

SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
I. INTRODUCTION A L'UTILISATION ET A LA PREPARATION DU GLUTAMATE DE SODIUM	3
A. HISTORIQUE	3
1. <i>Origine de l'utilisation des additifs</i>	3
2. <i>Origine de la biotechnologie alimentaire</i>	3
3. <i>Origines de l'utilisation et de la préparation du glutamate de sodium</i>	4
B. PRESENTATION DE LA MOLECULE	4
1. <i>Caractéristiques</i>	4
2. <i>Présence du glutamate de sodium dans les aliments</i>	5
3. <i>Aspects économiques de la production de glutamate de sodium</i>	6
C. NORMES	6
1. <i>En ce qui concerne les additifs</i>	6
a) <i>Au niveau mondial</i>	6
b) <i>Dans l'Union Européenne et en France</i>	7
2. <i>A propos du glutamate de sodium</i>	8
II. PREPARATION DU GLUTAMATE DE SODIUM PAR VOIE BIOTECHNOLOGIQUE	9
A. LE MICROORGANISME PRODUCTEUR DU GLUTAMATE DE SODIUM : CORYNEBACTERIE	9
1. <i>Morphologie</i>	9
2. <i>Physiologie</i>	10
B. MILIEUX DE CULTURE.....	10
1. <i>Type de bioréacteur</i>	10
a) <i>Les procédés de fermentation discontinus</i> :	11
b) <i>Les procédés de fermentation continus</i> :	11
2. <i>La composition du milieu de culture</i>	11
a) <i>La source de carbone</i> :	11
b) <i>La source d'azote</i> :	12
c) <i>Les substrats naturels complexes</i> :	12
d) <i>Acides gras et dérivés</i> :	12
e) <i>Les sels</i> :	12
f) <i>Les oligo-éléments</i> :	12
3. <i>Paramètres physico-chimiques</i>	12
a) <i>Paramètres physiques</i> :	12
b) <i>Paramètres chimiques</i> :	13
c) <i>Paramètres biochimiques</i> :	13
C. BIOREACTIONS	13
1. <i>Optimisation des conditions de culture</i>	13
a) <i>Amélioration de la souche Corynebacterium glutamicum : le biocatalyseur</i>	13
b) <i>Amélioration du procédé</i>	15
2. <i>Procédés employés généralement pour la synthèse et extraction du glutamate, après optimisation des conditions de culture</i>	19
3. <i>Du glutamate au glutamate de sodium</i>	20
III. ROLES SUR LES ALIMENTS	21
A. EXHAUSTEUR DE GOUT	21
B. OBTENTION D'UNE NOUVELLE SAVEUR	22
IV. EFFETS DU GLUTAMATE DE SODIUM	22
A. EFFETS POSITIFS	22
B. EFFETS NEGATIFS	23
C. ALLERGIES ET INTOLERANCE.....	23
CONCLUSION	26
GLOSSAIRE	28
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

Un additif¹ alimentaire est une substance ou un mélange de substances habituellement non consommées comme aliment en soi et non employées comme un ingrédient caractéristique de l'aliment, qu'il ait une valeur nutritionnelle ou non. L'ajout intentionnel de cette substance, dans les aliments, à différents stades de leur élaboration, a pour but d'améliorer la qualité, la protection, la présentation (couleur) ou la conservation. Les produits alimentaires sont soumis à beaucoup de conditions environnementales, tels que les variations de température, l'oxydation et l'exposition bactérienne, qui peuvent modifier leur composition initiale. Les additifs alimentaires jouent un rôle important dans le maintien des qualités et les caractéristiques de l'aliment qui sont indispensables aux consommateurs. En effet, actuellement, la gamme est large et les consommateurs exigent encore plus de variété et de choix, des facilités d'emploi et une certaine sécurité, à des prix accessibles. Pour satisfaire à ces demandes, l'industrie agroalimentaire a connu une expansion de l'utilisation de technologies modernes notamment avec la synthèse de certains additifs issus d'acides aminés. Ainsi, parmi eux, le glutamate de sodium, dérivé de l'acide glutamique, est un additif exhausteur de goût largement produit et présente des caractéristiques propres qu'il est intéressant d'étudier. Tout d'abord, une introduction à son utilisation et à sa préparation, est nécessaire. De plus, le glutamate monosodique a la particularité d'être synthétisé par voie biotechnologique par l'emploi d'un microorganisme. Enfin, il a su s'imposer parmi tant d'autres pour ses qualités gustatives avec, cependant, différents effets qui sont au cœur de débats.

I. Introduction à l'utilisation et à la préparation du glutamate de sodium

A. Historique

1. Origine de l'utilisation des additifs

Bien que l'utilisation des additifs alimentaires semble être moderne, ceux-ci sont employés depuis des siècles. La conservation des aliments a débuté quand l'homme a appris à conserver les récoltes de la moisson sur une longue période et à stabiliser la viande et le poisson avec du sel et de la fumée. Les Egyptiens ont utilisé des colorants et des arômes pour augmenter l'attrait de certains produits alimentaires. De même, les Romains ont eu recours au salpêtre (ou nitrate de potassium), à des épices et à des colorants pour la conservation et l'amélioration de l'apparence des aliments. Depuis toujours, les cuisiniers ont régulièrement employé la levure en tant qu'agent levant, des épaississants pour les sauces et des colorants, pour transformer des matières premières de bonne qualité en des produits alimentaires sûrs, sains et agréables à manger. Ces cinquante dernières années, les développements scientifiques dans l'alimentation et les avancées technologiques ont abouti à la découverte de nouvelles substances qui peuvent remplir de nombreuses fonctions dans des produits alimentaires divers. Ces substances, appelées additifs alimentaires, sont maintenant aisément disponibles.

2. Origine de la biotechnologie alimentaire

La biotechnologie a commencé lorsque l'homme est passé de la chasse et de la cueillette au travail de la terre. Il récolta des plantes sauvages afin de les cultiver et sélectionna les variétés les plus aromatiques et avec des plus grands rendements, pour les semis de la saison suivante. Les animaux furent peu à peu domestiqués pour fournir un apport permanent de viande et de lait. Peu après, la biotechnologie fit un nouveau pas en avant lorsque l'homme découvrit que le processus de maturation des aliments modifiait parfois le goût ou leur consistance ou les rendait moins périssable. C'est ainsi que le levain ajouté à la pâte donna au pain un goût plus agréable, que le jus de raisin fermenté se transforma en vin, et que le lait versé dans ces poches en panse de chameau donna une forme primitive de fromage. Ainsi, la gamme des aliments s'est étendue. De nombreux travaux ont fait évoluer la production alimentaire (la théorie de l'évolution de Charles Darwin, les lois de Gregor Mendel). La découverte par Louis Pasteur que les fermentations alimentaires sont dues à des organismes microscopiques, bactéries, simples moisissures et levures, fut déterminante. De

nos jours de nombreux ingrédients alimentaires sont fabriqués par fermentation industrielle de microorganismes. [4]

3. Origines de l'utilisation et de la préparation du glutamate de sodium

Les asiatiques utilisaient les algues comme le Kombu dans leurs préparations culinaires afin de rehausser le goût des aliments (voir figure 1).



Figure 1 : photographie et représentation de l'algue Kombu [1]

En effet, c'est en 1908, que le professeur japonais Kikunae Ikeda a montré que les propriétés gustatives des algues de la famille des laminaires étaient dues à leur forte teneur en L-glutamate de sodium. Cette découverte a été à l'origine de la fabrication de ce produit, par extraction de protéines végétales, dès le début du siècle.

Depuis 1957, les acides aminés sont produits par des microorganismes : les Corynébactéries. Kinoshita et al., en 1957, suivis de peu par Asahi et al., décrivent des souches productrices d'acide glutamique à partir de glucose et de sels d'ammonium. Cette découverte eut pour conséquence un développement rapide de la production industrielle d'acides aminés par fermentation, en particulier par les firmes japonaises Kyowa Hakko et Ajinomoto. Sur le plan mondial, l'industrie de la production d'acides aminés par fermentation représente une part importante. [2]

B. Présentation de la molécule

1. Caractéristiques

Le glutamate monosodique se présente sous forme de cristaux ou de poudre cristalline blanche. Il est inodore. C'est un sel monosodique de l'acide glutamique monohydraté. On peut obtenir le glutamate par la perte d'un proton H^+ de l'acide glutamique. Le glutamate

existe sous forme libre ou conjuguée mais seul le glutamate dit « libre » est doté de propriétés sapides et contribue à la saveur de l'aliment. [3]

Il a pour formule brute : $C_5H_8NO_4Na \cdot H_2O$ (voir figure 2) et sa masse moléculaire est de 187.13 g/mol.

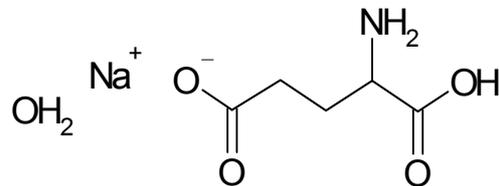


Figure 2 : schéma de la molécule de glutamate de sodium

Ses caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes :

- Il est très soluble dans l'eau
- Il est légèrement soluble dans l'éthanol
- Il est pratiquement insoluble dans l'éther
- Le pH d'une solution saturée est de 6.7-7.2
- Son pouvoir rotatoire² spécifique est : $[\alpha]_D^{20} = + 24.8^\circ$ à $+ 25.3^\circ$ (solution à 10 g dans 100 mL HCl 2N, 589 nm, 20°C)

Le glutamate de sodium est un produit fortement polaire, il aide le relargage des molécules volatiles apolaires hors de l'aliment .

2. Présence du glutamate de sodium dans les aliments

Il est trouvé comme condiment et comme additif entrant dans la composition de nombreux aliments. Il est employé principalement dans les aliments assaisonnés et dans une large variété de produits orientaux :

- les sauces de soja industrielles, les bouillons de bœuf ou de poule comme les *Viandox*
- les potages et les soupes en sachets ou en conserves (annexe 1) ,
- les croustilles, les snacks avec par exemple les *Monsters Munch*, les biscuits secs,
- les plats cuisinés, les préparations toutes faites en général et les aliments congelés,
- la nourriture en conserve, comme les conserves de légumes,
- les charcuteries, les viandes, les volailles,
- le sel de table (jusqu'à 20%),
- les boissons.

Cette substance est naturelle et on la trouve dans les algues, les haricots de soja, le gluten de maïs, de blé et la betterave à sucre. En effet, elle est présente naturellement dans presque tous les aliments en particulier ceux riches en protéines :

- les produits laitiers comme les fromages (parmesan),
- les viandes et les poissons,
- les fruits de mer,
- de nombreux légumes comme les tomates, les oignons, les champignons.

3. Aspects économiques de la production de glutamate de sodium

Le marché de l'acide glutamique (précurseur du glutamate de sodium) est vaste. Les deux tiers de la production mondiale sont destinés à l'alimentation humaine. A l'échelle mondiale, cette molécule a atteint plus de 400 000 tonnes par an, dans les années 90. On comptait, par exemple, en 1993, une production mondiale de 300 000 tonnes dont 25 000 tonnes pour l'Amérique du Nord. Actuellement, environ 1,5 million de tonnes d'acide glutamique est produit par an dont le tiers par le groupe japonais AJINOMOTO (chiffre d'affaire de 8.2 milliards de dollars). En effet, ce groupe est le leader de la production mondiale d'acides aminés par fermentation et il a déposé en premier le brevet de la fabrication du glutamate de sodium. On trouve aussi d'autres fabricants orientaux comme KYOWA HAKKO. D'autres pays produisent du glutamate monosodique. Par exemple, la Thaïlande utilise sa production de fécule de manioc pour obtenir du glutamate.[20] En France, le glutamate de sodium n'est pas produit, il est juste distribué par des entreprises telles que ORSAN, UNIVAR et QUIMDIS. [5]

Le glutamate de sodium s'achète dans tous les magasins de produits asiatiques, par sachet de 400 grammes et coûte environ 3 euros. On le retrouve chez les grossistes par sac de 25 kg, livraison en vrac ou en sac « big bag » de 1000 kg. [6]

C. Normes

1. En ce qui concerne les additifs

a) Au niveau mondial

Seuls sont utilisés, par l'industrie alimentaire, les additifs qui figurent sur les listes positives dressées par les experts. En effet, afin d'étudier, d'analyser et de déterminer la nocivité ou l'innocuité des additifs alimentaires, le comité du Codex Alimentarius³, le comité mixte O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé) / F.A.O. (Food and Agriculture

Organisation) ainsi que l'O.N.U. (Organisation des Nations Unies) réunissent chaque année un comité d'experts, depuis 1956.

Pour chaque additif, des essais sur diverses espèces d'animaux sont réalisés pendant au moins deux ans. Une fois tous les tests passés, la D.J.A. est évaluée. C'est la Dose Journalière Admissible : elle représente la dose d'un produit pouvant être journalièrement ingérée pendant la vie entière d'un individu sans qu'il en résulte un danger pour sa santé. De plus, ils établissent des normes d'identité et de pureté.

Tous les états membres de la F.A.O. et de l'O.M.S. ont été informés des renseignements concernant les additifs reconnus inoffensifs ainsi que de leur D.J.A..

b) Dans l'Union Européenne et en France

Dans le cadre du marché commun, le comité européen de l'alimentation humaine vérifie que l'innocuité est bien assurée d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

En France, le service de la répression des fraudes (Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes) et du contrôle de la qualité s'assure de l'exécution des textes appliquant les directives du marché commun qui réglementent l'utilisation des additifs, puisque dès le début du vingtième siècle, la France a adopté par le décret du 15 avril 1912 le principe dit « des listes positives » pour les substances chimiques pouvant être ajoutées aux aliments.

La liste positive, qui englobe tous les additifs autorisés, est basée sur le principe suivant « tout ce qui n'est pas autorisé est interdit ». Le comité scientifique de l'alimentation humaine de la C.E.E. (Comité Economique Européenne) est le seul à être habilité à proposer ces listes. La liste des additifs et leurs numéros sont indiqués dans la circulaire du 6 août 1979. Ainsi, la lettre E, toujours suivie de trois chiffres, est le symbole d'harmonisation qui atteste que 250 millions d'européens bénéficient de la même réglementation. Les révélateurs de goût sont représentés par les codes allant de E620 à E637. Les absents de la liste communautaire n'ont pas fait l'objet d'une discussion à Bruxelles mais peuvent être autorisés dans l'un ou l'autre des états membres. Actuellement, il est prévu trois types de listes : une sur les produits alimentaires ne pouvant contenir d'additifs, une sur les additifs autorisés dans toutes les denrées alimentaires – sauf celles faisant l'objet de limitations – selon le principe du « *quantum satis* », qui indique qu'aucune quantité maximale n'est spécifiée, et enfin une sur les additifs faisant l'objet d'autorisations par produits et selon des doses d'emploi fixées.

Les directives du Parlement européen et du Conseil en vigueur sont les suivantes :

- Directive 89/107/CEE du 21 décembre 1988 concernant les additifs pouvant être employés dans les denrées destinées à l'alimentation humaine
- Directive 94/35/CE du 30 juin 1994 concernant les édulcorants
- Directive 95/36/CE du 30 juin 1994 concernant les colorants
- Directive 95/2/CE du 20 février 1995 concernant les additifs alimentaires autres que les colorants et les édulcorants.

Seules la première et la dernière sont prises en compte pour le glutamate de sodium.[7-26]

2. A propos du glutamate de sodium

Le glutamate de sodium apparaît sur les étiquettes et textes officiels sous le code E621 (annexe 1). Ses conditions d'utilisation sont strictement réglementées.

Les normes concernant le glutamate de sodium sont relatives à sa définition, à ses spécifications et ses conditions de commercialisation à usage alimentaire.

Premièrement, il ne peut être utilisé dans les denrées alimentaires et les boissons qu'à titre d'exhausteur de goût, substance qui renforce le goût et/ou l'odeur d'une denrée alimentaire. Il est autorisé à condition de n'être employé qu'à la dose strictement nécessaire pour procurer la sapidité recherchée, en se conformant aux usages alimentaires.

Il est autorisé dans toutes les denrées alimentaires en général sauf exceptions (annexe 2) dans la limite de 10g/kg seul ou en mélange. Pour les condiments et assaisonnements, il fait l'objet du « quantum satis ».

Ensuite, il doit être exempt de toute impureté nocive et satisfaire aux critères suivants :

- teneur : pas moins de 99% sur la base du produit anhydre
- perte d'eau lors du séchage : maximum 0.5% (98°C, 5 heures)
- mercure : maximum 1 mg/kg ;
- arsenic : maximum 3 mg/kg ;
- cadmium : maximum 2 mg/kg ;
- chlorures : maximum 0.2%
- métaux lourds : maximum 20 mg/kg
- acide pyrrolidone carboxylique : maximum 0.2%
- plomb : maximum 5 mg/kg.

Enfin, les récipients et emballages doivent porter en caractères apparents les indications du pourcentage en glutamate monosodique, en conformité avec la directive 79/112/CEE. [8-26]

II. Préparation du glutamate de sodium par voie biotechnologique

Etant donné que les acides aminés constituent un groupe de molécules utilisé essentiellement en alimentation tant humaine qu'animale, il existe plusieurs modes de produire des acides aminés. Ces derniers peuvent être obtenus par synthèse chimique, par catalyse enzymatique, par extraction à partir d'une matière première riche en acide aminé recherché c'est-à-dire l'hydrolyse de protéines végétales comme par exemple le gluten de blé ou de maïs, ou encore par culture microbienne par fermentation des hydrates de carbones adéquats. Cette dernière méthode de production est la plus économique lorsqu'il est possible de l'employer c'est-à-dire quand il existe une souche microbienne hyperproductrice de l'acide aminé désiré. Les bactéries appartenant au genre *Corynebacterium* sont les microorganismes les plus souvent utilisés. Parmi les acides aminés produits par l'intermédiaire de microorganismes, un des plus importants en terme de quantité synthétisée, est l'acide glutamique grâce notamment à la souche *Corynebacterium glutamicum*. [21]

A. Le microorganisme producteur du glutamate de sodium : Corynébactérie

Les Corynébactéries appartiennent à l'ordre des Actinomycétales (annexe 3). La condition strictement nécessaire pour qu'un organisme soit classé parmi les Corynébactéries est la présence d'arabinogalactane⁴ et de méso DAP⁵ dans la paroi.

Il existe un grand nombre de souches et certaines présentent un intérêt industriel dont *Corynebacterium glutamicum*.

1. Morphologie

Les Corynébactéries sont des bacilles à gram positif effilés, courts, souvent incurvés et que l'on retrouve en fuseaux plus ou moins longs rangés en palissades ou en lettres de l'alphabet (pléiomorphes⁶) (voir figure 3). Leurs dimensions sont de 0,7 à 1 µm en largeur et de 1 à 3 µm en longueur. On les rencontre le plus souvent par paires. Ce sont des bactéries non sporulantes, immobiles. Elles forment de fines colonies grises ou blanches. [22]

Toutes les bactéries Corynébactéries productrices d'acide glutamique et ayant un contenu en guanine et cytosine (pourcentage de bases G et C de l'ADN) de 53% à 58% sont regroupées au sein de l'espèce *Corynebacterium glutamicum*.

Elles sont rencontrées notamment dans le sol et dans les matières végétales. [9]

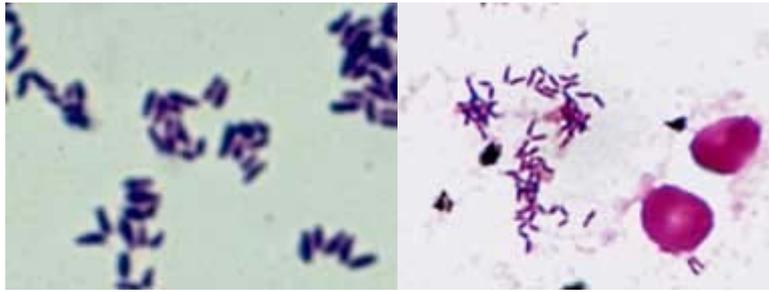


Figure 3 : photographies de Corynébactéries au microscope électronique (x 1000), coloration de gram [25]

2. Physiologie

Ce sont des souches aéro-anaérobies et leur métabolisme est respiratoire ou fermentatif. Elles sont mésophiles. En effet, la température optimale de croissance est comprise entre 25°C et 37°C et leur croissance est faible à 42°C. Leur pH de croissance est entre 6 et 9 avec un optimum entre 7 et 8. Ces bactéries sont chimioorganohétérotrophes⁷⁻⁸, thermosensibles, oxydase –⁹, catalase +¹⁰, nitrate +¹¹, caséinase -¹², indole -¹³, VP -¹⁴ et elles cultivent sur gélose au sang. La biotine est nécessaire à leur croissance . [24]

Les Corynébactéries sont capables d'excréter convenablement, dans le milieu extérieur, les acides aminés basiques et neutres. Par contre, elles n'excrètent pas naturellement les acides aminés dicarboxylique, aspartique et glutamique.

Corynebacterium glutamicum a pour spécificité d'acidifier le saccharose. [9]

B. Milieus de culture

Différents paramètres rentrent en jeu comme le type de réacteur employé, la composition du milieu de culture, les paramètres physico-chimiques (pH, agitation, pression...), le mode de culture (discontinu, semi-continu, continu) ou encore le profil d'alimentation en substrat.

1. Type de bioréacteur

Un bioréacteur (voir figure 4) a pour but d'offrir à des cellules des conditions de croissance optimales et contrôlées afin d'obtenir une production optimale en biomasse ou en métabolite (le glutamate). Il doit remplir différentes fonctions : être un conteneur, pouvoir être stérilisé, permettre l'aération du milieu ainsi que son agitation et afin assurer le contrôle du procédé. Il existe plusieurs procédés de fermentation que l'on classe en deux grands groupes, les procédés continus et les discontinus.

a) Les procédés de fermentation discontinus :

Une grande partie est parfois même la totalité des composants d'un milieu sont en présence des micro-organismes, dès le début des opérations de fabrication. Il est possible de différencier les installations en fonction de la présence d'apport ou d'élimination de substances en cours de fermentation : BATCH FED, FED BATCH, FED BATCH avec recyclisation.

b) Les procédés de fermentation continus :

La croissance est maintenue à un niveau constant. Le contrôle de la croissance se fait par addition régulière de nutriments et élimination en parallèle d'une partie des cellules, des déchets et des produits. Il existe deux techniques : le TURBIDOSTAT et le CHEMOSTAT.[14]

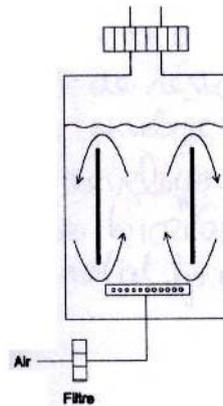


Figure 4 : Schéma d'un réacteur en mode discontinu[25]

2. La composition du milieu de culture

Quand une souche a été sélectionnée, elle doit être cultivée dans des conditions permettant une productivité maximale en métabolite ou en biomasse. Cet objectif est atteint, en agissant sur : la composition du milieu, le pH, la température, l'aération et la présence de divers additifs.

Il doit apporter aux micro-organismes les molécules nécessaires pour la production d'énergie, l'augmentation de la biomasse et la synthèse de métabolites.

a) La source de carbone :

Elle constitue la source d'énergie des cellules et intervient dans la synthèse de toutes les molécules organiques. On utilise les sucres et leurs dérivés (mélasse, polymères osidiques). La nature de la molécule influence la production de biomasse ou de métabolites. Pendant la

préculture, le milieu doit permettre un développement rapide et optimal de biomasse sans se soucier si ces conditions conviennent à la production de métabolites. On utilise des sucres à assimilation rapide comme le glucose. Pour la production de métabolites, on préfère les molécules à assimilation lente comme l'amidon ou la mannitol.

b) La source d'azote :

L'influence est très importante sur la productivité des métabolites secondaires. Comme pour les sucres, la synthèse de certaines molécules ne débute que si la totalité de la source d'azote facilement assimilable a été consommée (NH_4). L'addition d'une source d'azote dans un milieu de culture influence le pH en permettant le maintien de celui-ci à une valeur donnée en raison du pouvoir tampon de certaines molécules azotées.

c) Les substrats naturels complexes :

L'utilisation de ce type de substrat s'explique par leur coût moins élevé que celui des molécules organiques ou inorganiques purs. Les produits ont également comme avantage d'apporter aux micro-organismes des mélanges en vitamines, acides aminés et sels minéraux. On obtient ainsi des croissances rapides.

d) Acides gras et dérivés :

Les huiles de soja, d'arachide ou de maïs ajoutées au milieu ont pour but d'apporter une source de carbone et d'énergie, de permettre la formation d'émulsions pour piéger les molécules hydrophobes, de réduire la formation de mousses, d'augmenter la perméabilité cellulaire et d'apporter des précurseurs.

e) Les sels :

Certains sels minéraux sont très importants comme le sulfate de magnésium indispensable à la croissance de la membrane cellulaire ou le carbonate de calcium qui maintient le pH.

f) Les oligo-éléments :

De nombreux métaux sont indispensables à la croissance cellulaire et à la production de métabolites. Ce sont en général des cofacteurs d'enzymes.

3. Paramètres physico-chimiques

a) Paramètres physiques :

La mesure se fait par des capteurs qui sont en contact direct avec le milieu de culture. On retrouve la température avec un thermomètre à résistance en platine, la pression avec une

membrane, la puissance d'agitation avec un dynamomètre ou la viscosité avec un viscosimètre.

b) Paramètres chimiques :

On retrouve ici le pH avec des électrodes à pH, l'oxygène dissout par l'électrode de Clark ou le potentiel rédox avec une sonde potentiométrique.

c) Paramètres biochimiques :

Au cours de la fermentation, il est important de connaître l'état physiologique des cellules en dosant des constituants dont la concentration est liée à l'activité cellulaire. Généralement, on peut relier la concentration de cette molécule à celle en biomasse. Les produits à doser et les techniques sont l'ATP par bioluminescence, le NADH par fluorométrie, les sucres par polarographie, les substances volatiles par C.P.G.¹⁵ et les molécules organiques par H.P.L.C.¹⁶. [25]

C. Bioréactions

1. Optimisation des conditions de culture

Les premiers procédés de production d'acides aminés par les microorganismes datent de la fin des années 1950. Depuis, de nombreuses améliorations ont été effectuées car le but de cette production est d'obtenir des concentrations finales élevées, des productivités ou des rendements maximaux ou encore des coûts minimaux.

L'amélioration de la production d'acide glutamique passe par deux approches : tout d'abord, la modification du biocatalyseur c'est-à-dire le microorganisme utilisé, soit *Corynebacterium glutamicum*, puis la modification du procédé.

a) Amélioration de la souche *Corynebacterium glutamicum* : le biocatalyseur

Elle correspond à l'identification de la voie de biosynthèse de l'acide aminé et à la modification du métabolisme du microorganisme en utilisant le plus souvent des moyens génétiques.

➤ Comparaison de la production d'acide glutamique en fonction d'une souche *Corynebacterium glutamicum* 2262 et d'une souche *Corynebacterium glutamicum* 2262 (pMF5)

On utilise donc les deux souches : *Corynebacterium glutamicum* 2262 et *Corynebacterium glutamicum* 2262 (pMF5), génétiquement modifiée, présentant une

amplification de l'activité enzymatique phosphoénolpyruvate carboxylase. Tout d'abord, on identifie la voie de biosynthèse de l'acide glutamique chez *Corynebacterium glutamicum*. La phosphoénolpyruvate carboxylase [13], enzyme appartenant au groupe des enzymes anaplérotiques, peut constituer une étape limitante. Par conséquent, une comparaison de la production d'acide glutamique entre la souche modifiée et celle non modifiée, avec élévation de la température du milieu de culture, peut être effectuée (voir figure 5). [21]

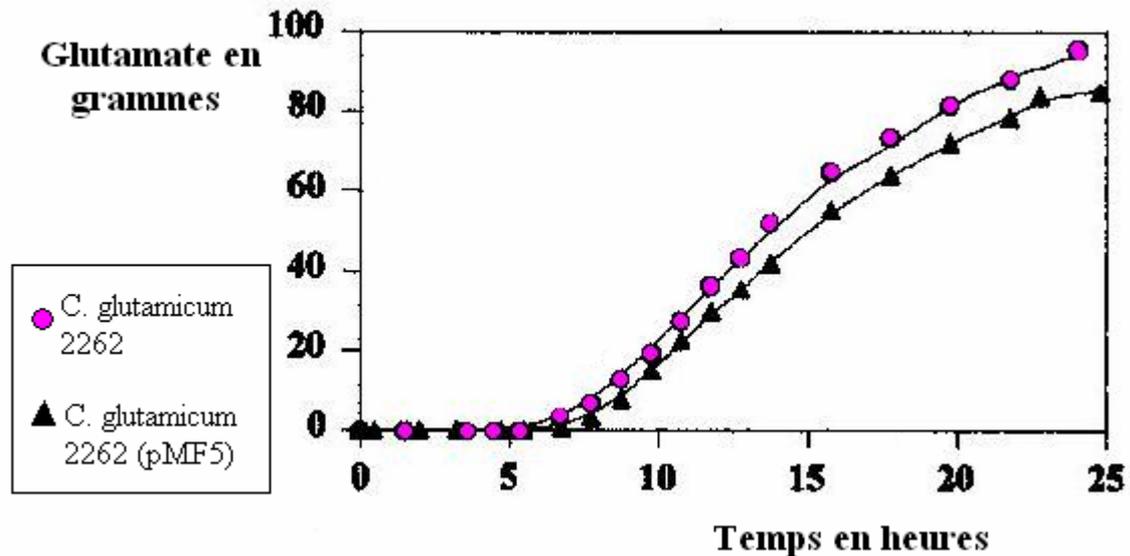


Figure 5 : comparaison de la concentration en glutamate avec les souches *C.glutamicum* 2262 et *C.glutamicum* 2262 (pMF5) [21]

Sur la figure 5, aucune différence significative n'est observée entre les deux souches, *Corynebacterium glutamicum* 2262 et *Corynebacterium glutamicum* 2262 (pMF5). En effet, dans les deux cas, la quantité en glutamate augmente progressivement au bout de 5 heures et atteint environ 90 g après 25 heures.

En conclusion, il semble qu'il soit beaucoup plus difficile d'améliorer un biocatalyseur lorsque celui-ci permet préalablement une forte production car chez une souche hyperproductrice, le métabolisme est déjà « naturellement » orienté vers la synthèse d'un métabolite.

Cette voie d'amélioration tend à être prédominante lors de la mise en place de stratégies d'améliorations de production utilisant des microorganismes et apporte des résultats spectaculaires notamment lorsque la souche employée n'est pas un microorganisme hyperproducteur.

b) Amélioration du procédé

Elle correspond à l'optimisation de la manière dont le microorganisme peut être mis en œuvre. En ce qui concerne l'acide glutamique, l'induction de l'excrétion de l'acide aminé, dans le milieu de culture, a fait l'objet de nombreux travaux. En effet, les souches hyperproductrices du genre *Corynebacterium* n'excrètent pas naturellement l'acide glutamique ; par conséquent, pour induire le processus d'excrétion, un stress doit leur être appliqué.

Industriellement, les moyens les plus utilisés sont la limitation en biotine, qui est une vitamine appartenant au groupe B (B8) et généralement appelée vitamine H, ainsi que l'ajout d'un ou plusieurs tensioactifs. La limitation en acide oléique, l'ajout de pénicilline et l'augmentation de la température sont d'autres modes d'induction existants et qui diffèrent selon les souches. [21]

➤ Cas particulier de la biotine

Les Corynebactéries sont des bactéries gram +, dont la membrane cytoplasmique est constituée d'une bicouche lipidique et de protéines, et est entourée par la paroi cellulaire constituée de peptidoglycanes (polymère de N acétylglucosamines et d'acides N acétylmuramique) (voir figure 6). Cette paroi assure la rigidité de la cellule. [20]

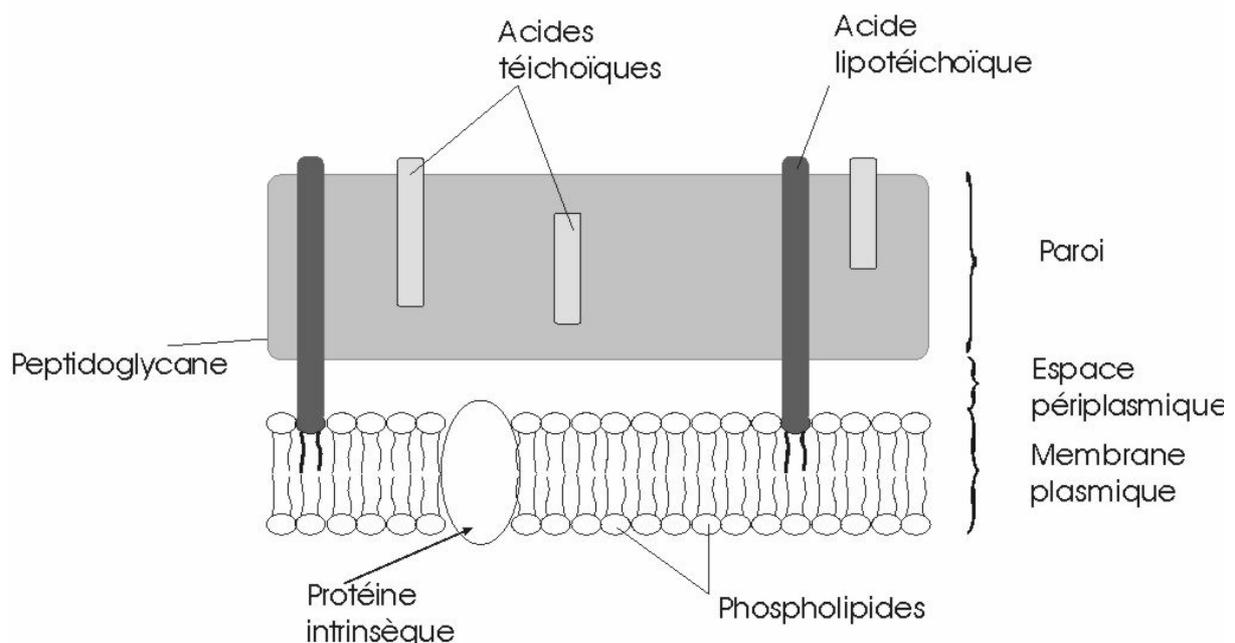


Figure 6 : schéma de la paroi d'une bactérie gram + [11]

D'après des études sur la composition lipidique d'une souche de *Corynebacterium glutamicum* productrice d'acide glutamique, en phase de croissance, la souche ne contient comme acides gras non hydroxylés que l'acide palmitique (C16 : 0) et l'acide oléique (C18 :1) en quantités égales, ainsi que des acides corynonoycoliques (dont la longueur de la chaîne carbonée se limite à 32, 34, 36 atomes de carbone). Dans les mêmes conditions de culture, les lipides complexes comprennent des phospholipides et glycolipides.

De plus, il a été démontré que la capacité d'excréter l'acide glutamique est liée au besoin des souches en biotine, à la concentration en biotine des milieux, à la composition de la membrane bactérienne.

En effet, la biotine intervient dans le mécanisme de synthèse des acides gras. C'est pourquoi, une souche ayant besoin de biotine pour sa croissance et cultivée dans un milieu pauvre en biotine, peut développer une membrane défectueuse et permettra une excrétion d'acide glutamique intracellulaire. Ce même phénomène d'excrétion peut être obtenu si on effectue une culture de souches nécessitant l'acide oléique pour sa croissance, dans un milieu pauvre en cet acide gras. La teneur en biotine dans le milieu de culture pilote le taux de phospholipides membranaires et le rapport entre les acides gras saturés et les acides gras insaturés de la cellule (voir tableau 7).

Tableau 7 : Influence de la biotine sur la composition lipidique de la membrane [20]

Biotine (µg/L)	Acides gras membranaires (mg/L cellules sèches)				Phospholipides membranaires
	C16	C16 : 1	C18	C18 : 1	
2,5	5,1	0,42	0,27	4,88	12,5
25	8,1	0,95	0,32	11,6	22,2

Sur le tableau 7, on peut constater que l'ensemble des lipides membranaires augmente avec le taux de biotine.

On peut donc voir que de faibles concentrations en biotine engendrent une croissance bactérienne réduite, une membrane pauvre en phospholipides, un taux d'acides palmitiques plus élevé que le taux d'acides oléiques. Donc, l'acide glutamique est excrété.

Au contraire, une forte concentration en biotine entraîne une croissance optimale des bactéries, une membrane plus riche en phospholipides et en acides oléiques. Ainsi, l'acide glutamique n'est plus excrété (voir figure 8).

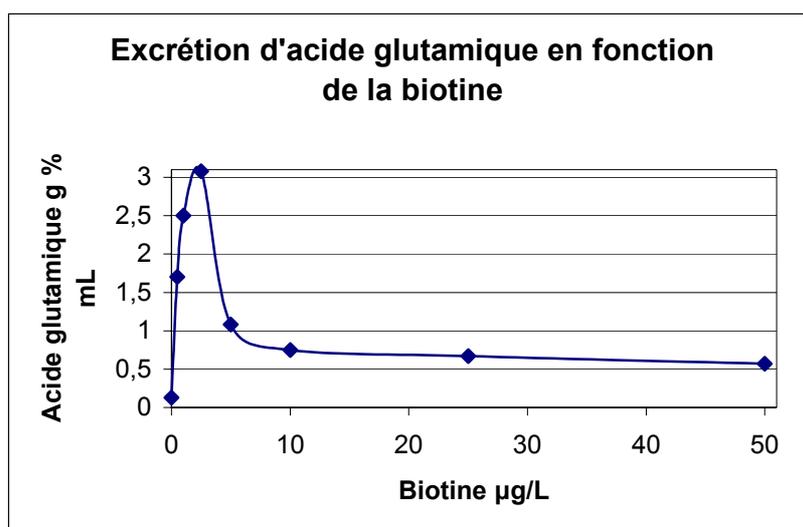


Figure 8 : excrétion d'acide glutamique par *C. glutamicum* en fonction du taux de biotine sachant que la source de carbone est le glucose[20]

➤ Optimisation de l'excrétion du glutamate de sodium en fonction de certains paramètres

Les souches utilisées, lors de l'expérience, sont les souches *Corynebacterium glutamicum* 2262, hyperproductrices d'acide glutamique (fournies par la société ORSAN-AMYLUM). Le milieu de culture utilisé est le milieu MCGC¹⁷ où le citrate est remplacé par la féroxamine et où la seule source de carbone est le glucose. Le fermenteur est employé avec un mode de culture semi continu de 24 heures au cours duquel l'excrétion de l'acide glutamique est induite. Ainsi, trois méthodes d'induction ont été testées :

- La limitation en biotine.

Pendant sa croissance, la bactérie la consomme et lorsque la concentration en biotine atteint 3 µg/L, l'excrétion de l'acide glutamique débute. La concentration initiale en cette molécule est de 20 µg/L.

- L'ajout de tensioactif¹⁸(Tween 40).

Lorsque la concentration en biomasse atteint 5,6 g/L, 2,5 g/L de Tween 40 sont ajoutés dans le milieu de culture ce qui engendre instantanément le début de l'excrétion de l'acide glutamique.

- L'élévation de la température du milieu de culture.

Initialement fixée à 33°C, la température du milieu de culture est élevée à 39°C au moment où la concentration en biomasse atteint 5,6 g/L. Ceci provoque une excrétion immédiate de l'acide glutamique.

L'analyse se fait par la détermination de la concentration en biomasse (par mesure de la densité optique à 570 nm et par la méthode des poids secs) et par la détermination de la concentration extracellulaire en glutamate (par un kit enzymatique) (voir figure 9).

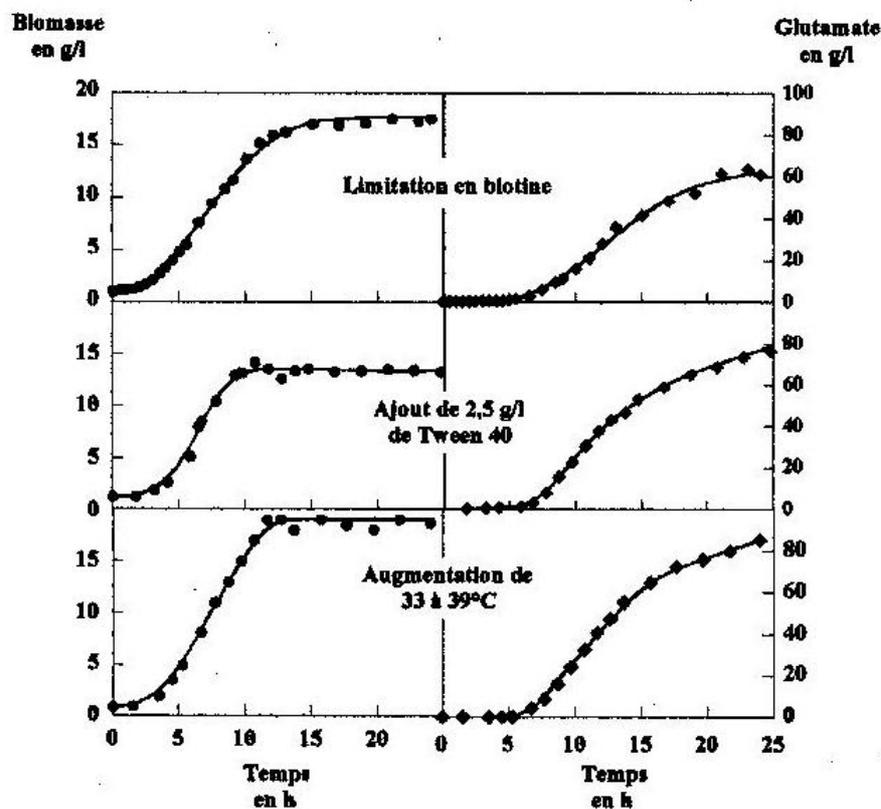


Figure 9 : Evolution des concentrations en biomasse et en glutamate en utilisant trois modes d'induction de l'excrétion de l'acide glutamique [21]

Sur la figure 9, on peut constater qu'en ce qui concerne le cas de la limitation en biotine, la concentration en biomasse augmente jusqu'à une durée de 15 heures où elle atteint une valeur seuil de 18 g/L. La concentration de glutamate croît également et atteint quant à elle la valeur de 60 g/L, au bout de 25 heures. En ce qui concerne la courbe représentant l'ajout de Tween 40, la concentration en biomasse augmente jusqu'à une durée de 10 heures pour se stabiliser à une valeur de 14 g/L. La concentration en glutamate atteint 80 g/L au bout de 25 heures. Enfin, en ce qui concerne l'induction par la température, la concentration en biomasse croît jusqu'à une durée de 12 heures puis se stabilise autour de 19 g/L. La concentration en glutamate augmente aussi et a une valeur de 85 g/L au bout d'une durée de 25 heures.

Les résultats montrent que la souche *Corynebacterium glutamicum* 2262 est capable de produire de l'acide glutamique après action d'au moins trois types de stress. On peut en déduire que le moyen le plus performant en terme de concentration finale de glutamate est l'induction par élévation de la température, puis par la limitation en biotine et enfin, par un ajout de Tween 40.

En conclusion, la concentration de glutamate obtenue peut varier fortement selon le moyen d'induction employé.

Le bilan sur les deux améliorations : elles sont complémentaires. [21]

2. Procédés employés généralement pour la synthèse et l'extraction du glutamate, après optimisation des conditions de culture

L'acide glutamique est typiquement produit par des mutants de régulation. Le microorganisme normal évite la surproduction d'intermédiaires biochimiques par la régulation précise de son métabolisme.

Actuellement, l'acide glutamique est synthétisé par des mutants de *Corynebacterium glutamicum*. Une concentration contrôlée, faible en biotine et l'addition de lipides (dérivés d'acides gras) augmentent la perméabilité membranaire et permettent l'excrétion de concentrations élevées en acide glutamique.

Les bactéries modifiées utilisent la voie du glyoxylate pour satisfaire leurs besoins en intermédiaires biochimiques essentiels, particulièrement pendant la phase de croissance (voir figure 10). Lorsque le développement est limité par la diminution d'un élément nutritif, il y a une transformation presque complète (81,7 % du poids) de l'isocitrate en glutamate. De plus, ceci est accentué par le fait que la bactérie possède un cycle de Krebs déficient en α cétooglutarate déshydrogénase. A la fin de la croissance, le glutamate devient le produit final majeur de la dégradation du glucose par cette bactérie. [22]

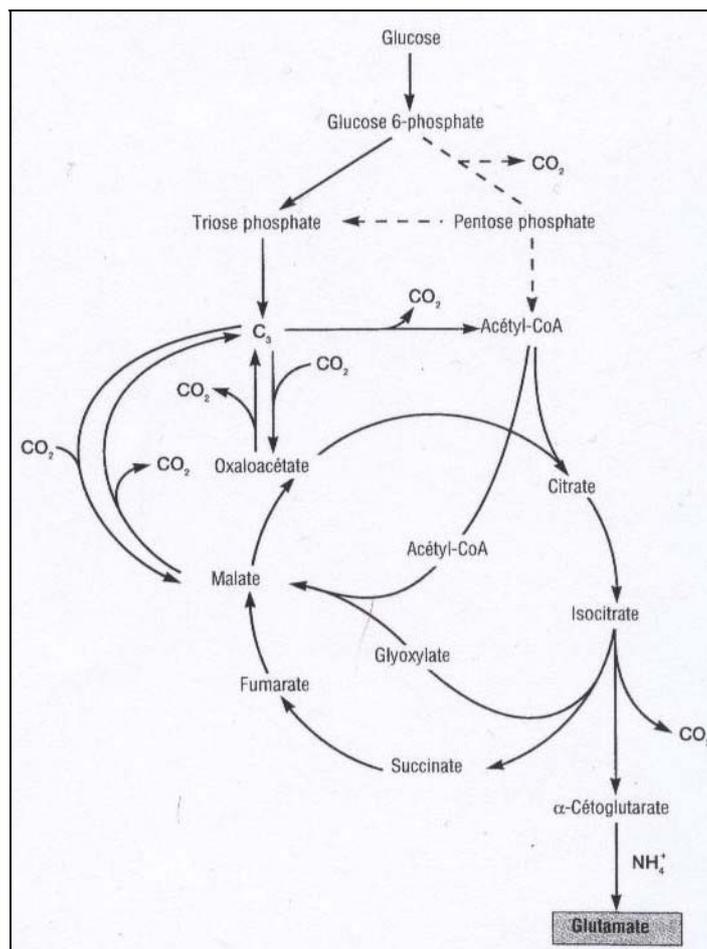


Figure 10 : synthèse du glutamate à partir de glucose [22]

La figure 10 décrit les réactions biosynthétiques de glutamate à partir du glucose sachant que les traits interrompus indiquent les voies de moindre importance pour la formation du glutamate (voir annexe 4).[22]

3. Du glutamate au glutamate de sodium

L'acide glutamique brut obtenu est ensuite filtré, purifié et transformé par neutralisation en glutamate monosodique. Après une purification supplémentaire, une cristallisation, un séchage et un tamisage, le glutamate de sodium se présente sous la forme de cristaux purs et de couleur blanche prêts pour la mise sur le marché et l'utilisation.

III. Rôles sur les aliments

A. Exhausteur de goût

Les exhausteurs de goût renforcent la saveur des mets prêtant souvent main forte aux arômes artificiels. Ils présentent l'avantage de ne pas modifier leur nature. [12]

Le glutamate monosodique est un additif alimentaire qui permet d'augmenter et de révéler la saveur (le goût) des aliments lorsqu'il est ajouté à un plat cuisiné. Il embellit le parfum en éliminant l'amertume et l'aigreur. C'est un agent de sapidité, ce qui a pour conséquence d'augmenter l'envie de manger. Il est utilisé dans les assaisonnements et il accroît l'intensité du goût des aliments. En effet, il abaisse le seuil d'excitabilité de la cellule cérébrale et rend le cerveau plus réceptif aux informations provenant des papilles gustatives. Ceci est dû au fait que le glutamate intervient en favorisant l'entrée de sodium et de calcium dans la cellule et qu'il améliore la transmission synaptique au niveau du système nerveux central. Par conséquent, il stimule les papilles gustatives et manipule notre perception du goût des nourritures. [14]

Des mesures sensorielles montrent nettement un accroissement global des perceptions olfacto-gustatives pour des aliments additionnés de glutamate monosodique (les dosages allant de 0,1 à 2 % selon les aliments). Il améliore la « rondeur » de la sensation et développe particulièrement les saveurs « carnés » en apportant une note « bouillon ». En outre, il augmente la palatabilité¹⁹ de l'aliment. Le mode d'action n'est pas connu. Il a seulement pu être démontré que le glutamate monosodique n'avait aucun effet sur les quatre saveurs de base : l'acide, l'amer, le sucré et le salé. Il est cependant reconnu qu'il a une saveur propre mesurable et indépendante (voir figure 11).

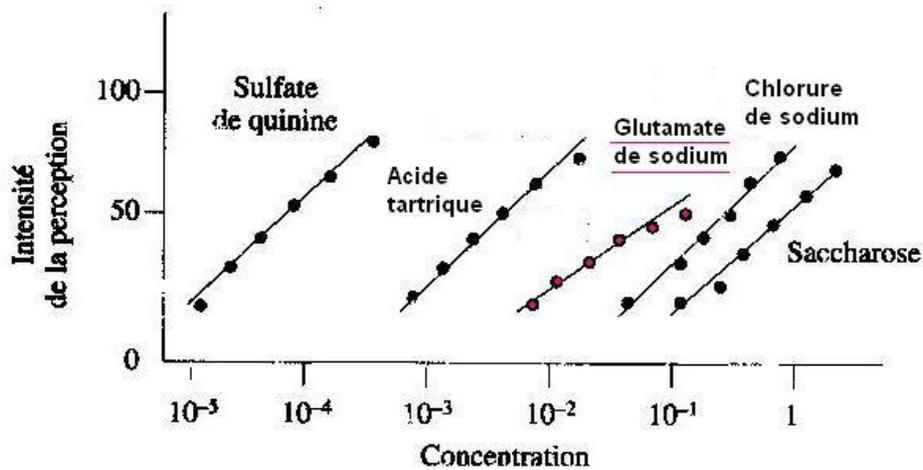


Figure 11 : Corrélation entre la concentration et l'intensité de la perception évaluée par un jury d'experts [23]

On constate, sur la figure 11, que l'intensité de perception est différente pour le glutamate de sodium des quatre saveurs de base représentées par des molécules qui leur sont propres : le sulfate de quinine pour l'amer, l'acide tartrique pour l'acide, le chlorure de sodium pour le salé et enfin le saccharose pour le sucré. Par conséquent, le glutamate monosodique est caractéristique d'une saveur particulière différente des quatre autres saveurs.

B. Obtention d'une nouvelle saveur

Dans les années 1950, la firme agroalimentaire japonaise AJINOMOTO développe une nouvelle saveur à l'échelle industrielle: la saveur Umami. En japonais, ce mot signifie tout simplement délicieux ou goûteux.

Depuis les années 1980, les tenants de la théorie des quatre saveurs ont ajouté cette cinquième saveur à leur typologie et conservé le nom Umami. Cela correspond à un goût épicé du genre « bouillon ».

IV. Effets du glutamate de sodium

A. Effets positifs

Le glutamate de sodium sert à palier un manque de goût ou d'odeur faisant même réapparaître des saveurs qui ont été étouffées par les traitements de production et conservation. Des travaux, réalisés dernièrement en France, montrent à quel point la

perception sensorielle du goût Umami est très subtile. En effet, au-delà d'une certaine dose ajoutée, les aliments enrichis en glutamate monosodique sont mieux acceptés et consommés en plus grande quantité que ceux qui en sont dépourvus. On peut, de surcroît, y intégrer une moindre quantité de sel. On a constaté qu'il le remplace souvent dans la cuisine orientale. En effet, le glutamate contient trois fois moins de sodium que le sel de cuisine d'où son intérêt pour ceux qui doivent veiller à leur apport en sel. De plus, il s'utilise en quantité plus faible. Son utilisation permet donc de réduire de 20% à 40% la quantité de sel tout en conservant les propriétés gustatives de l'aliment. [16]

Ces deux aspects engendrent une application favorable puisqu'ils permettent d'augmenter la quantité d'aliments ingérée, notamment des aliments nutritionnellement intéressants comme les légumes et les féculents. En France, quelques établissements gériatriques profitent de ces caractéristiques pour stimuler ainsi la prise alimentaire chez certaines personnes âgées. Cependant, la réorientation des choix alimentaires a malheureusement ses limites: ainsi, le glutamate monosodique ne permet pas de restreindre l'ingestion d'aliments jouissant d'une puissante stimulation sensorielle comme le chocolat ou les sucreries.

B. Effets négatifs

Une polémique s'élève en France ces derniers temps contre ces industriels qui rajoutent du sel dans tous les plats pour les rendre plus lourds, donc plus rentables. Ce goût salé, auquel le consommateur s'habitue, l'oblige à trop saler toute son alimentation, ce qui nuit gravement à la santé publique.

En outre, on peut mettre en cause la nourriture fade et de mauvaise qualité à laquelle on rajoute du glutamate dans les établissements bon marché qui vendent des plats à emporter. Ce qui souligne les possibilités de tromperie que recouvre le glutamate.

A doses élevées, il est toxique probablement en provoquant une pénétration excessive de Na^+ et de Ca^{2+} dans la cellule nerveuse. [18]

C. Allergies et intolérance

Malgré ses qualités, le glutamate monosodique peut avoir de fâcheux effets secondaires car un faible pourcentage de la population (environ 2%) réagit à sa consommation. Quinze à trente minutes après en avoir consommé dans un aliment, ces individus ont des réactions d'hypersensibilités. Les signes cliniques sont des paresthésies (sensation de fourmillements au visage, aux muscles temporaux et masséters), des sensations

de brûlures au niveau du tronc, une oppression thoracique, des bouffées de chaleur, des nausées, des vomissements, des céphalées. Ces symptômes surviennent après la consommation excessive de glutamate de sodium. Ces maladies disparaissent normalement dans l'heure qui suit leur apparition. Les manifestations plus sérieuses telles que les crises d'asthme, sont rares et touchent uniquement les personnes qui sont prédisposées aux allergies suite à l'ingestion de grosses quantités de glutamate monosodique dans un estomac vide. [17] Le traitement est administré selon les symptômes du patient. [18]

D'après de nombreuses études, on n'a pourtant mis à jour aucune relation entre la consommation de glutamate de sodium et ces effets désagréables, cela suggère la responsabilité d'un autre composant du repas. Par conséquent, les réactions de type allergique observées après avoir mangé un plat chinois viendraient plutôt des crevettes, des épices, des cacahuètes ou des herbes. On suggère même que ceci peut être dû à un stimulus psychologique. [19]

Il n'y a donc pas de risque majeur à la consommation de quantités modérées de glutamate monosodique mais il convient d'être prudent chez les consommateurs excessifs.

Il est possible que nous soyons génétiquement inégaux devant la dégradation du glutamate, ce qui expliquerait les effets toxiques sur certaines personnes.

Vers la fin des années 1960, des gens se sont plaints d'avoir des malaises semblables à ceux d'une crise cardiaque après avoir mangé dans un restaurant chinois. On a accusé le glutamate de sodium d'être responsable du Syndrome du restaurant chinois parce que la première rumeur a été lancée suite à la consommation d'un plat chinois et que le glutamate monosodique est largement utilisé dans la cuisine asiatique.

Le Syndrome du Restaurant Chinois est caractérisé par une rougeur brutale du visage et du thorax, des douleurs thoraciques avec nausées. Le lien de cause à effet n'est pas simple car les personnes sensibles ne réagissent souvent pas à de fortes doses de glutamate de sodium administrées en capsules. Les symptômes ne pourraient donc apparaître qu'en présence d'autres ingrédients présents dans les mets chinois. Ce qui est certain c'est que le Syndrome du Restaurant Chinois ne semble pas causé uniquement par le glutamate de sodium. Sinon compte tenu de la forte teneur en glutamate des tomates et des champignons, ne devrions-nous pas être témoin d'une épidémie de Syndrome du Restaurant Chinois chez les mangeurs de pizzas.

Etant donné des doutes concernant les effets du glutamate de sodium du point de vue de la sécurité alimentaire, celui-ci est de moins en moins utilisé et les industriels ont recours à

des substituants de cet additif. Les substances qui peuvent être utilisées pour le remplacer sont les suivantes : le guanylate de sodium, l'inosinate de sodium, l'isovaline, le L aspartate de sodium, le DL threa β hydroxyglutamate de sodium, le DL homocystéine de sodium, le L α amino-adipate de sodium, l'acide L tricholomique, l'acide L ibotenique. Ces molécules ont toutes des effets exhausteurs de saveur tout particulièrement dans les notes « bouillon-viande ». Elles dérivent également toutes d'acides aminés. [22]

CONCLUSION

En conclusion, le glutamate de sodium est un additif alimentaire utile et très utilisé à travers le monde. C'est pourquoi sa production doit être suffisante. Autrefois extrait d'algues, il est aujourd'hui obtenu dans des réacteurs par production microbienne de l'acide glutamique. Celui-ci est ensuite transformé par neutralisation (sodium). C'est un exhausteur de goût c'est à dire qu'il intensifie le goût et l'odeur de l'aliment dans lequel il est ajouté. Il peut engendrer également des effets positifs ainsi que négatifs dans certaines circonstances. Des centaines d'études sont en cours pour déterminer si oui ou non il y a un risque pour l'homme suite à sa consommation, mais actuellement, les évaluations scientifiques effectuées ont conclu que le glutamate monosodique ne présente aucun risque pour la santé.

Par ailleurs, cet additif ne doit en aucun cas servir à masquer les défauts de l'aliment. Cet aspect repose sur la loyauté des industriels.

Par conséquent, les consommateurs doivent rester vigilants, l'utiliser avec modération, en particulier les personnes sensibles, et respecter certaines précautions : lire les étiquettes attentivement, privilégier les aliments non traités, éviter les conserves alimentaires et enfin surveiller la consommation d'aliments contenant naturellement des niveaux élevés de glutamate libre comme les tomates, oignons et champignons .

GLOSSAIRE

1. Additif : « On entend par additif alimentaire toute substance habituellement non consommée comme aliment en soi et habituellement non utilisée comme ingrédient caractéristique dans l'alimentation, possédant ou non une valeur nutritive, et dont l'adjonction intentionnelle aux denrées alimentaires, dans un but technologique au stade de leur fabrication , transformation , préparation, traitement, conditionnement, transport ou entreposage, a pour effet, ou peut raisonnablement être estimée avoir pour effet, qu'elle devienne elle-même ou que ses dérivés deviennent, directement ou indirectement un composant de ces denrées alimentaires »
2. Pouvoir rotatoire : c'est l'angle exprimé en degrés (radians) dont tourne le plan de polarisation d'une radiation lumineuse de longueur d'onde dans des conditions données de température.
3. Codex Alimentarius : organisme qui formule et harmonise les normes alimentaires puis en assure l'application à l'échelle internationale.
4. Arabinogalactane : c'est un polysaccharide (longue molécule de sucre) présent dans les parois des cellules.
5. Méso DAP : c'est le méso-diaminopimelate, composant de la paroi cellulaire.
6. Pléiomorphe : qui adopte des formes différentes.
7. Bactérie chimioorganotrophe : qui utilise des donneurs et des accepteurs d'électrons (énergie) à partir de composés organiques.
8. Bactérie hétérotrophe : qui dégrade une grande quantité de substances hydrocarbonées (alcool, acide acétique, acide lactique, polysaccharides, sucres divers).
9. Oxydase - : les cytochromes sont des protéines qui appartiennent à la chaîne respiratoire, composée d'une succession de transporteurs d'électrons, en particulier les cytochromes porteurs de coenzymes hémétiques, noyaux tétrapyrroliques à fer III central. Pour un certain nombre de bactéries oxydase négative possédant donc une chaîne respiratoire complète et fonctionnelle, le cytochrome c est remplacé par un autre cytochrome ne possédant pas la capacité de réagir avec le réactif utilisé. La cytochrome oxydase est la dernière enzyme de la chaîne respiratoire qui assure le transfert des électrons sur l'oxygène (ou un autre oxydant minéral). En bactériologie, il faut donc comprendre le terme d'oxydase - comme l'absence d'une enzyme réagissant avec un dérivé méthylé du paraphénylène diamine.
10. Catalase + : c'est une enzyme contenant un noyau appartenant au groupe des cytochromes (hèmes transporteurs d'électrons) et un atome de Fe³⁺. Elle joue un rôle majeur dans l'élimination du peroxyde d'hydrogène. La réaction catalysée est la suivante :
$$2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

11. Nitrate + : il utilise le nitrate comme substrat.
12. Caseinase - : absence de l'enzyme caséinase qui dégrade la caséine, protéine présente dans les produits laitiers.
13. Indole - : absence de la production de ce métabolite à partir du catabolisme d'un acide aminé dénommé tryptophane.
14. VP - : (vient du test Voges Proskauer) absence de production d'acétyl-méthyl-carbinol (acétoïne).
15. CPG : chromatographie en Phase Gazeuse.
16. HPLC : chromatographie Liquide Haute Performance.
17. Milieu MCGC : il est composé principalement de chlorure de fer III, de manganèse sulfate, de sulfure d'ammoniaque, de sulfate de zinc, de sulfate de fer, de sulfate de magnésium, de carbonate de calcium, de borax anhydre, de biotine et de thiamine. La source de carbone est ensuite ajoutée, il s'agit généralement du glucose.
18. Tensioactif : c'est une substance qui possède un groupe lipophile et un hydrophile dans la même molécule.
19. Palatabilité : qui a des propriétés gustatives agréables.