

Antimicrobial activities of *Aloe barbadensis* Miller leaves and their effects on lactic acid bacteria behavior

Activités antimicrobiennes des feuilles de l'*Aloe barbadensis* Miller et leurs effets sur le comportement des bactéries lactiques

O. BEN MOUSSA ^{1*}, I. MAHOUACHI ¹, I. DAMMAK ¹, M. BOULARES ¹, I. MAHMOUDI ¹, M. HASSOUNA ¹

¹Unité de recherche 'Bio-conservation et valorisation des Produits Agro-alimentaires UR13AGR02 – Ecole Supérieure des Industries Alimentaires de Tunis-Université de Carthage-

*Corresponding author: olfajamel@yahoo.fr

Abstract – In the present study, antibacterial activity of *Aloe vera* gel or peel extracts were tested against commons foodborne pathogens. Ethanolic peel extract and raw gel were the most effective, against *Staphylococcus aureus*. However, antifungal activity was obtained only for ethanolic extracts. Cell damage test affirms these findings. Furthermore, different concentrations of *Aloe vera* gel (0%, 5%, 15%, 25%, 50% and 100%) incorporated into the growth media of technological and probiotic lactic acid bacteria were tested to observe the effect on growth and activities of these bacteria. From the obtained results, it could be clearly advocated that lactic acid bacteria behavior depend on strains, and that 15% of *Aloe vera* gel could promote the growth and activities of mix starter (M2) and probiotic strain (S1).

Keywords: *Aloe vera*, antimicrobial activity, lactic acid bacteria

Resumé – Les activités antibactériennes de différents extraits du gel et de l'écorce de la feuille de l'*Aloe barbadensis* Miller, sont évaluées. Les pouvoirs inhibiteurs des extraits éthanoliques de l'écorce et du gel, contre *Staphylococcus aureus*, sont les plus élevés. Uniquement ces extraits éthanoliques ont révélé une activité antifongique vis-à-vis d'*Aspergillus niger*. Le comportement des bactéries lactiques technologiques et probiotiques en présence de différentes concentrations du gel (0%, 5%, 15%, 25%, 50% et 100%), a montré que la souche probiotique, *L. fermentum* (S1) et le ferment mixte M2, sont les cultures des bactéries lactiques dont la croissance et l'activité sont stimulées par le gel d'*Aloe vera*, particulièrement à la dose de 15%.

Mots clés: *Aloe vera*, activité antimicrobienne, bactéries lactiques

1. Introduction

La science nutritionnelle a évolué d'une approche préventive des déficiences alimentaires, vers la promotion du rôle de l'alimentation, dans le maintien de la santé, du bien être et/ou la réduction du risque de maladies. Ainsi, une nouvelle catégorie d'aliments a apparu, il s'agit des aliments fonctionnels, qui exercent un effet sur une fonction de l'organisme dans un sens favorable à la santé (Multon et al. 2013). Pour répondre à cette nouvelle tendance, l'industrie alimentaire a fait appel à des ingrédients caractérisés par leurs capacités à exercer des effets positifs sur la santé du consommateur, tels que les probiotiques et les prébiotiques (Cruz et al. 2013; Ben Moussa et al. 2019). Dans ce contexte, plusieurs plantes médicinales ou des préparations à base de plantes ont reçu une attention considérable, grâce à leurs effets bénéfiques sur la santé (Sofowora, 2010). Parmi toutes ces plantes médicinales utilisées, l'*Aloe vera*, est considérée comme la plante la plus puissante, en raison de ses



propriétés thérapeutiques et fonctionnelles. En effet, des études ont montré qu'elle possède des activités anti-inflammatoires, antioxydantes, immunostimulantes, antidiabétiques, pour améliorer la digestion, pour soigner les ulcères et même le cancer (Alemdar et Agaoglu, 2009; Jasso et al.2005).

L'*Aloe barbadensis* Miller est considérée l'espèce la plus biologiquement active (Bozzi et al. 2007), grâce au gel extrait de la feuille. Ce dernier est doté de pouvoirs antimicrobiens (Anitha et al. 2016). En revanche, peu d'études ont traité l'écorce de la feuille de l'*Aloe vera*. Par ailleurs, l'extraction des composés actifs, en utilisant plusieurs solvants organiques, pourraient promouvoir les activités biologiques de l'*Aloevera*.

Dans cette même optique, les laits fermentés sont souvent reconnus en tant qu'aliments fonctionnels grâce à leurs richesses en bactéries lactiques industrielles ou probiotiques. Ils sont devenus une stratégie marketing pour les industries laitières qui les utilisent en tant que matrice permettant de véhiculer d'autres ingrédients fonctionnels.

Ainsi, le présent travail vise à (i) étudier les activités antimicrobiennes de différents extraits du gel de l'*Aloe vera* et de l'écorce; (ii) étudier le comportement de bactéries lactiques industrielles ou probiotiques en présence du gel de l'*Aloevera*.

2. Matériel et Méthodes

Les feuilles d'*Aloe vera* de l'espèce *barbadensis* Millers ont fournies par l'entreprise « Aloé méditerranée », sise à Sousse.

2.1. Extraction du gel d'*Aloe vera* et récupération des écorces

L'extraction du gel est réalisée selon la méthode décrite par Ramachandra et Rao (2008). Le gel blanchâtre et translucide obtenu est directement utilisé ou conservé au congélateur. Les écorces des feuilles sont récupérées et séchées à l'étuve à 80°C pendant deux jours (Arunkumar et Muthuselvan, 2009)

2.2. Préparation des extraits d'*Aloe vera*

Les solvants testés sont: le dichlorométhane, le chloroforme, l'eau distillée, l'éthanol et le méthanol. Les extraits sont obtenus à partir de 50g de gel ou de 10g d'écorce séchés selon le protocole décrit par Joshua et al.(2010).

2.3. Mesure de l'activité antimicrobienne

2.3.1. Méthode de diffusion

L'activité antimicrobienne des différents extraits est testée en utilisant la méthode de diffusion sur disque en papier filtre stérilisé (Valgas et al. 2007). Les souches indicatrices utilisées sont : *Staphylococcus aureus* (ATCC25923), *Pseudo monas aeruginosa* (P27853), *Escherichia coli* (4K12) et *Aspergillus Niger* (CERTE, Borj Cedria Tunisie). 100µL de chaque culture jeune des souches indicatrices, sont inoculées dans la gélose nutritive, ensuite les disques sont placés. Ces derniers seront imbibés par chacun des extraits à raison de 100 µL. L'incubation est effectuée pendant 18h à 24h à. L'activité antimicrobienne est classée selon le diamètre des halos d'inhibition obtenus : pas d'activités (-) pour les diamètres moins de 8mm ; activité moyenne (+) pour les diamètres de 9 à 14mm ; très sensible (++) pour des diamètres de 15 à 19mm et extrêmement sensible (+++) pour les diamètres plus de 20mm (Ponce et al. 2003).

2.3.2. Estimation du dommage cellulaire

Une culture jeune de chacune des souches indicatrices, précédemment cités, est centrifugée à 10000 tours/min pendant 15 minutes à 4°C. Le culot est lavé deux fois avec un tampon phosphate (20 nM, pH 7). Pour vérifier la quantité des cellules endommagées causées par les extraits aqueux et éthanolique des écorces d'*Aloe vera*. 100 µL de la suspension bactérienne ont été incubées avec 100 µL d'extrait d'écorce d'*Aloe vera*. Le mélange est incubé à 37°C pendant 30 minutes, les absorbances à 260 nm et 280 nm avant et après incubation sont mesurées (Dua et al. 2013).

2.4. Mesure de l'effet de la teneur en gel d'*Aloe vera* sur les ferments lactiques technologiques et probiotiques

Les ferments lactiques utilisés sont : DSM YS 131 et YF 812 (Charles Hansen) destinés à la fabrication du yaourt (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), BIF6 (DSM), une

souche probiotique commerciale *Bifidobacterium lactis*, et deux souches de *Lactobacillus fermentum* probiotiques, isolées à partir du lait camelin au sein de l'UR 13AGR02 (Mahmoudi et al. 2016). Chacune des cultures jeunes de bactérie lactique est inoculée à raison de 1% dans un volume total de 50 mL de bouillon MRS. Ce dernier est préparé avec le gel d'*Aloe vera* à raison de (0%, 5%, 15%, 25%, 50%, 100%). Enfin, les bouillons sont incubés à 37°C pendant 24h et 48h. Les mesures du pH, de l'acidité titrable (AOAC, 1990) et le dénombrement des bactéries lactiques (APHA, 2001) sont effectuées à 0h, 24h et 48h.

2.5. Analyses statistiques

Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée à fin d'étudier les effets des différents extraits. Le logiciel utilisé est IBM SPSS Statistics version 2.0. Tous les seuils de significations ont été basés sur une probabilité de 5%. L'analyse multivariée en composantes principales (ACP) des bactéries lactiques inoculées en présence de différentes concentrations de gel, est réalisée en utilisant le logiciel XLstat version 2018.1.

3. Résultats et Discussion

3.1 Evaluation de l'activité antimicrobienne d'*Aloe barbadensis* Miller

3.1.1. Méthode de diffusion

Les diamètres des zones d'inhibitions diffèrent d'une souche bactérienne à une autre et d'un extrait à un autre (Figure 1, Tableau 1). *Staphylococcus aureus* est la souche la plus sensible aux différents extraits, suivie par *Pseudomonas aeruginosa* et *Aspergillus niger*. Enfin, l'inhibition d'*E. coli* n'est pas significative (diamètre du halot clair maximale est 7 mm ± 0.27). Ces résultats sont en accord avec les constatations d'Agarry et al. (2005); et elles pourraient être dus à la composition membranaire des bactéries Gram négatifs. En effet, ces dernières possèdent une membrane qui présente une perméabilité sélective; la surface des lipopolysaccharides contient des charges négatives, qui empêchent la diffusion des molécules hydrophobes, et des porines qui bloquent le passage des molécules à haut poids moléculaire (Garrett et Grisham, 2000; Nikaido, 2003). Par ailleurs, l'extrait éthanolique du gel possède l'activité antimicrobienne la plus intense (3+). Ces résultats vont de pair avec ceux de Thirupathi et al. (2010) qui ont trouvé des pouvoirs inhibiteurs élevés en utilisant ce même type d'extrait. Ceci pourrait être expliqué par sa richesse en molécules bioactives, il en contient 26 selon l'analyse GC-MS réalisée dans l'étude d'Arunkumar et Muthuselvan (2009). Concernant, l'activité antifongique contre *Aspergillus niger*, elle n'est perçue qu'en présence des extraits éthanoliques du gel ou de l'écorce.

Tableau 1: Activités inhibitrices des extraits du gel ou de l'écorce d'*Aloe vera barbadensis* Miller vis-à-vis des micro-organismes indicateurs

Solvants		<i>E.coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>A. niger</i>	Σ (+)
Extraits du gel	Méthanol	-	-	-	-	0
	Ethanol	-	+	+	+	3
	Eau distillée	-	-	-	-	0
	Dichlorométhane	-	-	+	-	1
	Chloroforme	-	-	-	-	0
	Gel brut	-	+	+	-	2
	Méthanol	-	-	-	-	0
Extraits de l'écorce	Ethanol	-	-	-	+	1
	Eau distillée	-	-	+	-	1
	Dichlorométhane	-	-	-	-	0
	Chloroforme	-	+	+	-	2

Non sensible (-) pour les diamètres moins de 8mm ; Sensible (+) pour les diamètres de 8 à 14mm (Ponce et al., 2003).



Figure 1: Exemples d'halos d'inhibitions d'extraits éthanoliques d'*Aloe verabarbadensis* Miller vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*(ATCC25923)

3.1.2. Estimation du dommage cellulaire des souches indicatrices

L'estimation du dommage cellulaire a été évaluée en présence des extraits aqueux et éthanolique des écorces de l'*Aloe vera* (Tableau 2), en mesurant l'augmentation de la densité optique des suspensions microbiennes à 260 et 280 nm. ΔDO les plus élevés sont obtenus en présence de l'extrait éthanolique, particulièrement contre *Staphylococcus aureus*. Ces données affirment les constatations obtenues par la méthode de diffusion précédemment discutées. En revanche, ΔDO des cultures d'*E. coli* suggère une activité antibactérienne des deux types d'extraits vis-à-vis de cette souche. Par ailleurs, l'augmentation des densités optiques obtenues à 280 nm sont supérieures à celles mesurées à 260 nm. Ce résultat induit une action bactériostatique des extraits des écorces sur cette souche (de même pour *P. aeruginosa*), puisque la DO à 280nm informe sur la concentration en protéines, et celle à 260 nm, sur la quantité d'acides nucléiques dans la suspension. Il est à noter que dans la majorité des situations les pouvoirs antibactériens de l'extrait éthanolique sont plus élevés que celui de l'extrait aqueux. Concernant, les dommages cellulaires obtenus pour *Aspergillus niger*, ils sont faibles, conformément aux résultats de la méthode de diffusion.

Tableau 2: Evaluation des dommages cellulaires par mesure de ΔDO à 260nm et 280nm des souches indicatrices en présence des différents extraits de l'écorce d'*Aloe vera*

Souches indicatrices		Extrait aqueux	Extrait éthanolique
<i>E.coli</i>	ΔDO_{280}	0,552±0.05	0,551± 0.014
	ΔDO_{260}	0,401± 0.12	0,489± 0.021
<i>S. aureus</i>	ΔDO_{280}	0,554± 0.01	0,694± 0.018
	ΔDO_{260}	0,640± 0.012	0,740± 0.012
<i>P. aeruginosa</i>	ΔDO_{280}	0,508± 0.012	0,564± 0.018
	ΔDO_{260}	0,354± 0.02	0,223± 0.015
<i>A. niger</i>	ΔDO_{280}	0,031± 0.012	0,284 ± 0.016
	ΔDO_{260}	0,226± 0.022	0,440 ± 0.013

3.2. Etude de l'effet du gel de l'*Aloe vera* sur les bactéries lactiques

Les valeurs du pH (Tableau 3), des cultures jeunes des bactéries lactiques du yaourt ou probiotiques incubées pendant 24 et 48h dans un bouillon MRS, enrichi par le gel de l'*Aloe vera* (à raison de 0, 5, 15, 25, 50 et 100%), diminuent considérablement au cours des premières 24h (ΔpH de 1,5 à 2 lorsque la dose d'*Aloe vera* ajoutée varie de 0 à 50%). Cela est dû à la capacité des bactéries lactiques à diminuer le pH de l'environnement en produisant des acides organiques. Cependant, à l'exception de la souche de *Bifidobacterium lactis*, et en présence de la dose 100% d'*Aloe vera*, ΔpH est nettement plus faible (0,24 à 0,6). Ce même profil est observé pour les valeurs d'acidité. En revanche, après 48h d'incubation, les baisses du pH ne sont pas significatives ($P < 0,05$). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Nagpal et al. (2012), qui ont montré que la variation du pH et de l'acidité du milieu enrichi par le gel d'*Aloe vera* et en présence de *L. plantarum* ou *L. acidophilus*, sont nettement plus importantes après 24h qu'au bout de 48h. Ainsi, l'activité acidifiante des ferments mixtes ou en culture simple est maximale au cours des premières 24 h d'incubation.

Tableau 3: pH, Acidité et dénombrement des bactéries lactiques en présence de différentes doses en gel d'*Aloe vera*

Souche de bactéries lactiques	Dose du gel (%)	pH			Acidité			log UFC/ml		
		0h	24h	48h	0h	24h	48h	0h	24h	48h
Ferment mixte DSM YS 131(M1)	0		4,19	4,14		1,18	1,77		12,00	9,50
	5		4,36	4,26		1,04	1,680		10,89	11,57
	15	6,34	4,20	4,12	0,046	1,24	1,555	10,80	12,51	12,88
	25		4,31	4,26		1,38	1,455		11,92	11,15
	50		4,20	4,06		1,13	1,120		11,44	13,00
Ferment mixte YF 812 (M2)	0		4,66	4,54		1,39	1,32		9,68	9,76
	5		4,75	4,44		1,30	1,27		10,59	11,40
	15	6,28	4,66	4,46	0,059	1,24	1,19	10,93	11,40	11,30
	25		4,49	4,35		1,15	1,11		11,18	11,53
	50		4,56	4,17		1,14	0,96		14,18	11,41
Bifidobactérium lactis (BIF6, DSM) (B)	0		4,47	4,47		1,06	1,775		11,45	8,50
	5		4,69	4,39		0,88	1,7		10,45	12,88
	15	6,35	4,55	4,44	0,64	1,30	1,63	10	7,98	8,40
	25		4,46	4,32		1,19	1,45		7,70	7,33
	50		4,57	4,44		1,12	0,63		9,20	7,48
L. fermentum (S1)	0		4,77	7,35		0,05	0,045		9,21	9,00
	5		4,50	4,53		1,30	1,42		9,08	7,24
	15	6,13	4,54	4,54	0,07	1,13	1,375	7,65	9,15	7,48
	25		4,51	4,51		1,33	1,225		9,24	7,60
	50		4,53	4,52		1,10	1,15		9,35	7,54
L. fermentum (S2)	50		4,56	4,56		1,14	0,81		9,51	7,48
	100		4,87	4,79		0,22	0,21		9,60	6,18
	0		4,66	4,62		1,41	1,37		7,98	7,78
	5		4,66	4,75		0,79	1,155		7,98	8,34
	15	5,94	4,68	4,75	0,071	1,55	0,535	7,66	8,06	6,18
25		4,68	4,74		1,10	0,875		8,13	7,78	
50		4,69	4,58		0,83	0,7		7,54	7,85	
100		5,34	5,39		0,10	0,075		7,70	8,54	

Quant à la croissance bactérienne (Tableau 3), elle augmente considérablement au cours des premières 24h (0,3 à 1,4 unité log UFC/ml). Cependant, entre 24 et 48 h, la variation du nombre de colonies est faible, elle tend à la baisse pour les souches probiotiques *L. fermentum* (S1 et S2), contre une augmentation pour la souche (B) et les ferments industriels mixtes (M1 et M2), au niveau des doses de 5 à 25% de gel d'*Aloe vera*. En effet, le gel d'*Aloe vera* est riche en polysaccharides : cellulose, glucose, mannose, L-rhamnose, aldopentose ; ces hydrates de carbones sont utilisés par plusieurs souches de bactéries lactiques, tel que *L.fermentum*, *L.acidophilus* en tantque prébiotiques ; par contre, la croissance bactérienne d'autres souches comme *L. helveticus* pourrait être inhibée dans les mêmes conditions (Al-Madboly et al. 2017;Nagpal et al. 2012).

L'effet prébiotique du gel de l'*Aloe vera* sur la croissance bactérienne et/ou l'activité acidifiante n'est pas régulièrement aperçu dans les résultats obtenus. Ceci pourrait être expliqué par l'utilisation de certaines bactéries lactiques l'acemanane et le glucomannane de l'*Aloe vera*. Ce métabolisme est à l'origine de la stimulation de la production de substances antimicrobiennes, telle que des acides organiques à courtes chaînes, capables d'inhiber ces mêmes bactéries (Contreras-Pinzon et al.2007).Ce phénomène pourrait camoufler en partie le rôle prébiotique du gel de l'*Aloe vera* sur les bactéries lactiques.

La matrice de corrélation des paramètres étudiés (Tableau 4) est en accord avec les constatations précédentes. En effet, les valeurs d'acidité et de pH, après 24 et 48h corrélaient significativement entre elles : R varie de 0,69 et 0,81. De plus, entre le pH et l'acidité, R est comprise entre -0,71 et -0,68. Par contre, les valeurs de dénombrement ne corrélaient ni avec le pH ni avec l'acidité, puisque les valeurs de R sont faibles (de -0,1 à 0,1).

Tableau 4: Coefficients de corrélations linéaires simples obtenues entre pH, acidité, et nombres de bactéries lactiques (log CFU/ml) après 24 et 48h d'incubation

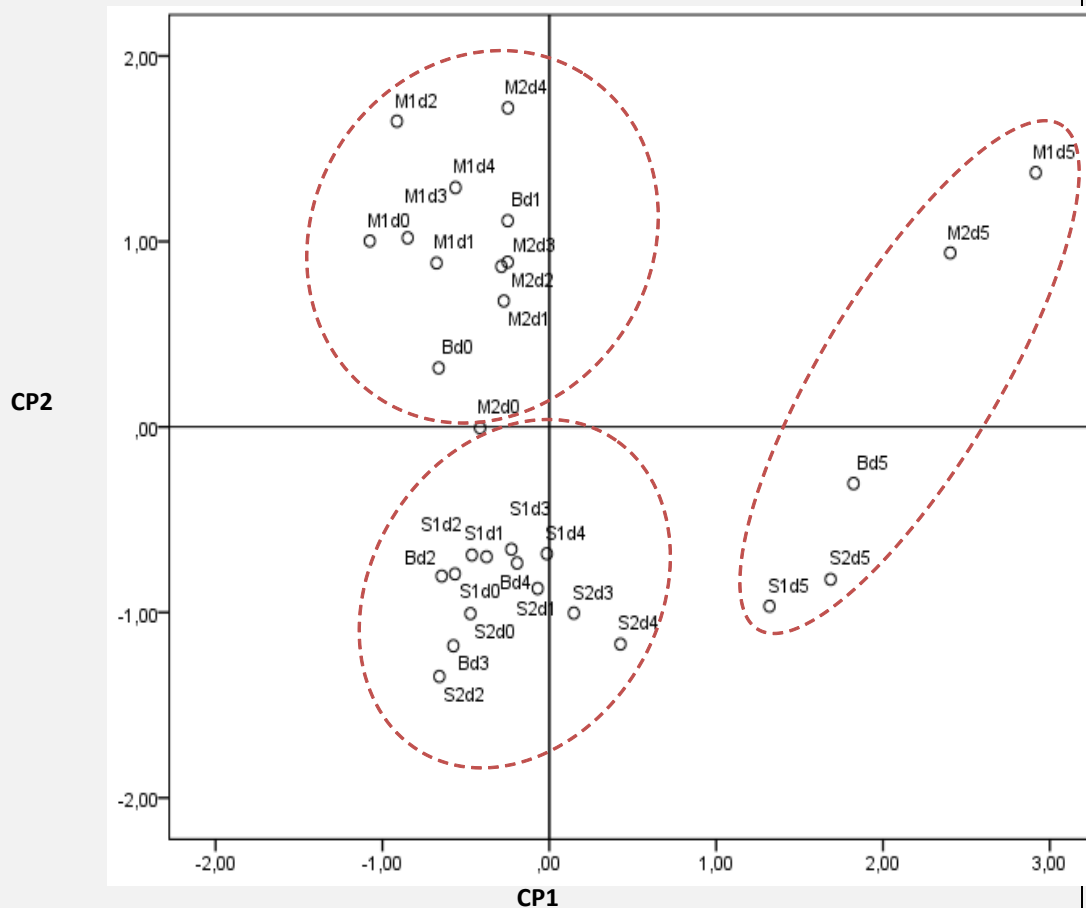
	pH (24h)	pH (48h)	log UFC /ml (24h)	log UFC/ml (48h)	Acidité (24h)	Acidité (48h)
pH (24h)	1,000	0,816	-0,144	0,129	-0,716	-0,611
pH (48h)	0,816	1,000	-0,097	0,108	-0,684	-0,641
log UFC/ml (24h)	-0,144	-0,097	1,000	0,706	0,047	0,133
log UFC/ml (48h)	0,129	0,108	0,706	1,000	-0,107	0,087
Acidité (24h)	-0,716	-0,684	0,047	-0,107	1,000	0,697
Acidité (48h)	-0,611	-0,641	0,133	0,087	0,697	1,000

L'analyse en composantes principales des données regroupées dans le Tableau 3 a permis de définir deux composantes principales (CP1 et CP2) qui expliquent 80,48% de la variabilité totale. Les coefficients de corrélations linéaires des paramètres analysés, par rapport aux composantes principales, sont calculés et rassemblés dans le Tableau 5. La dispersion de ces données sur la CP1 explique près de 51,76% de l'inertie totale. La CP1 montre une forte corrélation positive avec le pH à 24 et 48h, contre une corrélation négative avec l'acidité (24 ou 48h). Il est à noter que les coordonnées obtenues, pour 24 et 48h sont très proches. Par ailleurs, la CP2 présente une forte corrélation positive avec le nombre d'UFC, exprimé en log(UFC/ml) après 24 ou 48h.

Tableau 5 : Coefficients des coordonnées des paramètres mesurées (pH, acidité et dénombrement) selon les deux composantes (CP1 et CP2)

	Composantes principales	
	CP1	CP2
pH (24h)	0,291	0,017
pH (48h)	0,290	0,024
log UFC/ml (après 24h)	-0,029	0,530
log UFC/ml (après 48h)	0,040	0,541
Acidité (24h)	-0,284	-0,038
Acidité (48h)	-0,265	0,071

La représentation graphique des coefficients des coordonnées des paramètres mesurées selon les deux composantes CP1 et CP2 (Figure 2) permet de répartir les cultures de bactéries lactiques en trois groupes en montrant un effet significatif de la dose 100% d'*Aloe vera*(d5), quelque soit le ferment. Cette dispersion des cultures de bactéries lactiques permet de regrouper aussi (i) les souches en cultures pures, particulièrement *L. fermentum* ; et (ii) les cultures industriels mixtes M1 et M2, qui corrélaient positivement avec le nombre d'UFC/ml. Ces ferments sont composés par les deux espèces : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, utilisées dans l'industrie laitière pour la fabrication du yaourten agissant en synergie entre elles. L'examen de l'évolution du nombre de chacune des deux espèces (Tableau 6), permet de constater que les lactobacilles du ferment M1 sont plus sensibles à l'ajout de l'*Aloe vera*, ($\Delta \log \text{UFC} \approx 2$), que celles du ferment M2, ($\Delta \log \text{UFC} \approx 1$). Toutefois, il est connu que ces souches sont responsables de l'acidification du lait au cours de la fabrication des produits laitiers fermentés. En ce qui concerne *Streptococcus thermophilus*, sa croissance est réduite dans le cas de M1, contre une augmentation dans le cas de M2. Ces deux phénomènes sont progressifs avec l'augmentation de la concentration en gel. Les comportements différents des souches de M1 et M2 en présence du gel de l'*Aloe vera* pourrait être expliqué non seulement à l'effet de ce dernier, mais aussi à la synergie de ces deux espèces entre elles qui amélioreraient leurs résistances. Par conséquent, la souche probiotique, *L. fermentum* (S1) et le ferment mixte M2, sont les cultures de bactéries lactiques les plus adaptées pour une application industrielle en présence de 15% de gel.



Légende: M1d0→M1d4; M2d0→M2d4; Bd0→Bd4; S1d0→S1d4; S2d0→S2d4 : ferments M1, M2, B, S1, S2 aux doses d’*Aloe vera*: 0, 5, 15, 25, 50 et 100%.

Figure 2: Analyses en composante principale des pH, acidité et dénombrement des bactéries lactiques

Tableau 6: Evolution du dénombrement des *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* des deux ferments mixtes M1 et M2 des bouillons MRS enrichis par des différentes concentrations du gel d’*Aloe vera*

Souche de bactéries lactiques	Dose de gel d’ <i>Aloe vera</i> (%)	<i>L. bulgaricus</i> (Log UFC/ml)			<i>S. thermophilus</i> (Log UFC/ml)		
		0h	24h	48h	0h	24h	48h
Ferment mixte DSM (M1)	0		12,47	11,86		13,23	11,90
	5		7,87	13,17		11,19	13,47
	15	10,93	8,87	9,45	10,60	12,81	13,18
	25		8,65	13,30		12,21	13,81
	50		8,29	10,06		11,74	11,60
	100		6,17	13,47		11,20	13,47
Ferment mixte (M2)	0		12,30	11,47		12,88	11,70
	5		9,54	8,95		10,88	11,60
	15	11,32	8,87	7,90	10,44	11,70	8,78
	25		8,57	8,04		11,48	11,70
	50		8,04	10,30		14,48	11,70
	100		2,47	8,78		11,72	11,70

4. Conclusion

Cette étude a montré que les extraits du gel ou de l’écorce de la feuille de l’*Aloe barbadensis* Miller possèdent des activités antimicrobiennes vis-à-vis des microorganismes d’altérations ou pathogènes. Les extraits éthanoliques ont le pouvoir le plus élevé, particulièrement vis-à-vis de *Staphylococcus*

aureus. Cette propriété de l'*Aloe vera* pourrait être exploitée dans les aliments pour améliorer leurs bioconservation. De plus, le gel de l'*Aloe vera* amélioré l'activité et la croissance de certaines bactéries lactiques étudiées. Il s'agit du ferment mixte M2 et de la souche probiotique *L. fermentum* S1. Ainsi, un lait fermenté par ces deux cultures bactériennes et enrichi au gel de l'*Aloe vera* à 15%, pourrait être envisagé. Ce dernier serait un aliment fonctionnel qui ferait bénéficier le consommateur non seulement des bienfaits de l'*Aloe vera*, mais aussi ceux des bactéries lactiques, notamment probiotiques.

5. Références

- Anitha M, Hema priya J, Monisha M, Pavithra G B (2016)** Anti-bacterial activity of aloe vera gel extract. *Inter J InnovAppl Res* 4(1): 10-14.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists (1990)** Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC USA. 15th ed.
- APHA (2001)** Compendium of Methods of the Microbiological Examination of Foods Washington: American Public Health Association, 4th ed.
- Alemdar S, Agaoglu S(2009)** Investigations of in-vitro antimicrobial activity of aloe vera juice. *J Anim Vet Adv* 8(1):99-102.
- Arunkumar S, Muthuselvam M (2009)** Analysis of Phytochemical Constituents and Antimicrobial Activities of *Aloe vera* L. Against Clinical Pathogens. *World J Agri Sci* 5 (5): 572-576
- Agarry O O, Olaleye M T, Bello-Michael C O (2005)** Comparative antimicrobial activities of *aloe vera* gel and leaf. *Afri J Biotech* 4 (12): 1413-1414.
- Al-Madboly L, Kabbash A, El-Aasr M, Yagi A (2017)** Symbiotic effect of Aloe vera juice on the growth of *Lactobacillus fermentum* and *L. helveticus* isolates *in vitro*. *J Gastro Hepato Res* 21:6 (3): 2365-2369.
- Bozzi A, Perrin C, Austin S, Arce Vera F (2007)** Quality and authenticity of commercial Aloe vera gel powders. *Food Chem* 103:22-30.
- Ben Moussa O, Mzoughi M, Chouaibi M, Boulares M, Hassouna M (2019)** The Combined Effect of Phytosterols and Lactulose Supplementation on Yoghurt Quality. *J Food Nutr Res* 7(4): 261-269
- Cruz A G, Castro W F, Faria J A F, Bolini H M A, Celeghini R M S, Raices R S L, Oliveira C A Freitas M Q, Conte Júnior C A and Mársico E T (2013)** Stability of probiotic yogurt added with glucose oxidase in plastic materials with different permeability oxygen rates during the refrigerated storage. *Food Res Inter* 51: 723-728.
- Contreras-Pinzon ME, Dominguez Espinoza RM, Gonzalez Burgos A (2007)** Proceso de biotransformación láctica del jugo de Aloe vera. *Tecnol Cienc y Educ Inst Mex Ing Quim* 22:35-42
- Dua A, Garg G, Mahaja R (2013)** Polyphenols, flavonoids and antimicrobial properties of methanolic extract of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Euro J exper biol.* 3(4). 203-208.
- Garrett RH, Grisham CM (2000)**. *Biochimie*, 2e éd, Paris : DeBoeck Université,: 561-3
- Jasso de R, Hernandez-Castillo D, Rodriguez-Garcia R, Angulo- Sanchez JL (2005)** Antifungal activity in vitro of *Aloe vera* pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Ind Crop Prod* 21: 81-87.
- Joshua M, Ngonidzashe M, Bamusi S (2010)** An evaluation of Antimicrobial activities of *Aloe barbadensis*, *A. chabaudii* and *A. arborescens* Leaf Extracts used in Folklore Veterinary Medicine in Zimbabwe. *J Anim Vet Adv* 923: 2918-2923.
- Multon J L, Temple H, Viruéga J L (2013)** *Traité pratique de droit alimentaire*, Coll. Sciences et techniques agroalimentaires, Tec & Doc Éd. Lavoisier, 1456p.
- Mahmoudi I, Ben Moussa O, Khaldi T M, Kebouchi M, Soligot C, Le Roux Y, Hassouna M (2016)** Functional in vitro screening of *Lactobacillus* strains isolated from Tunisian camel raw milk toward their selection as probiotic. *Small Rum Res*:137 91-98
- Nagpal R, Kaur V, Kumar M, Marotta F (2012)** Effect of *Aloe vera* juice on growth and activities of *Lactobacilli in-vitro*. *Acta Biomed* 83:183-188
- Nikaido H (2003)** Molecular Basis of Bacterial Outer Membrane Permeability Revisited. *Microbiol molcul biol rev* 67 (4): 593-656.
- Ponce AG, Fritz R, del Valle CE, Roura SI (2003)** Antimicrobial activity of essential oils on the

native microflora of organic Swiss chard. LWT 36: 679–684.

Ramachandra C T, Rao S P (2008) Processing of Aloe Vera Leaf Gel: A Review. Am J Agric Biol Sci3(2): 502-510.

Sofowora A (2010) Plantes médicinales et médecine traditionnelle d’Afrique, 1er édition, Nigeria: 99.

Thiruppathi S, Ramasabramanian V, Sirakumar T, Thirumalai A V (2010) Antimicrobial Activity of aloe vera L Burn, F. against pathogenic microorganisms. J BiolSciRes 4:241-258.

Valgas C, de Souza S M, Smânia E FA, Smânia A Jr (2007) Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. Braz J Microbiol 38:369-380.