 0,641$ ). Les rendements en matières grasses et en protéines avaient tendance à être plus élevés ( $P < 0,0001$ ) de 0,04 et 0,02 kg / j respectivement pour les vaches supplémentées en PBL par rapport les témoins.

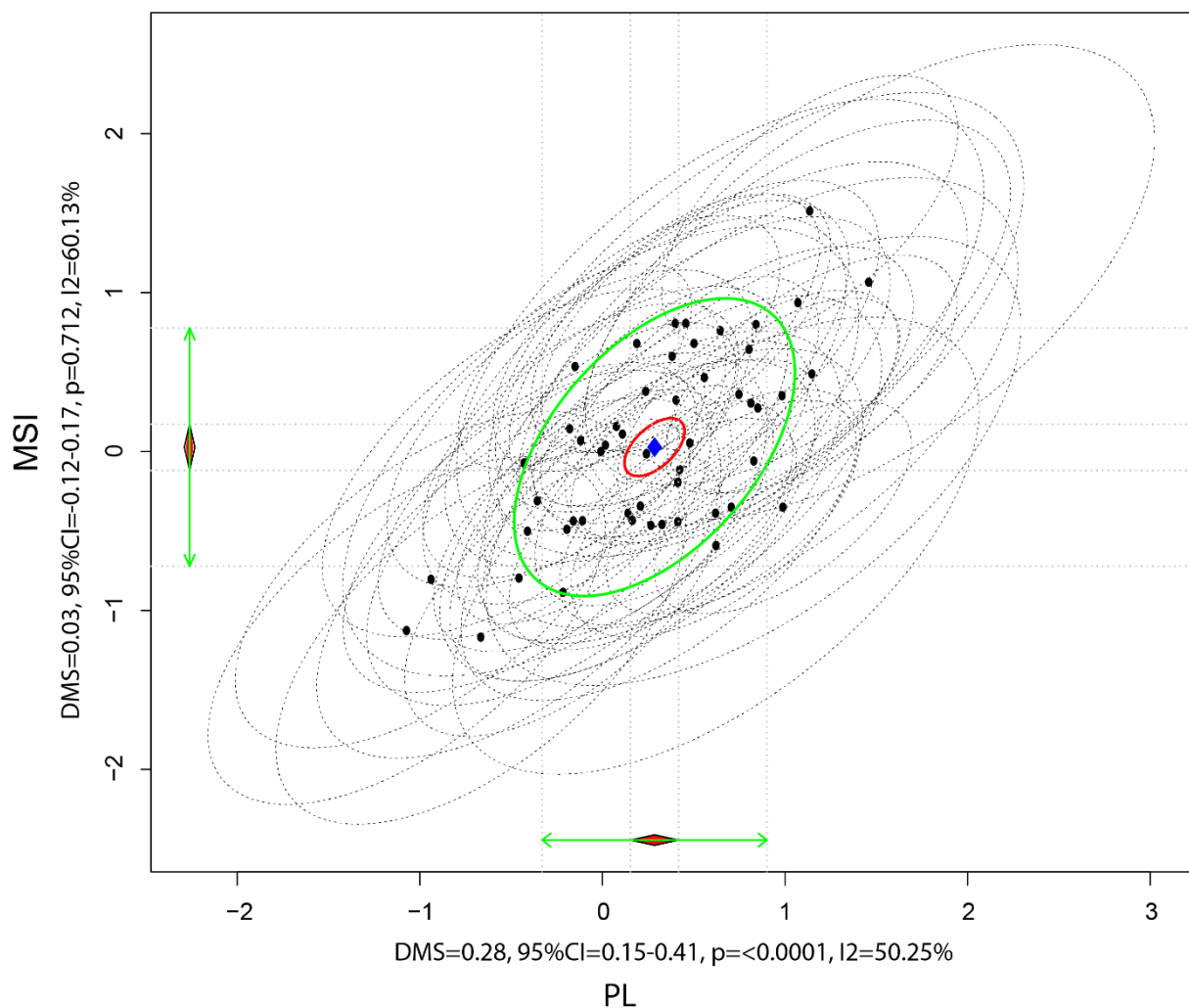
**Tableau 06:** Effets estimés du PBL sur le MSI et les composants du lait de toutes les études.

Article		N° des études	DMS <sup>4</sup> (95% CI)		Hétérogénéité			DM (kg/d) (95% CI)
			Aléatoire Effet	P	Q (df)	P	I <sup>2</sup> (%)	
MSI	Pré et post-partum	31	0.10 (-0.04-0.25)	0.168	147.22 (61)	<0.0001	58,57	0.12 (-0.08-0.33)
	Pré-partum	6	0.34 (-0.00-0.70)	0.053	22.62 (9)	0.007	60,21	0.41 (-0.04-0.87)
	Post-partum	31	0.05(-0.11- 0.21)	0.531	116.14 (52)	<0.0001	55,23	0.04 (-0.19-0.27)
Matière grasse laitière (%)		47	0.19(0.09-0.30)	0.0003	152.13 (82)	<0.0001	46,10	0.06 (0.03-0.08)
Rendement de matière grasse laitière (kg / jour)		34	0.28(0.17-0.407)	<0.0001	130.09 (62)	<0.0001	52,34	0.04 (0.02-0.06)
Protéine de lait (%)		46	-0.02(-0.13-0.08)	0.641	186.86 (84)	<0.0001	55,05	-0.001(-0.01-0.01)
Rendement en protéines du lait (kg / j)		33	0.22 (0.13-0.31)	<0.0001	77.45 (61)	0.076	21,24	0.02 (0.01-0.03)



### IV.2.1.3. Analyse multivariée

La statistique  $\chi^2$  (dl = 102) de l'analyse multivariée était de 219,34,  $p < 0,0001$  et le  $I^2$  basé sur la statistique Q pour PL et MSI était de 50,25% et 60,13%, respectivement. Les tailles d'effet regroupées basées sur le modèle à effets aléatoires pour PL et MSI étaient de 0,28 (IC à 95%: 0,15-0,41;  $< 0,0001$ ) et de 0,03 (IC à 95%: -0,12-0,17;  $p = 0,712$ ), respectivement (**Figure 20**). La corrélation estimée entre les effets aléatoires était de 0,502, ce qui suggère que les études ayant un effet important sur la PL ont tendance à être modérément associées aux études ayant un effet important sur le MSI.



**Figure 20** : Diagramme forestier du modèle à effets aléatoires multivariés pour les réponses PL et MSI à l'alimentation d'un PBL.

Les points noirs et les ellipses noirs sont les tailles d'effet observées et leurs ellipses de confiance à 95% dans les études primaires. Le carré bleu représente les tailles d'effet moyennes estimées de la population, tandis que l'ellipse rouge est l'ellipse de confiance à 95%

des tailles d'effet moyennes estimées de la population. L'ellipse verte est l'ellipse de confiance à 95% des effets aléatoires.

#### IV.2.2. Discussion

Cette méta-analyse a étudié les effets de l'alimentation des PBL sur la production et la composition du lait. Une force particulière de cette analyse était la puissance dérivée du nombre et de la qualité des études incluses. En effet, nous n'avons utilisé que des données d'études publiées dans des revues à comité de lecture de haute qualité et tous les rapports de l'industrie ont été exclus. Un biais important dans la méta-analyse est le biais d'étude primaire. Les raisons pour ne pas inclure les études de faible qualité (études non randomisées) et la littérature grise (données non publiées, rapports commerciaux et industriels) sont d'avoir une qualité méthodologique inférieure à celle des études publiées (MCAULEY *et al*, 2000 ; HOPEWELL *et al*, 2007) et peut entraîner une déviation de l'estimation sommaire de l'effet (STANG, 2010). Ainsi, d'autres raisons pour lesquelles les rapports ne sont pas produits pour ou par «l'industrie» ne sont que favorables, augmentant ainsi l'ampleur du biais de publication vers l'effet de traitement (ROTHSTEIN *et al*, 2005 ; WELLMAN *et O'CONNOR*, 2007).

Dans l'ensemble, les preuves examinées ici indiquent un effet faible mais significatif de PBL sur la production laitière (+ 0,69 kg / j). Cependant, la MSI était la même pour les vaches des deux groupes de traitement. Ceci confirme les observations de (SAUVANT *et al*, 2004) qui ont seulement observé une tendance à l'augmentation de la production laitière, mais aucun effet sur la MSI dans leur analyse multiple (78 expériences). Ceci est également en accord avec une étude regroupant 14 essais de recherche et montrant une augmentation de la production laitière pour les levures supplémentées mais n'a pas réussi à prouver une augmentation de MSI (DE ONDARZA *et al*, 2010).

En effectuant une méta-analyse multivariée des effets de PBL sur PL et MSI au même temps, nous avons également pu comparer les effets sur l'un ou l'autre (PL ou MSI). Nous avons constaté que les effets bénéfiques globaux de PBL ne semblaient significatifs que pour PL. Ces résultats fournissent donc une preuve claire qu'une production laitière élevée n'est pas le résultat d'une augmentation de MSI. Ceci est en désaccord avec les conclusions tirées d'une étude récente (HABEEB, 2017). Ainsi, POPPY *et al* (2012), dans leur méta-analyse utilisant 61 études publiées et rapports techniques sur l'effet des produits de Diamond V, ont observé une influence de la supplémentation en *S. cerevisiae* sur la PL et la MSI. De plus,

**DESNOYERS *et al* (2009)**, dans une méta-analyse quantitative utilisant 157 expériences sur l'effet de 11 préparations commerciales chez plusieurs espèces de ruminants, ont observé une augmentation de la PL et de MSI.

Le bénéfice de la supplémentation en PBL, lorsqu'il est observé, pourrait être une conséquence d'une amélioration de la fonction du rumen et de l'efficacité alimentaire plutôt que par rapport à une augmentation de la consommation alimentaire (MSI) (**SCHINGOETHE *et al*, 2004 ; BACH *et al*, 2007 ; PERDOMO *et al*, 2020**) et les changements de MSI pourraient, en fin de compte, être la conséquence d'autres facteurs tels que les changements de comportement alimentaire (**HALACHMI *et al*, 2016**).

Plusieurs raisons pour l'amélioration de la fonction ruminale de l'alimentation PBL ont été suggérées. Par conséquent, de nombreuses études ont documenté les effets positifs de PBL non seulement sur l'environnement du rumen, mais également sur l'amélioration des activités microbiennes. Les suppléments de PBL stimulent la digestion ruminale (**ENJALBERT *et al*, 1999 ; NOCEK et KAUTZ, 2006 ; PERDOMO *et al*, 2020**), entraînent un pH du rumen plus stable (**MARDEN *et al*, 2008 ; LONGUSKI *et al*, 2009 ; UYENO *et al*, 2016**), a provoqué des changements bénéfiques dans l'activité et le nombre de populations microbiennes (**PINLOCHE *et al*, 2013 ; MALEKKHAHI *et al*, 2016 ; JIANG *et al*, 2017**), en particulier les bactéries cellulolytiques (**JIANG *et al*, 2017**) dans le rumen des vaches laitières et pourrait augmenter la synthèse microbienne de l'azote (**DIAS *et al*, 2018b**).

D'autres données disponibles indiquent que dans le liquide ruminal des animaux recevant des suppléments de PBL, les acides gras volatils totaux (AGV) ont été augmentés (**HASUNUMA *et al*, 2016 ; KUMPRECHTOVA *et al*, 2018 ; OH *et al*, 2019**), le rapport de les acides acétique / propionique a été diminué (**MARDEN *et al*, 2008 ; KUMPRECHTOVA *et al*, 2018 ; MELLER *et al*, 2019**), l'efficacité de l'utilisation d'énergie pour la lactation a été augmentée (**DIAS *et al*, 2018c**) et l'activité de l'utilisation de lactate par les bactéries a été augmentée (**MARDEN *et al*, 2008**). De plus, une relation causale entre les AGV et la croissance des papilles du rumen a été établie (**SAKATA, 2004 ; BLOTTIERE *et al*, 2003**), en augmentant l'index mitotique et en inhibant l'apoptose (**MENTSCHHEL *et al*, 2001**) se traduit par une amélioration de fonction d'absorption et de transport du rumen (**BANNINK *et al*, 2012**), ce qui permet probablement une augmentation des nutriments dirigés vers la glande mammaire.

Les analyses de sous-groupes ont montré que les réponses positives de PL à la PBL étaient absentes chez les vaches à faible régime en FDN. De plus, les vaches primipares n'ont pas été affectées par la supplémentation en levure et l'effet positif de la supplémentation en levure n'a été observé qu'en début de lactation. Malgré cela, la méta-régression n'a pas réussi à révéler un effet du stade de lactation, du niveau de FDN ou de la parité sur les réponses à la supplémentation. Ainsi, le fait de ne pas déclarer des réponses cohérentes reflète très probablement une taille d'échantillon inadéquate et, par conséquent, le nombre d'études dans les deux sous-groupes n'était pas équilibré.

Les effets de la PBL sont fortement influencés en début de lactation. Une stimulation précoce de l'activité ruminale peut fournir une force pour améliorer les performances des animaux (**DEVEN *et al*, 2007**) grâce à la capacité de la PBL à diminuer les concentrations d'acide lactique dans le rumen et à modérer le PH ruminal (**PIVA *et al*, 1993**).

Dans leur méta-analyse, **DE ONDARZA *et al* (2010)** ont signalé que le FDN fermentescible était un déterminant majeur de la réponse de la production laitière des vaches laitières à la supplémentation en levure. Dans la méta-analyse actuelle, l'effet positif de PBL n'a été observé que chez les vaches nourries avec une forte proportion de FDN. **BITENCOURT *et al* (2011)** ont rapporté que les vaches nourries de RTM contenant 30% de FDN présentaient une digestion accrue du FDN dans le tractus digestif et une amélioration de la PL lorsqu'elles étaient nourries avec du PBL. De même, **DE ONDARZA *et al* (2010)** et **DESNOYERS *et al.* (2009)** ont constaté que la supplémentation en PBL augmentait la digestibilité de la MO et que les avantages augmentaient à mesure que la teneur en FDN alimentaire augmentait. L'effet bénéfique de la levure sur la digestibilité des fibres a également été rapporté *in vivo* (**FERRARETTO *et al*, 2012 ; DIAS *et al*, 2018a**). De plus, un rôle de la PBL dans la modification de l'activité microbienne du rumen, principalement les bactéries fibrolytiques, semble être le principal mécanisme par lequel la supplémentation en levure améliore la digestion des fibres (**MOSONI *et al*, 2007 ; WALLACE et NEWBOLD, 2007**).

Des analyses de méta-régression univariées ont montré que le début du traitement PBL avant le vêlage augmentait l'impact positif de PBL sur la production laitière par rapport au début du traitement après le vêlage. On s'attend généralement à ce que chez les bovins, la performance productive soit liée à des transitions adaptatives dans le microbiote ruminal (**PINLOCHE *et al*, 2013**) et les liens entre la PBL et l'amélioration du microbiote ruminal ont déjà été discutés ci-dessus. Par conséquent, les vaches nourries au PBL avant et après le

vêlage ont maintenu des habitudes alimentaires diurnes plus proches du vêlage et ont pu reprendre des habitudes diurnes régulières au début de la lactation (**RAMSING et al, 2009**).

L'effet positif de PBL sur PL avait également tendance à différer selon le niveau de FDA. Il est intéressant de noter que dans la présente étude, l'effet positif de PBL sur la PL était plus élevé chez les vaches nourries avec un régime pauvre en FDA que chez celles nourries avec un régime riche en FDA. Ce résultat ne concorde pas avec les résultats suggérant qu'une partie de l'effet positif de la PBL sur PL est liée à l'augmentation de la digestibilité de FDA (**MARDEN et al, 2008**). **ROBINSON et ERASMUS (2009)** n'ont pas réussi dans leur méta-analyse à trouver une relation claire entre le ratio FDA / FDN et l'impact de l'alimentation de PBL sur PL. Les auteurs ont conclu que le régime riche en FDA avait un effet plus significatif que le FDN sur la suppression d'une réponse positive de PL à l'alimentation d'un PBL.

Sur la base de la méta-régression multiple des caractéristiques des régimes alimentaires combinés, l'impact négatif de l'augmentation de FDA dans le régime alimentaire sur la réponse de production à une alimentation de PBL a été aggravé par la diminution du taux d'amidon. Ceci est évidemment en accord avec le fait que les avantages du PBL pourraient être plus importants dans les régimes avec une teneur en amidon accrue (**AMBRIZ-VILCHIS et al, 2017**). Les régimes riches en amidon entraînent donc une augmentation de la charge d'acide qui nécessite une augmentation des fibres physiquement efficaces pour maintenir un environnement ruminal adéquat (**ALLEN et al, 2012**). L'environnement du rumen plus stable en raison de l'ajout de PBL aux régimes riches en amidon pourrait entraîner un besoin moindre de fibres physiquement efficaces et justifier une augmentation de la PL (**DIAS et al, 2018a**). D'un autre côté, l'impact négatif de l'augmentation de FDA dans le régime alimentaire sur la réponse de la production était absent lorsque les vaches étaient nourries avec une alimentation pauvre en PB (**Figure 10**). Il est intéressant de noter ici qu'une interaction entre PBL et PB pour l'isobutyrate a été enregistrée ; L'alimentation en PBL peut augmenter la concentration d'isobutyrate dans le liquide ruminal des vaches nourries avec un régime pauvre en PB (**PUTNAM et al, 1997**) et peut diminuer l'isobutyrate (**PUTNAM et al, 1997 ; OUELLET et CHIQUETTE, 2016**) et l'isovalérate (**OUELLET et CHIQUETTE, 2016**) chez les vaches nourries avec un régime riche en PB. Si une amélioration de la PL des vaches nourries avec un PB bas a été observée, une partie de cette amélioration peut être due au fait qu'une plus grande proportion d'acides aminés a été épargnée de la dégradation dans le rumen en présence de PBL (**OUELLET et**

**CHIQUETTE, 2016**); tandis que les isoacides (c'est-à-dire l'isobutyrate) sont produits pendant l'activité de désamination dans le rumen (**EUGENE et al, 2004**). Les isoacides sont donc connus pour leurs effets sur la croissance de nombreux organismes du rumen, en particulier les bactéries cellulolytiques (**DEHORITY et al, 1967**).

Cependant, un impact positif de la diminution de FDA dans le régime alimentaire sur la réponse de la production à une alimentation PBL a été observé quel que soit le niveau de FDN (**Figure 10**). Ce résultat confirme l'effet plus fort de la proportion FDA que FDN observé par **ROBINSON et ERASMUS (2009)**.

Le PBL a significativement augmenté le pourcentage de matière grasse laitière (+0,06%), le rendement en matière grasse laitière (+0,03 kg / j) et le rendement en protéines lactiques (+0,02 kg / j). Cependant, les pourcentages de protéines du lait n'ont pas été significativement influencés par le traitement. Les changements dans la composition du lait avec addition de PBL sont généralement en accord avec ceux des méta-analyses précédentes (**SAUVANT et al, 2004 ; DESNOYERS et al, 2009**) qui ont montré que le PBL alimentaire augmentait légèrement la matière grasse du lait et des effets contrastés ont été enregistrés pour les protéines du lait. **POPPY et al (2012)** ont signalé une tendance à l'augmentation des rendements en matières grasses lactiques et en protéines (0,06 et 0,03 kg / j respectivement) dans leur méta-analyse sur l'effet de la supplémentation en levure. Cependant, les auteurs n'ont pas mis en évidence un effet sur le pourcentage de matière grasse du lait. Ces augmentations plus constantes de la teneur en matières grasses du lait avec l'alimentation des PBL sont probablement dues aux améliorations mentionnées précédemment dans la fonction du rumen et à l'augmentation du PH ruminal qui peuvent réduire le risque de voies de biohydrogénation (**FUENTES et al, 2009 ; HRISTOV et al, 2010 ; SHINGFIELD et al, 2013**), en diminuant le risque de dépression de la matière grasse du lait (**DEVRIES et CHEVAUX, 2014**). Il a également été démontré que la PBL augmente les populations bactériennes digérant les fibres qui produisent en grande partie de l'acétate, l'un des principaux précurseurs lipogéniques de la synthèse des acides gras de novo.

# *Conclusion*

## **Conclusion**

Dans toutes les études incluses dans la méta-analyse, le traitement de PBL a entraîné une augmentation positive mais faible de PL et en composants laitiers sans augmenter la MSI. L'amélioration observée dans la PL n'était pas le résultat d'une augmentation de MSI. Ainsi, les vaches répondaient mieux au traitement de PBL si le traitement commençait avant le vêlage et si les vaches étaient nourries avec un régime pauvre en FDA. De même, les résultats de cette étude méta-analytique indiquent que le PBL pourrait être plus bénéfique pour les vaches qui ont été nourries avec un régime pauvre en FDA si elles étaient nourries, au même temps, avec des régimes riches en amidon ou faibles en PB. D'autres études, par conséquent, sont nécessaires pour déterminer le rôle des caractéristiques du régime alimentaire dans l'effet de la supplémentation en PBL sur PL.



# *Références bibliographiques*

## Références bibliographique

**1-ABD EL-GHANI, A. A. (2004).** Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats. *Small ruminant research*, 52(3), 223-229.

**2-AGGOUNE, B., et ZERKANE, I. (2016).** Etude du comportement rhéologique d'une levure *Saccaromyces cerevisiae* en milieu liquide. Mémoire de projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master. Université M'HAMED Bougara Boumerdes.40p.

**3-AJAMIEH, S. (2018).** Quelle est la fiabilité des méta-analyses relatives à la psychologie et à des disciplines apparentées ? Une investigation de la qualité d'un échantillon de méta-analyses publiées sur PsycINFO en 2016. Mémoire réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en sciences psychologiques. Université de Liège.22p.

**4-ALSHAIKH, M.A., M.Y. ALSIADI, S.M. ZHRAN, H.H. MOGAWER, and AALSHOWIME, T.A. (2001).** Effect of feeding yeast culture from different sources on the performance of lactating Holstein cows in Saudi Arabia. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 15:352–356. doi:10.5713/ajas.2002.352.

**5-ALLEN, M.S. and YING, Y. (2012).** Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal starch digestion are dependent upon dry matter intake for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 95:6591–6605. doi:10.3168/jds.2012-5377.

**6-AMBRIZ-VILCHIS, V., N.S. JESSOP, R.H. FAWCETT, M. WEBSTER, D.J. SHAW, N. WALKER, and A.I. MACRAE. (2017).** Effect of yeast supplementation on performance, rumination time, and rumen pH of dairy cows in commercial farm environments. *J. Dairy Sci.* 100:5449–5461. doi:10.3168/jds.2016-12346.

**7-ANNICK ST-AMAND, MARIE-CHRISTINE SAINT-JACQUE (2013).** comment faire une méta-analyse, méthode agrégative de synthèse des connaissances, Université Laval, faculté des sciences sociales, centre de recherche sur l'adaptation des jeunes et des familles à risque (JEFAR), [https://www.cms.fss.ulaval.ca/recherche/upload/jefar/fichiers/comment\\_faire\\_metaanalyse.pdf](https://www.cms.fss.ulaval.ca/recherche/upload/jefar/fichiers/comment_faire_metaanalyse.pdf) (consulté Mai 2020).

**8-AOUADI, I. (2014).** Méta-analyse des données sur la mémoire autobiographique dans la schizophrénie, Rapport de stage université de starsbourg INSERM, Master 1 Mathématiques et Applications, Spécialité Statistique, parcours Biostatistiques et Statistiques Industrielles., 40p.

- 9-ARAKAKI, L. C., STAHRINGER, R. C., GARRETT, J. E., & DEHORITY, B. A. (2000).** The effects of feeding monensin and yeast culture, alone or in combination, on the concentration and generic composition of rumen protozoa in steers fed on low-quality pasture supplemented with increasing levels of concentrate. *Animal Feed Science and Technology*, 84(1-2), 121-127.
- 10-BACH, A., C. IGLESIAS, and M. DEVANT. (2007).** Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 136:146–153. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.09.011.
- 11-BACH, A., GUASCH, I., ELCOSO, G., DUCLOS, J., & KHELIL-ARFA, H. (2018).** Modulation of rumen pH by sodium bicarbonate and a blend of different sources of magnesium oxide in lactating dairy cows submitted to a concentrate challenge. *Journal of dairy science*, 101(11), 9777-9788.
- 12-BAGULEY, T. (2012).** Calculating and graphing within-subject confidence intervals for ANOVA. *Behav. Res. Methods* 44:158–175. doi:10.3758/s13428-011-0123-7.
- 13-BANNINK, A., W.J.J. GERRITS, J. FRANCE, and J. DIJKSTRA. (2012).** Variation in rumen fermentation and the rumen wall during the transition period in dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172:80–94. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.010.
- 14-BARBARA DUNN, C. R., DANIEL, J., KVITEK, T.P. AND GAVIN, S. (2012).** "Analysis of the *Saccharomyces cerevisiae* pan-genome reveals a pool of copy number variants distributed in diverse yeast strains from differing industrial environments." *Genome research* 22: 908-924.
- 15-BEGG, C. B. (1994).** Publication bias. Dans H. Cooper et L. V. Hedges (Éds.), *The handbook of research synthesis* (p. 399-409). New York, NY: Pussell Sage Foundation.
- 16-BEGG, C.B. et MAZUMDAR, M. (1994).** « Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias », *Biometrics*, 50, pp. 1088-1101.
- 17-BELLAM et FOULD, S. (1996).** Levure et panification -Nathan Communication Paris.73p.
- 18-BERNSTEIN, H. and BERNSTEIN, C. (2019).** Sexual Processes in Microbial Eukaryotes, *Parasitology and Microbiology Research*, Gilberto Antonio Bastidas Pacheco and Asghar Ali Kamboh, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.88469. Available from:

<https://www.intechopen.com/books/parasitology-and-microbiology-research/sexual-processes-in-microbial-eukaryotes>

**19-BEAUCHEMIN, K.A., and BUCHANAN-SMITH. J.G. (1989).** Effects of Dietary Neutral Detergent Fiber Concentration and Supplementary Long Hay on Chewing Activities and Milk Production of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 72:2288–2300. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79360-7.

**20-BITENCOURT, L.L., MARTINS SILVA, J.R. LOPES DE OLIVEIRA, B.M. JÚNIOR, G.S.D. LOPES, F. JÚNIOR, S.S. ZACARONI, O. DE F. and PEREIRA. M.N. (2011).** Diet digestibility and performance of dairy cows supplemented with live yeast. *Sci. Agric.* 68:301–307. doi:10.1590/s0103-90162011000300005.

**21-BLOTTIERE, H.M., BUECHER, B. GALMICHE, J.-P. and CHERBUT. C. (2003).** Molecular analysis of the effect of short-chain fatty acids on intestinal cell proliferation. *Proc. Nutr. Soc.* 62:101–106. doi:10.1079/pns2002215.

**22-BORENSTEIN, M., HEDGES, L. V., HIGGINS, J. P. T., et ROTHSTEIN, H. R. (2009).** Introduction to meta-analysis. Hoboken, NJ : Wiley-Blackwell.

**23-BOUIX, M. et LEVEAU, J.Y. (1993).** Microbiologie industrielle. Les micro-organismes d'intérêt industriel. Ed. Technique et documentation-Lavoisier-Apria. Paris. 523p.

**24-BREITENBACH, M. J. D. B., STANLEY B., IAN, W., DAWES, J., RICHARD, D. P. D. G.G.H.K.H. (2004).** "The Metabolism and Molecular Physiology of *Saccharomyces cerevisiae*." CRC Press Second edition (Edited by J.Richard Dickinson and Michael Schweizer).

**25-BRUNO, R. G., RUTIGLIANO, H. M., CERRI, R. L., ROBINSON, P. H., & SANTOS, J. E. (2009).** Effect of feeding *Saccharomyces cerevisiae* on performance of dairy cows during summer heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3-4), 175-186.

**26-BÜCHL, N. R., HUTZLER, M., MIETKE-HOFMANN, H., WENNING, M., & SCHERER, S. (2010).** Differentiation of probiotic and environmental *Saccharomyces cerevisiae* strains in animal feed. *Journal of applied microbiology*, 109(3), 783-791.

**27-CHANG, B., LIPSITZ, S., et WATERNAUX, C. (2000).** « Logistic regression in meta-analysis using aggregate data », *Journal of Applied Statistics*, Vol. 27, n°4, pp. 411-424.

- 28-CHAUCHEYRAS-DURAND, F. AND FONTY, G. (2002).** Influence of a probiotic yeast (*Saccharomyces cerevisiae* CNCM I-1077) on microbial colonization and fermentations in the rumen of newborn lambs. *Microb. Ecol. in health and disease*. 14: 30-36.
- 29-CHAUCHEYRAS-DURAND, F., FONTY, G., BERTIN, G. (1997).** L'utilisation de levures vivantes, additif microbiens chez le ruminant : Effets sur la microflore et les fermentations ruminales, effets zootechniques. *Bulletin des G.T.V. no.5B, 576*: 35-52.
- 30-CHAUCHEYRAS-DURAND, F., WALKER, N.D. and BACH, A. (2008).** Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: past, present and future. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 145:5-26.
- 31-CHAUCHEYRAS-DURAND, F. and DURAND, H. (2010).** Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*. 1 (1), 3-9.
- 32-CHEUNG, M.W.L. (2014).** metaSEM: An R package for meta-analysis using structural equation modeling. *Front. Psychol.* 5. doi:10.3389/fpsyg.2014.01521.
- 33-CHEUNG, M.W.L. (2019).** A Guide to Conducting a Meta-Analysis with Non-Independent Effect Sizes. *Neuropsychol. Rev.* 29:387–396. doi:10.1007/s11065-019-09415-6.
- 34-CHEVAUX, E. AND M. M.FABRE, (2007).** Probiotic yeast in small ruminants. *Feed Mix*, 15 (1):28029.
- 35-COOK, D.J., GUYATT, G.H., RYAN, G. et al. (1993).** « Should unpublished data be included in metaanalyses ? », *JAMA*, 269, pp. 2749-2753
- 36-COOKE, K. M., BERNARD, J. K., & WEST, J. W. (2007).** Performance of lactating dairy cows fed whole cottonseed coated with gelatinized starch plus urea or yeast culture. *Journal of dairy science*, 90(1), 360-364.
- 37-COOPER, H.M. (1984).** *The integrative research review : a systematic approach*, Beverly Hills, Sage Publications.
- 38-COOPER, H, and HEDGES, L. (2009).** *Research synthesis as a scientific process*. 2nd ed. H.L. and V.J. Cooper HM, ed. Russell Sage Foundation, New York.
- 39-COOPER, H.M. (2010).** *Research synthesis and meta-analysis*, Beverly Hills, Sage Publications.
- 40-CUCHERAT, M. (1997).** *Meta-analyse des essais thérapeutiques*, Paris : Masson.

**41-CUMMINS, K.A. (1992).** Effect of Dietary Acid Detergent Fiber on Responses to High Environmental Temperature. *J. Dairy Sci.* 75:1465–1471. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77903-X.

**42-DANN, H.M., DRACKLEY, J.K. MCCOY, G.C. HUTJENS, M.F. and GARRETT, J.E. (2000).** Effects of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on prepartum intake and postpartum intake and milk production of Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 83:123–127. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74863-6.

**43-DAYA, S. (2006).** Funnel plots and publication bias: work in progress? *Evidence-based Obstetrics and Gynecology*, 8(3-4), 71-72.

**44-DAWSON, K.A. (1989).** Modification of rumen function and animal production using live microbial cultures as feed supplements. *California Anim. Nutr. Conf.* 25p.

**45-DAWSON, K. A., NEWMAN, K. E., & BOLING, J. A. (1990).** Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *Journal of Animal Science*, 68(10), 3392-3398.

**46-DAWSON, K. A. and TRICARICO, J. (2002).** The evolution of yeast cultures- 20 years of research. In: *Navigating from Niche Markets to Mainstream. Proceedings of Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour*, pp 26-43

**47-DEHORITY, B.A., SCOTT, H.W. and KOWALUK, P. (1967).** Volatile fatty acid requirements of cellulolytic rumen bacteria.. *J. Bacteriol.* 94:537–543. doi:10.1128/jb.94.3.537-543.1967.

**48-DENEV, S.A., PEEVA, T. RADULOVA, P.STANCHEVA, N. STAYKOVA, G.**

**BEEV, G.TODOROVA, P. and TCHOBANOVA. S. (2007).** Yeast Cultures in Ruminant Nutrition. *Bulg. J. Agric. Sci.* 13:357–374.

**49-DE ONDARZA, M.B., SNIFFEN, C.J. DUSSERT, L. CHEVAUX, E. SULLIVAN, J. and WALKER. N. (2010).** Multiple-Study Analysis of the Effect of Live Yeast on Milk Yield, Milk Component Content and Yield, and Feed Efficiency. *Prof. Anim. Sci.* 26:661–666. doi:10.15232/S1080-7446(15)30664-1.

**50-DESNOYERS, M., GIGER-REVERDIN, S. BERTIN, G. DUVAUX-PONTER, C.**

**and SAUVANT, D. (2009).** Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Journal of Dairy Science*. 92:1620–1632. doi:10.3168/jds.2008-1414.

**51-DEVRIES, T.J., and CHEVAUX. E. (2014).** Modification of the feeding behavior of dairy cows through live yeast supplementation. *J. Dairy Sci.* 97:6499–6510. doi:10.3168/jds.2014-8226.

**52-DIAS, A.L.G., FREITAS, J.A. MICAI, B. AZEVEDO, R.A. GRECO, L.F. and SANTOS. J.E.P. (2018a).** Effects of supplementing yeast culture to diets differing in starch content on performance and feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:186–200. doi:10.3168/jds.2017-13240.

**53-DIAS, A.L.G., FREITAS, J.A. MICAI, B. AZEVEDO, R.A. GRECO, L.F. and SANTOS, J.E.P. (2018b).** Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:201–221. doi:10.3168/jds.2017-13241.

**54-DIAS, J.D.L., SILVA, R.B. FERNANDES, T. BARBOSA, E.F. GRAÇAS, L.E.C. ARAUJO, R.C. PEREIRA, R.A.N. and PEREIRA. M.N. (2018c).** Yeast culture increased plasma niacin concentration, evaporative heat loss, and feed efficiency of dairy cows in a hot environment. *J. Dairy Sci.* 101:5924–5936. doi:10.3168/jds.2017-14315.

**55-DICKERSIN, K. (2005).** Publication bias: Recognizing the problem, understanding its origins and scope, and preventing harm. Dans H. R. Rothstein, A. J. Sutton et M. Bornstein (Éds.), *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment, and adjustments* (p. 11-33). Chichester, Angleterre: John Wiley & Sons.

**56-DOREAU, M., & JOUANY, J. P. (1998).** Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on nutrient digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3214-3221.

**57-DOUCOULIAGOS, C. et LAROCHE, P. (2003a).** « What do unions do to productivity ? a meta-analysis », *Industrial Relations*, vol. 42, n°4 (October), pp. 650-691.

**58-DOUCOULIAGOS, C. et LAROCHE, P. (2003b).** « *Publications bias in Industrial relations research* », 14<sup>th</sup> Association of the Industrial Relations Academics of Australia and New Zealand (AIRAANZ) Conference, Melbourne.

- 59-ECKLES, C. H. and WILLIAMS, V. M. (1925).** Yeast as a supplementary feed for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 8,89-93.
- 60-EGGER, M., SMITH, G.D. SCHNEIDER, M. and MINDER. C. (1997).** Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Br. Med. J.* 315:629–634. doi:10.1136/bmj.315.7109.629.
- 61-ENJALBERT, F., GARRETT, J.E. MONCOULON, R. BAYOURTHE, C. and CHICOTEAU, P. (1999).** Effects of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal digestion in non-lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76:195–206. doi:10.1016/S0377-8401(98)00230-2.
- 62-ERASMUS, L.J., ROBINSON, P.H. AHMADI, A. HINDERS, R. and GARRETT, J.E. (2005).** Influence of prepartum and postpartum supplementation of a yeast culture and monensin, or both, on ruminal fermentation and performance of multiparous dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 122:219–239. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.03.004.
- 63-EREZ, A., BLOOM, M.C. et WELLS, M.T. (1996).** Using random rather than fixed effects models in meta-analysis: implications for situational specificity and validity generalization, *Personnel Psychology*, 49, 2, 275-306.
- 64-EUGENE, M., ARCHIMEDE, H. and SAUVANT. D. (2004).** Quantitative meta-analysis on the effects of defaunation of the rumen on growth, intake and digestion in ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 85:81–97. doi:10.1016/S0301-6226(03)00117-9.
- 65-FACCIO-DEMARCO, C., MUMBACH, T., OLIVEIRA-DE-FREITAS, V., E SILVA-RAIMONDO, R. F., MEDEIROS-GONÇALVES, F., NUNES-CORRÊA, M., & GUEDES, C. M., GONCALVES, D., RODRIGUES, M. A. M., & DIAS-DA-SILVA, A. (2008).** Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre degradation of maize silages in cows. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 27-40.
- 66-FAY, J. C. AND BENAVIDES, J. A. (2005).** "Evidence for Domesticated and Wild Populations of *Saccharomyces cerevisiae*." *PLoS Genet* 1(1):e5 0066-0071.
- 67-FERRARETTO, L.F., SHAVER, R.D. and BERTICS. S.J. (2012).** Effect of dietary supplementation with live-cell yeast at two dosages on lactation performance, ruminal fermentation, and total-tract nutrient digestibility in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:4017–4028. doi:10.3168/jds.2011-5190.



- 68-FERREIRA, F. (1997).** *Saccharomyces cerevisiae* : importance dans le développement des sociétés humaines. Rôle dans l'industrie agro-alimentaire et en thérapeutique. Thèse Pharmacie : Paris XI .119 p.
- 69-FIEMS, L. O., COTTYN, B. G., DUSSERT, L., VANACKER, J. M. (1993).** Effect of a viable yeast culture on digestibility and rumen fermentation in sheep fed different types of diets. *Reprod Nutr Dev.* 33, 43-49.
- 70-FUENTES, M.C., S. CALSAMIGLIA, P.W. CARDOZO, and B. VLAEMINCK. (2009).** Effect of pH and level of concentrate in the diet on the production of biohydrogenation intermediates in a dual-flow continuous culture. *J. Dairy Sci.* 92:4456–4466. doi:10.3168/jds.2008-1722.
- 71-FULLER, R. (1989).** Probiotics in man and animals. A review. *J. Appl. Bacteriol.* 66: 365-378
- 72-GARCÍA J. L., F. A. CASTREJÓN, G. D. MENDOZA, E. P. PÉREZ-GAVILÁN (2000).** Effect of two commercial yeast cultures with *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation and digestion in sheep fed sugar cane tops. *Livest. Prod. Sci.* 63,153-157.
- 73-GILLET, R. (2001).** « Meta-analysis and bias in research reviews », *Journal of Reproductive and Infant Psychology*, Vol.19, n°4, pp. 287-294.
- 74-GLASS, G., MCGAW, B. et SMITH, M.L. (1981).** *Meta-analysis in social research*, Beverly Hills, Sage Publications.
- 75-GUEDES, C.M., GONÇALVES, D., RODRIGUES, M.A.M., DIAS-DA-SILVA, A. (2008).** Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre degradation of maize silages in cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 27–40.
- 76-GUEGUEN, N., LOUREL, M. et PASCUAL, A. (2007).** The méta-analysis technique in social psychology: principle, method and illustration, *Pratiques psychologiques* 13 ,197–212.
- 77-GUINET, R. et GODON, B. (1994).** La panification Française Ed. Tec & Doc.521 p.
- 78-GUIRAUD, J. P. (1998).** Microbiologie alimentaire. Et Dunod, Paris, 310-321 (Thuriaux, 2004)
- 79-GUIRAUD, J. et GALZY, P. (1980).** L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Ed. Les éditeurs de l'Usine Nouvelle. Paris. 236p.
- 80-GUIRAUD, J. et GALZY, P. (1998).** Microbiologie alimentaire. Ed. Dunod. Paris. 615 P.

- 81-GUREVITCH, J. et HEDGES, L.V. (1993).** « Meta-analysis : combining results of independent experiments, in S. Scheiner et J. Gurevitch (eds), *Design and Analysis of Experiments*, Chapman and Hall, New York, pp. 378-398.
- 82-HABEEB, A. A. M. (2017).** Importance of yeast in ruminants feeding on production and reproduction. *Ecology and Evolutionary Biology*, 2(4), 49.
- 83-HADDAD, S. G., & GOUSSOUS, S. N. (2005).** Effect of yeast culture supplementation on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 118(3-4), 343-348.
- 84-HALACHMI, I., BEN MEIR, Y. MIRON, J. and MALTZ, E. (2016).** Feeding behavior improves prediction of dairy cow voluntary feed intake but cannot serve as the sole indicator. *Animal* 10:1501–1506. doi:10.1017/S1751731115001809.
- 85-HARRIS, S. D., CHENG, J., PUGH, T. A., & PRINGLE, J. R. (1992).** Molecular analysis of *Saccharomyces cerevisiae* chromosome I: On the number of genes and the identification of essential genes using temperature-sensitive-lethal mutations. *Journal of molecular biology*, 225(1), 53-65.
- 86-HARRISON, G.A., HEMKEN, R.W., DAWSON, K.A., HERSKOWITZ, I. (1988).** Life cycle of the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* *Microbial Rev* 52(4), 536-53.
- 87-HASUNUMA, T., UYENO, Y. AKIYAMA, K. HASHIMURA, S. YAMAMOTO, H.YOKOKAWA, H. YAMAGUCHI, T. ITOH, M. MIZUGUCHI, H. SATO, HIRAKO, S. M. and KUSHIBIKI. S. (2016).** Consecutive reticular pH monitoring in dairy cows fed diets supplemented with active dry yeast during the transition and mid-lactation periods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 221:215–225. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.09.002.
- 88-HEDGES, L.V. et OLKIN, I. (1985).** *Statistical methods for meta-analysis*, Londres, Academic Press. Meta-analysis: combining results of independent experiments, in S. Scheiner et J. Gurevitch (coord.), *Design and analysis of experiments*, New York, Chapman and Hall, 378-398.
- 89-HEDGES, L.V. et VEVEA, J.L. (1998).** Fixed-and random effects models in meta-analysis, *Psychological Methods*, 3, 486-504.
- 90-HERSKOWITZ, I. (1988).** Life cycle of the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* *Microbial Rev* 52(4), 536-53p.

**91-HESCLOT, L. et VLADESCU, B. (1994)** ; La levure dans les industries alimentaires Ed. Tec &Doc, Lavoisier, 1994.-56 p.

**92-HIGGINS, J.P.T., and GREEN. S. (2008).** Guide to the contents of a Cochrane protocol and review. J.H. and S. Green, ed. John Wiley & Sons Inc, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

**93-HIGGINS, J.P.T., S.G. THOMPSON, J.J. DEEKS, and D.G. ALTMAN. (2003).** Measuring inconsistency in knowledgebases. *BMJ* 327:557–560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557.

**94-HOPEWELL, S., MCDONALD, S. CLARKE, M.J. and EGGER. M. (2007).** Grey literature in meta-analyses of randomized trials of health care interventions. *Cochrane Database Syst. Rev.* doi:10.1002/14651858.MR000010.pub3.

**95-HOWICK, J., CHALMERS, I., GLASZIOU, P., GREENHALGH, T., HENEGHAN, C., LIBERATI, A., THORNTON, H. (2018).** Levels of evidence: Introductory document. Retrieved from

<https://www.cebm.net/2011/06/2011-oxford-cebm-levels-evidence-introductorydocument/>

**96-HRISTOV, A.N., VARGA, G. CASSIDY, T.LONG, M. HEYLER, K. KARNATI, S.K.R. CORL, B.HOVDE, C.J. and YOON. I. (2010).** Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal fermentation and nutrient utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:682–692. doi:10.3168/jds.2009-2379.

**97- <http://www.medicine.Ups.tlse.fr/index.PHP>**

**98- HUANG, Y., JULIEN, C., MARDEN, J.P., BAYOURTHE, C. (2016).** Analyse quantitative de l'effet des levures vivantes sur le potentiel redox ruminal chez la vache laitière.

**99-HUNTER, J.E., SCHMIDT, F.L. et JACKSON, G.B. (1982).** *Metaanalysis: cumulating research findings across studies*, Beverly Hills, Sage Publications.

**100-JENSEN GS, PATTERSON KM, YOON I. (2008).** Nutritional yeast culture has specific antimicrobial properties without affecting healthy flora. Preliminary results *J Anim Feed Sci.*; 17, 247–52.

**101-JESPERSEN, L. (2003).** "Occurrence and taxonomic characteristics of strains of *Saccharomyces cerevisiae* predominant in African indigenous fermented foods and beverages." *FEMS Yeast Research* 3(2), 191-200.

- 102-JIANG, Y., OGUNADE, I.M. ARRIOLA, K.G. VYAS, M. QI, D. STAPLES, C.R. and ADESOGAN. A.T. (2017).** Effects of the dose and viability of *Saccharomyces cerevisiae*. 2. Ruminal fermentation, performance of lactating dairy cows, and correlations between ruminal bacteria abundance and performance measures. *J. Dairy Sci.* 100:8102–8118. doi:10.3168/jds.2016-12371.
- 103-JOUANY, J. P. (2001).** Twenty years of research and now more relevant than ever the coming of age of yeast cultures in ruminant diets. In: *Responding to a Changing Agricultural Landscape*. Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour, pp. 44-69
- 104-JOUANY, J. P., LASSALAS, B., BERTIN, G. (1994).** *In vitro* study of the dose effect of *Saccharomyces cerevisiae* on rumen digestion of a mixed diet. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 3p.
- 105-KALMUS, P., ORRO, T., WALDMANN, A., LINDJÄRV, R., & KASK, K. (2009).** Effect of yeast culture on milk production and metabolic and reproductive performance of early lactation dairy cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 51(1), 1-7.
- 106-KIM, H. S., KIM, N. R., & CHOI, W. (2011).** Total fatty acid content of the plasma membrane of *Saccharomyces cerevisiae* is more responsible for ethanol tolerance than the degree of unsaturation. *Biotechnology letters*, 33(3), 509-515.
- 107-KREGER –VAN ET RIJ, N.J. (1984).** *The yeast, a Taxonomic Study*, Elsevier Biomedical.
- 108-KUMAR, U., SAREEN, V. K., & SINGH, S. (1997).** Effect of yeast culture supplement on ruminal microbial populations and metabolism in buffalo calves fed a high roughage diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(2), 231-236.
- 109-KUMPRECHTOVÁ, D., ILLEK, J. JULIEN, C. HOMOLKA, P. JANČÍK, F. and AUCLAIR. E. (2018).** Effect of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on rumen fermentation and metabolic profile of dairy cows in early lactation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 103:447–455. doi:10.1111/jpn.13048.
- 110-KUNG, L. JR., KRECK, E. M., TUNG, R. S. (1997).** Effects of a live yeast culture and enzymes on *in vitro* ruminal fermentation and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2045–2051.
- 111-LAOUANI K., BENTLEMSANI Y. (2016).** Taux sérique élevé des AGNE et des BHBA et leur association avec les performances de la reproduction chez la vache laitière ;

méta-analyse, Projet de fin d'étude en vue d'obtention de diplôme docteur vétérinaire, université Saad Dahlab Blida 1 ,40p.

**112-LAROCHE, P. et SCHMIDT, G. (2004).** « *La méta-analyse en sciences de gestion : utilisations et débats* », Academy of Management, Division « Méthodes de Recherche » (RMD), *Crossing Frontiers in Quantitative and Qualitative Research Methods*, ISEOR, Lyon.

**113-LAROCHE, P. et SOULEZ, S. (2012).** “La méthodologie de la méta-analyse en marketing”, *Recherche et Applications en Marketing*, vol. 27, n° 1, pp. 79-105.

**114-LARPENT, J. P. (1991).** Biotechnologie des levures. Ed. Masson. Paris.426 p.

**115-LARPENT, J. P., ET GOURGOUD, M. (1985).** Elément de microbiologie. Ed. Herman. Paris.464p.

**116-LASCANO, G. J., ZANTON, G. I., & HEINRICHS, A. J. (2009a).** Concentrate levels and *Saccharomyces cerevisiae* affect rumen fluid-associated bacteria numbers in dairy heifers. *Livestock Science*, 126(1-3), 189-194.

**117-LASCANO, G. J., & HEINRICHS, A. J. (2009b).** Rumen fermentation pattern of dairy heifers fed restricted amounts of low, medium, and high concentrate diets without and with yeast culture. *Livestock Science*, 124(1-3), 48-57.

**118-LEHLOENYA, K. V., STEIN, D.R. ALLEN, D.T. SELK, G.E. JONES, D.A. ALEMAN, M.M. REHBERGER, T.G. MERTZ, K.J. and SPICER, L.J. (2008).** Effects of feeding yeast and propionibacteria to dairy cows on milk yield and components, and reproduction. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 92:190–202. doi:10.1111/j.1439-0396.2007.00726.x.

**119-LEKIKOT, Z., et MALKI, R. (2016).** Etude de la production de la biomasse de *Saccharomyces cerevisiae* sur milieu optimisé à base de l'extrait de dattes déclassées. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master. Université des Frères Mentouri Constantine. 62p.

**120-LEYRAL, G. et VIERLING É. (2007).** Microbiologie et toxicologie des aliments : hygiène et sécurité alimentaires. 4ème édition, Doin, pp 20-36.

**121-LIGHT, R.J. et PILLEMER, D.B. (1984).** *Summing up : The science of reviewing research*, Cambridge : MA, Harvard University Press.

**122-LITTELL, J. H., CORCORAN, J. et PILLAI, V. (2008).** Systematic Reviews and Meta-Analysis. Pocket guides to social work research methods. New York, NY: Oxford University Press.

**123-LONGUSKI, R.A., Y. YING, and M.S. ALLEN. (2009).** Yeast culture supplementation prevented milk fat depression by a short-term dietary challenge with fermentable starch. *J. Dairy Sci.* 92:160–167. doi:10.3168/jds.2008-0990.

**124-LYNCH, H. A. and MARTIN, S. A. (2002).** Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture and *Saccharomyces cerevisiae* live cells on *in vitro* mixed ruminal microorganism fermentation. *J. Dairy Sci.* 85, 2603-2608.

**125-LYONS, T. P., JACQUES, K. A., DAWSON, K. A. (1993).** Miscellaneous products from yeast. *In: The Yeasts* (Eds. A. H. Rose and J. S. Harrison). Vol. 5. Academic Press, New York. 293-324.

**126-MALEKKHAHI, M., TAHMASBI, A.M. NASERIAN, A.A.DANESH-MESGARAN, M. KLEEN, J.L. ALZAHAL, O. and GHAFFARI, M.H. ( 2016).** Effects of supplementation of active dried yeast and malate during sub-acute ruminal acidosis on rumen fermentation, microbial population, selected blood metabolites, and milk production in dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 213:29–43. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.12.018.

**127- MARDEN, J.P. (2007).** Contribution a l'étude du mode d'action de la levure *Saccharomyces cerevisiae* Sc 47 chez le ruminant : approche thermodynamique chez la vache laitière, projet de fin d'étude pour obtenir le titre de docteur de l'institut national polytechnique de toulouse, l'École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, 195p.

**128-MARDEN, J.P., JULIEN, C. MONTEILS, V. AUCLAIR, E. MONCOULON, R. and BAYOURTHE, C. (2008).** How does live yeast differ from sodium bicarbonate to stabilize ruminal pH in high-yielding dairy cows?. *J. Dairy Sci.* 91:3528–3535. doi:10.3168/jds.2007-0889.

**129-MCAULEY, L., BA'PHAM, TUGWELL, P. and MOHER, D. (2000).** Does the inclusion of grey literature influence estimates of intervention effectiveness reported in meta-analyses?. *Lancet* 356:1228–1231. doi:10.1016/S0140-6736(00)02786-0.

**130-MCGILLIARD, M.L., and STALLINGS, C.C. (1998).** Increase in Milk Yield of Commercial Dairy Herds Fed a Microbial and Enzyme Supplement. *J. Dairy Sci.* 81:1353–1357. doi:10.3168/jds.S0022-0302(98)75698-X.

**131-MELL, J. CH. ET BURGESS, S.M. (2003).** Yeast as a Model Genetic Organism. DOI: 10.1038/npg.els.0000821.

**132-MELLER, R.A., WENNER, B.A. ASHWORTH, J. GEHMAN, A.M. LAKRITZ, J. and FIRKINS, J.L. (2019).** Potential roles of nitrate and live yeast culture in suppressing methane emission and influencing ruminal fermentation, digestibility, and milk production in lactating Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 102:6144–6156. doi:10.3168/jds.2018-16008.

**133-MENTSCHER, J., LEISER, R. MÜLLING, C. PFARRER, C. and CLAUS, R. (2001).** Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Arch. Anim. Nutr. Fur Tierernahrung* 55:85–102. doi:10.1080/17450390109386185.

**134-MIR, Z. and MIR, P. S. (1994).** Effect of the addition of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth and carcass quality of steers fed high forage or high grain and on feed digestibility and *in situ* degradability. *J. Anim. Sci.* 72, 537-545.

**134-MOALLEM, U., LEHRER, H. LIVSHITZ, L. ZACHUT, M. and YAKOBY. S. (2009).** The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. *J. Dairy Sci.* 92:343–351. doi:10.3168/jds.2007-0839.

**135-MOEYAERT, M., UGILLE, M. NATASHA BERETVAS, S. FERRON, J. BUNUAN, R. and VAN DEN NOORTGATE, W. (2017).** Methods for dealing with multiple outcomes in meta-analysis: a comparison between averaging effect sizes, robust variance estimation and multilevel meta-analysis. *Int. J. Soc. Res. Methodol.* 20:559–572. doi:10.1080/13645579.2016.1252189.

**136-MOHER, D., LIBERATI, A. TETZLAFF, J. ALTMAN, D.G. ALTMAN, D. ANTES, G. ATKINS, D. BARBOUR, V. BARROWMAN, N. BERLIN, J.A. CLARK, J. CLARKE, M. COOK, D. D'AMICO, R. DEEKS, J.J. DEVEREAUX, P.J. DICKERSIN, K. EGGER, M. ERNST, E. GÖTZSCHE, P.C. GRIMSHAW, J. GUYATT, G. HIGGINS, J. IOANNIDIS, J.P.A. KLEIJNEN, J. LANG, T. MAGRINI, N. MCNAMEE, D. MOJA,**



**L.MULROW, C. NAPOLI, M. OXMAN, A.PHAM, B. RENNIE, D. SAMPSON, M. SCHULZ, K.F. SHEKELLE, P.G. TOVEY, D.and TUGWELL, P. (2009).** Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med.* 6. doi:10.1371/journal.pmed.1000097.

**137-MOORIS, S.B., and DESHON, R.P. (2002).** Combining Effect Size Estimates in Meta-Analysis With Repeated Measures and Independent-Groups Designs. *Psychol. Methods* 7:105–125. doi:10.1037//1082-989X.7.1.105.

**138-MOSONI, P., CHAUCHEYRAS-DURAND, F. BERA-MAILLET, C. and FORANO, E. (2007).** Quantification by real-time PCR of cellulolytic bacteria in the rumen of sheep after supplementation of a forage diet with readily fermentable carbohydrates: Effect of a yeast additive. *J. Appl. Microbiol.* 103:2676–2685. doi:10.1111/j.1365-2672.2007.03517.x.

**139-MUÑOZ, C., WILLS, D.A. and YAN. T. (2017).** Effects of dietary active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supply at two levels of concentrate on energy and nitrogen utilisation and methane emissions of lactating dairy cows. *Anim. Prod. Sci.* 57:656–664. doi:10.1071/AN15356.

**140-MULLER, J.L. (1988).** « Pour une revue quantitative de la littérature : les méta-analyses », *Psychologie Française*, 33-4, pp. 295-303.

**141-MWENYA, B., SANTOSO, B. SAR, C. PEN, B. MORIKAWA, R. TAKAURA, K. UMETSU, K. KIMURA, K. and TAKAHASHI, J. (2005).** Effects of yeast culture and galacto-oligosaccharides on ruminal fermentation in holstein cows. *J. Dairy Sci.* 88:1404–1412. doi:10.3168/jds.S0022-0302 (05)72808-3.

**142-NEWBOLD, C. J., WALLACE, R. J., CHEN, X. B., & MCINTOSH, F. M. (1995).** Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *Journal of animal science*, 73(6), 1811-1818.

**143-NEWBOLD, C. J., WILLIAMS, P. E. V., N. KAIN, MC., WALKER, A., WALLACE, R. J. (1989).** The effects of yeast culture on yeast numbers and fermentation in the rumen of sheep. Vol 49. 47p.

**144-NIEMI, R.G. (SERIES CO-ED.)(1986).**Series Editor's introduction .In F.M.Wolf (Ed).*Meta-analysis: Quantitative methods for research synthesis* .CA:sage.



**145-NOCEK, J.E., and KAUTZ, W.P. (2006).** Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre- and postpartum dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:260–266. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72090-2.

**146-NOCEK, J. E., KAUTZ, W. P. LEEDLE, J. A. Z. AND BLOCK. E. (2003).** Directfed microbial supplementation on the performance of dairy cattle during the transition period. *J. Dairy Sci.* 86:331–335.

**147-OH, J., HARPER, M. MELGAR, A. COMPART, D.M.P. and HRISTOV, A.N. (2019).** Effects of *Saccharomyces cerevisiae*-based direct-fed microbial and exogenous enzyme products on enteric methane emission and productivity in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 102:6065–6075. doi:10.3168/jds.2018-15753.

**148-OLAGARAY, K.E., SIVINSKI, S.E. SAYLOR, B.A. MAMEDOVA, L.K. SAULS-HIESTERMAN, J.A. YOON, I. and BRADFORD. B.J. (2019).** Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102:8092–8107. doi:10.3168/jds.2019-16315.

**149-OUELLET, D.R., and CHIQUETTE, J. (2016).** Effect of dietary metabolizable protein level and live yeasts on ruminal fermentation and nitrogen utilization in lactating dairy cows on a high red clover silage diet. *Anim. Feed Sci. Technol.* 220:73–82. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.07.006.

**150-PERDOMO, M.C., MARSOLA, R.S. FAVORETO, M.G. ADESOGAN, A. STAPLES, C.R. and SANTOS, J.E.P. (2020).** Effects of feeding live yeast at 2 dosages on performance and feeding behavior of dairy cows under heat stress. *J. Dairy Sci.* 103:325–339. doi:10.3168/jds.2019-17303.

**151-PHILEO-LESAFFRE. (2018).** ActiSaf. <https://phileo-lesaffre.com/en/products/actisaf-sc-47-hr-new-generation-yeast-probiotic/> (consulté le Juillet 2020)

**152-PINLOCHE, E., MCEWAN, N. MARDEN, J.P. BAYOURTHE, C. AUCLAIR, E. and NEWBOLD, C.J. (2013).** The Effects of a Probiotic Yeast on the Bacterial Diversity and Population Structure in the Rumen of Cattle. *PLoS One* 8. doi:10.1371/journal.pone.0067824.

**153-PIGNON, J.P. et POYNARD, T. (1991).** Metaanalyse des essais therapeutiques. *Gastroenterol Clin Boil* 15:229-238.

**154-PIVA, G., BELLADONNA, S.FUSCONI, G. and SICBALDI. F. (1993).** Effects of Yeast on Dairy Cow Performance, Ruminal Fermentation, Blood Components, and Milk Manufacturing Properties. *J. Dairy Sci.* 76:2717–2722. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77608-0.

**155-POPPY, G.D., RABIEE, A.R. LEAN, I.J. SANCHEZ, W.K. DORTON, K.L. and MORLEY, P.S. (2012).** A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:6027–6041. doi:10.3168/jds.2012-5577.

**156-PUTNAM, D.E., SCHWAB, C.G. SOCHA, M.T. WHITEHOUSE, N.L. KIERSTEAD, N.A. and GARTHWAITE, B.D. (1997).** Effect of Yeast Culture in the Diets of Early Lactation Dairy Cows on Ruminal Fermentation and Passage of Nitrogen Fractions and Amino Acids to the Small Intestine. *J. Dairy Sci.* 80:374–384. doi:10.3168/jds.S0022-0302 (97)75947-2.

**157-RAMSING, E.M., DAVIDSON, J.A. FRENCH, P.D. YOON, I. KELLER, M. and PETERS-FLECKENSTEIN, H. (2009).** Effects of Yeast Culture on Peripartum Intake and Milk Production of Primiparous and Multiparous Holstein Cows. *Prof. Anim. Sci.* 25:487–495. doi:10.15232/S1080-7446(15)30739-7.

**158-RAUDENBUSH, S.W. (1994).** Random effects models, in H. Cooper et L.V. Hedges (coord.), *The handbook of research synthesis*, New York, Russel Sage Foundation, 301-321.

**157-REGNAULT, I.P. (1990).** *Microbiologie générale* - Vol. Ed. Vigot .859 p.

**159-REISINGER, H. (1997).** The impact of research designs on R<sup>2</sup> in linear regression models: an exploratory meta-analysis, *Journal of Empirical Generalizations in Marketing Science*, 2, 1, 1-12.

**160-REMOND, B., BRUGERE, H., PONCET, C., BAUMONT, R., JARRIGE, R., RUCKEBUSH, Y., DEMARQUILLY, C., FARCE, M. H., JOURNET, M. (1995).** In *Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et digestion*. INRA, France, 253-298

**161-REY, M. (2012).** Implantation du microbiote et mise en place des fonctions du rumen chez le veau de race laitière et effet de la supplémentation en levure vivantes. Université de

Toulouse (INP Toulouse). Sciences écologiques, vétérinaires, Agronomiques et bioingénieries (SEVB...). 317p.

**162-ROA, M. L., BARCENA, R. J., GONZALEZ, S. M., MENDOZA, M. G., ORTEGA, C. M. E., GARCIA, B. C. (1997).** Effect of fiber source and a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* 1026) on digestion and the environment in the rumen of cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64: 327-336.

**163-Robinson, P.H. (1997).** Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on adaptation of cows to diets postpartum. *J. Dairy Sci.* 80, 1119–1125.

**164-ROBINSON, P. H. (2002).** *Superior California Dairy Review.* 12p

**165-ROBINSON, P.H., and GARRETT, J.E. (1999).** Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on adaptation of cows to postpartum diets and on lactational performance. *J. Anim. Sci.* 77:988–999. doi:10.2527/1999.774988x.

**166-ROBINSON, P.H., and ERASMUS, L.J. (2009).** Effects of analyzable diet components on responses of lactating dairy cows to *Saccharomyces cerevisiae* based yeast products: A systematic review of the literature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 149:185–198. doi:10.1016/j.anifeedsci.2008.10.003.

**167-ROSENTHAL, R. (1984).** *Meta-analytic procedures for social research*, Beverly Hills, Sage Publications.

**168-ROSSI, F., COCCONCELLI, P.S. AND MASOERO, F. (1995).** Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on growth and lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. *Ann. Zootech.* 44,403-409.

**169-ROTHSTEIN, H.R., SUTTON, A.J. and BORENSTEIN, M. (2005).** Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment and adjustments. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

**170-SAKATA, T. (2004).** Effects of short-chain fatty acids on the proliferation of gut epithelial cells in vivo. T.S. ohn H. Cummings, John L. Rombeau, ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

**171-SALVATI, G.G.S., MORAIS JÚNIOR, N.N. MELO, A.C.S. VILELA, R.R. CARDOSO, F.F. ARONOVICH, M. PEREIRA, R.A.N. and PEREIRA, M.N. (2015).**

Response of lactating cows to live yeast supplementation during summer. *J. Dairy Sci.* 98:4062–4073. doi:10.3168/jds.2014-9215.

**172-SAUVANT, D., GIGER-REVERDIN, S. and SCHMIDELY, P. (2004).** Rumen acidosis: modeling ruminant response to yeast culture. Pages 221–229 in *Proceedings of Alltech's 20th Annual Symposium?* Nottingham University Press, UK.

**173-SCHERER, R. W., LANGENBERG, P. et VON ELM, E. (2007).** Full publication of results initially presented in abstracts. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2.

**174-SCHINGOETHE, D.J., LINKE, K.N. KALSCHEUR, K.F. HIPPEN, A.R. RENNICH D.R., and YOON, I. (2004).** Feed efficiency of mid-lactation dairy cows fed yeast culture during summer. *J. Dairy Sci.* 87:4178–4181. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73561-4.

**175-SCHÜNEMANN, H.J., OXMAN, A.D. VIST, G.E. HIGGINS, J.P.T. DEEKS, J.J. GLASZIOU, P. and GUYATT. G.H. (2008).** Interpreting results and drawing conclusions. Julian PT Higgins and Sally Green, ed. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

**176-SCRIBAN, R. (1988).** *Les Industries Agricoles Alimentaires* Ed. Tec & Doc, 1988.-382p.

**177-SHAVER R. D., AND GARRETT J. E. (1997).** Effect of dietary yeast culture on milk yield, composition, and component yields at commercial dairies. *The Professional Animal Scientist*, 13(4), 204-207.

**178-SHI, W., KNOBLOCK, C.E. YOON, I. and OBA, M. (2019).** Effects of supplementing a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product during the transition period on rumen fermentation of dairy cows fed fresh diets differing in starch content. *J. Dairy Sci.* 102:9943–9955. doi:10.3168/jds.2019-16671.

**179-SHINGFIELD, K.J., BONNET, M. and SCOLLAN, N.D. (2013).** Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal* 7:132–162. doi:10.1017/S1751731112001681.

**180-SHWARTZ, G., RHOADS, M.L. VANBAALE, M.J. RHOADS, R.P. and BAUMGARD, L.H. (2009).** Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92:935–942. doi:10.3168/jds.2008-1496.

**181-SODER, K. J. and HOLDEN, L. A. (1999).** Dry matter intake and milk yield and composition of cows fed yeast prepartum and postpartum. *J. Dairy Sci.* 82, 605–610.

**182-STANG, A. (2010).** Critical evaluation of the Newcastle-Ottawa scale for the assessment of the quality of nonrandomized studies in meta-analyses. *Eur. J. Epidemiol.* 25:603–605. doi:10.1007/s10654-010-9491-z.

**183-STANLEY, T.D., FLORAX, R.J., et DE GROOT, H.L.F. (2003).** « *It's all about power: Differentiating genuine empirical significance from the artifact of publication bias* », Discussion Paper 3, Center for Entrepreneurial Studies, Hendrix College.

**184-STERNE, J.A.C., EGGER, M. et SMITH, G.D. (2001).** « Investigating and dealing with publication and other biases in meta-analysis », *British Medical Journal*, Vol. 323, July, pp. 101-105.

**185-SUTTON, A.J., DUVAL, S.J., TWEEDIE, R.L., ABRAMS, K.R. and JONES, D.R. (2000a).** « Empirical assessment of effect of publication bias on meta-analyses », *British Medical Journal*, 320:1574-1577.

**186-SUTTON, A.J., SONG, F. GILBODY, S. M. et ABRAMS, K. R. (2000b).** « Modelling Publication Bias in Meta-Analysis: a review », *Statistical Methods in Medical Research*, 9:421-45.

**187-SWARTZ, D. L., MULLER, L. D. ROGERS, G. W. and VARGA, G. A. (1994).** Effect of yeast cultures on performance of lactating dairy cows: A field-study. *J. Dairy Sci.* 77:3073–3080.

**188-TAKESHIMA, N., TAKASHI, S. ARAN, T. YUSUKE, O. YU, H. and TOSHIKI, A. F. (2014).** Which is more generalizable, powerful and interpretable in meta-analyses, mean difference or standardized mean difference? *BMC Med. Res. Methodol.* 14:30.

**189-TANG, Y. Q., KOIKE, Y., LIU, K., AN, M. Z., MORIMURA, S., WU, X. L., & KIDA, K. (2008).** Ethanol production from kitchen waste using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain KF-7. *Biomass and Bioenergy*, 32(11), 1037-1045.

**190-THANH, D.N. (2016).** Protection de la levure *Saccharomyces cerevisiae* par un système biopolymérique multicouche : effet sur son activité métabolique en réponse aux conditions de l'environnement. *Microbiologie et Parasitologie*. Université de Bourgogne.130p

**191-TORGERSON, C. J. (2006).** Publication bias: The Achilles' heel of systematic reviews? *British Journal of Educational Studies*, 54, 89-102.

**192-TOWNSEND, AA. E., J. P. et al. (2006).** "Population structure and gene evolution in *Saccharomyces cerevisiae*." *FEMS Yeast Research* 6(5) ,702-715.

**193-TRIPATHI, M. K., & KARIM, S. A. (2010).** Effect of individual and mixed live yeast culture feeding on growth performance, nutrient utilization and microbial crude protein synthesis in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 155(2-4), 163-171.

**194-UYENO, Y., AKIYAMA, K., HASUNUMA, T., YAMAMOTO, H., YOKOKAWA, T. YAMAGUCHI, K. KAWASHIMA, M. ITOH, S. KUSHIBIKI, and HIRAKO. M. H. (2016).** Effects of supplementing an active dry yeast product on rumen microbial community composition and on subsequent rumen fermentation of lactating cows in the mid-to-late lactation period. *Anim. Sci. J.* 88:119–124. doi:10.1111/asj.12612.

**195-VANEETA, K., UMESH, K., VIJAY, K.S., SUDARSHAN, S. (1998).** Mode of action of yeast culture (YEASACC 1026) for stimulation of rumen fermentation in buffalo calves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77, 407-413.

**196-VIECHTBAUER, W., and CHEUNG, M.W.L. (2010).** Outlier and influence diagnostics for meta-analysis. *Res. Synth. Methods* 1:112–125. doi:10.1002/jrsm.11.

**197-VLADESCU, B. (1994).** La levure dans les industries alimentaires Ed. Tec & Doc, Lavoisier.-56p.

**198-VÖLCKNER, F. et HOFMANN, J. (2007).** The price-perceived quality relationship: a meta-analytic review and assessment of its determinants, *Marketing Letters*, 18, 3, 181-196. Press.

**199-WALLACE, R.J. and NEWBOLD. C.J. (2007).** Microbial feed additives for ruminants. R.J.W.A. Chesson, ed. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Federal Republic of Germany.

**200-WALLACE, R. J. and NEWOLD, C. J. (1993).** Rumen fermentation and its application: the development of yeast cultures as feed additives. *In: Alltech Technical Publications. Biotechnology in the Feed Industry.* Nicholasville, Kentucky, U.S.A. Edited by LYONS T. P, 173-192.

- 201-WALLONIE ELEVAGES, (2011).**Intérêt des levures vivantes chez les ruminants. n°6.  
<https://www.awenet.be/awe/userfiles/file/we/articles/PDF%20158%2006%202011.pdf>
- 202-WEIDMEIER, R.D.M., ARAMBEL, J. and WALTERS, J.L. (1987).** Effect the yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on ruminal characteristics and nutrient digestibility. J. Dairy Sci. 70, 2063-2068.
- 203-WELLMAN, N.G., and O’CONNOR, A.M. (2007).** Meta-analysis of treatment of cattle with bovine respiratory disease with tulathromycin. J. Vet. Pharmacol. Ther. 30:234–241. doi:10.1111/j.1365-2885.2007.00846.x.
- 204-WERNER-WASHBURNE, W. M., E. BRAUN, et al. (1993).**"Stationary phase in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*." Microbiological Reviews 57(2), 383-401p.
- 205-WHITE, R. A., HARRISON, J. H., YOON, I., SANCHEZ, W. K., & NICHOLSON, N. (2008).** Effect of yeast culture on efficiency of nutrient utilization for milk production and impact on fiber digestibility and fecal particle size. The Professional Animal Scientist, 24(2), 114-119.
- 206-WILLIAMS, P. E. V. and NEWBOLD, C. J. (1990).** Rumen Probiosis: The effects of novel microorganisms on rumen fermentation and ruminant productivity. *In: Recent Advances in Animal Nutrition*, [DJA Cole and W Haresign]. Butterworths, London, UK, p. 211-227
- 207-WOHLT, J.E., FINKELSTEIN, A.D. and CHUNG. C.H. (1991).** Yeast Culture to Improve Intake, Nutrient Digestibility, and Performance by Dairy Cattle During Early Lactation. J. Dairy Sci. 74:1395–1400. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78294-5.
- 208-WOLF, F.M. (1986).** *Meta-analysis: quantitative methods for research synthesis*, Sage University Paper, 59.
- 209-YOON, I. K. and STERN, M. D. (1996).** Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* cultures on ruminal fermentation in dairy cows. J. Dairy Sci. 79: 411–417.
- 210-YUAN, K., LIANG, T. MUCKEY, M.B. MENDONÇA, L.G.D. HULBERT, L.E. ELROD, C.C. and BRADFORD, B.J. (2015).** Yeast product supplementation modulated feeding behavior and metabolism in transition dairy cows. J. Dairy Sci. 98:532–540. doi:10.3168/jds.2014-8468.

**211-ZAWORSKI, E. M., SHRIVER-MUNSCH, C. M., FADDEN, N. A., SANCHEZ, W. K., YOON, I., & BOBE, G. (2014).** Effects of feeding various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows. *Journal of dairy science*, 97(5), 3081-3098.

**212-ZHU, W., ZHANG, B.X. YAO, K.Y. YOON, I. CHUNG, Y.H. WANG, J.K. and LIU, J.X. (2016).** Effects of supplemental levels of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on lactation performance in dairy cows under heat stress. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 29:801–806. doi:10.5713/ajas.15.0440.



## Résumé

### Effet de l'alimentation avec des produits à base de levure sur les performances de production laitières chez les vaches laitières : méta-analyse et méta-régression à plusieurs niveaux.

Afin de donner un aperçu de la manière par laquelle l'alimentation avec des produits à base de levure (PBL) disponibles dans le marché améliore la production laitière (PL) chez des vaches en lactation, une méta-analyse et une méta-régression à plusieurs niveaux ont été effectuées sur 99 essais différents à travers 49 études publiées dans des revues à comité de lecture. Les effets ont été comparés en utilisant des modèles à effet aléatoires ou à effet fixe pour examiner la différence de moyenne (DM) et la différence de moyenne standardisée (DMS) entre les produits à base de levure (PBL) et les traitements témoins. La supplémentation en PBL augmente la PL (+ 0,69 kg / j) et avait tendance à augmenter la teneur en matières grasses du lait (+ 0,06%), le rendement en matières grasses laitières (+ 0,04 kg / j) et le rendement en protéines du lait (+ 0,02 kg / j) mais n'avait aucune influence sur la teneur en protéines du lait et la matière sèche ingérée (MSI). L'effet de la supplémentation en PBL sur PL semble inefficace chez les vaches primipares ( $p = 0,254$ ), pendant la lactation non précoce (c.-à-d. mi et tardive) et chez les vaches nourries avec un régime pauvre en fibres détergentes neutres (FDN) ( $p = 0,068$ ). L'amélioration de l'alimentation des PBL de PL était bien meilleure lorsque les vaches étaient supplémentées avant le vêlage (+ 0,79 kg / j) par rapport à celles supplémentées après le vêlage et lorsque les vaches étaient nourries à faible teneur en FDA (+ 0,34 kg / j) par rapport à celles nourries à haute régimes de FDA. De plus, l'effet positif de la supplémentation en PBL sur le PL observée avec des régimes à faible teneur en FDA pourrait être amélioré (+ 1,34 kg / j) si les vaches étaient nourries avec un régime à haute teneur en amidon.

Dans les analyses multivariées, les effets combinés du traitement étaient de 0,28 (IC à 95%: 0,15-0,41; <0,0001) et de 0,03 (IC à 95%: -0,12-0,17 ;  $p = 0,712$ ), pour PL et MSI respectivement. Ce résultat démontre clairement que l'augmentation de la production laitière observée chez les vaches ayant reçu un supplément n'est pas due à une augmentation de la MSI.

**Mots-clés :** Production laitière, Méta-analyse, Vaches laitières, Produits à base de levure

## ملخص

**تأثير تغذية المنتجات القائمة على الخميرة على أداء إنتاج حليب الأبقار: التحليل التلوي والانحدار التلوي على عدة مستويات.**  
من أجل تقديم نظرة عامة حول كيفية تحسين إنتاج حليب (إ ح) الأبقار الحلوب عن طريق التغذية بالمنتجات القائمة على الخميرة (م ق خ) المتوفرة في السوق، تم إجراء تحليل تلوي وانحدار تلوي في مستويات متعددة على 99 تجربة مختلفة عبر 49 دراسة نشرت في المجالات التي راجعها النظراء. تمت مقارنة التأثيرات باستخدام نماذج التأثير العشوائي أو التأثير الثابت لفحص الفرق في المعدل (ف م) والفرق في المعدل القياسي (ف م ق) بين منتجات الخميرة (م ق خ) ومعالجات التحكم. أدت مكملات (م ق خ) إلى زيادة إنتاج الحليب (+ 0.69 كغ/يوم) وتميل إلى زيادة محتوى دهن الحليب (+ 0.06%)، وإنتاج دهن الحليب (+ 0.04 كغ / يوم) وإنتاج بروتين الحليب (+ 0.02 كغ / يوم) ولكن لم يكن هناك تأثير على محتوى بروتين الحليب والمادة الجافة المبتلعة (م ج م). يبدو أن تأثير مكملات (م ق خ) على (إ ح) غير فعال في الأبقار البدائية (ع=0.254). خلال فترة الرضاعة غير المبكرة (أي في منتصف أو متأخر) وفي الأبقار التي تتغذى على نظام غذائي منخفض ألياف المنضفات المحايدة (أ م م) (ع=0.068). كان التحسن في تغذية تتغذى ب(م ق خ) على (إ ح) أفضل بكثير عندما تمت إضافتها للأبقار قبل الولادة (+ 0.79 كغ / يوم) مقارنة بتلك التي أضيفت لها بعد الولادة وعندما الأبقار على نظام غذائي منخفض (أ م م) (+ 0.34 كغ/يوم) مقارنة مع تلك التي تتغذى بشكل مرتفع حمية (أ م م) بالإضافة إلى ذلك يمكن تحسين التأثير الإيجابي لمكملات (م ق خ) الذي لوحظ مع الأنظمة الغذائية منخفضة (أ م م) (+ 1.34 كغ/يوم) إذا كانت الأبقار تتغذى على نسبة عالية من النشا. في التحليلات متعددة المتغيرات، كانت التأثيرات المجمعة للمعالجة 0.28 (م ث عند 95%: 0.15-0.41) ؛ >0.0001) و 0.03 (م ث عند 95%: -0.12-0.17) ؛ ع=0.712) ل(إ ح) و (م ج م) على التوالي. توفر هذه النتيجة دليلاً قوياً على أن زيادة إنتاج الحليب الملحوظ في الأبقار المكملة ليس نتيجة لزيادة (م ج م).

**الكلمات المفتاحية:** إنتاج الحليب، التحليل التلوي، أبقار حلوب، منتجات الخميرة

## Abstract

### Multilevel meta-analysis and meta-regression of the effects of yeast products feeding on milk production of lactating dairy cows

To provide an overview of how commercially available yeast products (YP) feeding improve milk yield (MY) in lactating dairy cows, multilevel meta-analysis and meta-regression were performed on 99 different trials across 49 peer-reviewed studies. The effects were compared by using random or fixe-effect models to examine the mean difference (MD) and standardized mean difference (SMD) between Yeast products (YP) and control treatments. YP supplementation increased milk yield (+ 0.69 kg/d), and tended to increase milk fat content (+ 0.06 %), milk fat yield (+ 0.04 kg/d) and milk protein yield (+ 0.02 kg/d) but had no influence on milk protein content and DMI. The effect YP supplementation on MY seems to be ineffective in primiparous cows ( $p=0.254$ ), during not early lactation (mid and late) and in cows fed a low neuter detergent fiber (NDF) diets ( $p=0.068$ ). The improvement of YP feeding on MY was much better when cows were supplemented before calving (+ 0.79 kg/d) compared with those supplemented after calving and when cows fed low-ADF diets (+ 0.34 kg/d) compared with those fed high-ADF diets. Moreover, The positive effect of YP supplementation on MY observed with low-ADF diets could be improved (+ 1.34 kg/d) if cows fed high-starch.

In multivariate analyses, the pooled effects of treatment were 0.28 (95%CI: 0.15-0.41; <0.0001), and 0.03 (95%CI: -0.12-0.17;  $p=0.712$ ), for MY and DMI respectively. This finding provides strong evidence that that greater milk production observed in supplemented cows is not a result of increased DMI.

**keywords:** Dairy production, Meta-analyse, Dairy cows, Yeast products.