

Clostridium botulinum et botulisme

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 08.08.Q08

mai 2026

Didier MAJOU, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : intoxication alimentaire, neurotoxine

La bactérie *Clostridium botulinum* est responsable d'intoxications alimentaires graves, en produisant une neurotoxine (BoNT) responsable d'une affection neurologique se traduisant par une paralysie flasque¹, d'issue parfois fatale : le botulisme.

Chez l'humain, les types de botulisme les plus fréquents sont le botulisme alimentaire, le botulisme infantile et le botulisme par blessure.

Contexte

La consommation d'aliments contaminés, dans lesquels une neurotoxine a été produite, peut entraîner un botulisme alimentaire ; de nos jours, ce cas demeure cependant rare, grâce aux traitements thermiques industriels de stérilisation.

Le botulisme infantile est une toxémie intestinale qui touche les enfants de moins d'un an. Une maladie similaire touche également les adultes et survient lorsque les bactéries concurrentes – présentes dans le microbiote intestinal normal – ont été altérées, par exemple, par une maladie inflammatoire de l'intestin, un traitement antibiotique, etc.

La croissance des bactéries et la formation de toxines se produisent dans les aliments à faible teneur en oxygène, ainsi que dans certaines combinaisons de température de stockage et de paramètres de conservation. Cela se produit le plus souvent dans les aliments insuffisamment soumis à un procédé de conservation, mis en conserve ou en bouteille à domicile.

La toxine botulique a été détectée dans divers aliments, notamment :

- les légumes conservés à faible acidité, tels que haricots verts, épinards, champignons et betteraves ;
- les poissons, y compris le thon en conserve ;
- les poissons fermentés, salés et fumés ;
- les aliments prêts à consommer conditionnés dans des emballages à faible teneur en oxygène ;
- les produits à base de viande de porc, tels que le jambon et les saucisses.

La physiologie de *Clostridium botulinum*

Clostridium botulinum est une bactérie Gram positif², en forme de bâtonnet, strictement anaérobie, sporulée, SOD-positif³ et catalase-négative⁴. La superoxyde dismutase (Cu, Zn-SOD) catalyse la dismutation⁵ de l'ion superoxyde (O_2^-) en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), mais la dismutation du H_2O_2 en eau et en oxygène ne se produit pas faute de catalase. Par conséquent, les défenses antioxydantes de *Clostridium botulinum* ne sont pas adaptées au stress oxydatif chronique dans des conditions anaérobies ; le H_2O_2 a un effet délétère sur cette bactérie, car il attaque en particulier son ADN.

¹ Faiblesse musculaire.

² Les bactéries Gram positif ont (sauf exception) une structure unimembranée.

³ Présence de l'enzyme superoxyde dismutase (SOD).

⁴ Absence de l'enzyme catalase.

⁵ Réaction chimique dans laquelle une espèce joue à la fois le rôle d'oxydant et de réducteur.

Clostridium botulinum est très sensible au stress oxydatif. Ses conditions de croissance optimales se situent à un potentiel redox⁶ réducteur de -350 mV. Les cellules végétatives tolèrent des traces d'oxygène grâce à l'enzyme superoxyde dismutase qui transforme l'ion superoxyde. Ainsi, la bactérie ne se développe pas et ne produit pas de toxines en présence de plus de 1 % d'O₂.

Certaines souches possèdent des capacités protéolytiques⁷ qui leur permettent d'obtenir leur énergie (ATP). Elles peuvent également dégrader certains glucides (glucose), désaminent les acides aminés (à l'exception de la tyrosine et de la phénylalanine), et métabolisent les acides aminés par la réaction de Stickland.

La réaction de Stickland est une désamination oxydative et réductrice couplée d'acides aminés spécifiques, qui entraîne la formation d'ATP (énergie)⁸, d'ammoniac, de CO₂, de certains acides organiques volatils linéaires et ramifiés (acides acétique, butyrique, propionique, isobutyrique et isovalérique) et de petites quantités d'hydrogène et de composés soufrés. Par exemple, la L-alanine est désaminée par oxydation en pyruvate, ammoniac et NADH (NAD⁺ réduit) sous l'action de l'alanine déshydrogénase ; la L-glycine est désaminée en acétate et ammoniac avec une réduction du NADH en NAD⁺ par la L-aminoacide déshydrogénase (Tableau 1).

Les souches non protéolytiques sont hautement glycolytiques et fermentent toute une gamme de glucides. *Clostridium botulinum* (comme la souche Hall/Type A) possède une voie de glycolyse complète, mais un cycle de Krebs⁹ incomplet. Elle semble capable de fermentations acidogènes (acétate, lactate, butyrate) et solvantogènes (éthanol et butanol). Il a été démontré que la fermentation anaérobie du glucose par les types A et B de *Clostridium botulinum* diffère de la plupart des fermentations bactériennes, en ce sens que l'alcool éthylique et le dioxyde de carbone sont les principaux produits de la fermentation, avec seulement de petites quantités d'acide acétique et lactique, ainsi que des traces d'hydrogène (Tableau 1).

	<i>C. botulinum</i> Groupe I Protéolytique			<i>C. botulinum</i> Groupe II Non-Protéolytique			<i>C. botulinum</i> Groupe III Non-Protéolytique			<i>C. botulinum</i> Groupe IV Protéolytique		
Toxines	A. B. F			B. E. F			C. D			G		
Croissance	Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Max.	Min.	Opt.	Max.
Température (°C)	10	35-40	48	2.5	18-25	45	15	37-40	/	/	37	/
pH	4.6	/	9	5	7	9	5.1	6.1-6.3	9	4.6	7	/
a_w	0.94	/	/	0.97	/	/	0.97	/	/	0.94	/	/
% NaCl inhibiteur de croissance	10			5			5			10		

Tableau 1 : Caractéristiques de survie et de croissance de *C. botulinum* dans des conditions de laboratoire (ANSES, 2019)

Sporulation

Clostridium botulinum produit des spores que l'on trouve couramment dans l'environnement, notamment dans le sol, les rivières et l'eau de mer. La germination des spores est une étape importante dans la transformation des spores dormantes en cellules végétatives à division exponentielle et, dans le cas de *Clostridium botulinum*, dans la formation de la neurotoxine botulique mortelle. Ces spores peuvent résister à des conditions extrêmes, telles que la haute pression, les rayons UV et les traitements thermiques. La sporulation est une des raisons pour laquelle cette bactérie représente un danger alimentaire si grave.

⁶ Le potentiel d'oxydoréduction mesure l'équilibre entre les formes oxydées et réduites des différents composés chimiques.

⁷ Présence d'enzymes protéolytiques qui lysent (destruction d'éléments organiques par des agents physiques, chimiques ou biologiques) les protéines

⁸ ATP : adénosine triphosphate, molécule énergétique fondamentale.

⁹ Voie métabolique permettant notamment la production d'ATP.

Les souches du *groupe I*, dont les spores sont résistantes à la chaleur, peuvent germer et proliférer à une activité de l'eau¹⁰ supérieure à 0,94 (10 % de NaCl) et à un pH supérieur à 4,6.

Celles du *groupe II*, dont les spores sont sensibles à la chaleur, peuvent germer et proliférer à une activité de l'eau supérieure à 0,97 (5 % de NaCl) et à un pH supérieur à 5,0. Ce *groupe II* présente un risque pour la sécurité des méthodes modernes de transformation des aliments, qui consistent en des traitements de pasteurisation légers, un conditionnement anaérobie, une durée de conservation prolongée et un stockage réfrigéré (*Tableau 1*). Les souches des *groupes I, III et IV* sont mésophiles¹¹ et inhibées par la réfrigération, alors que celles du *groupe II* sont psychrotrophes¹², ce qui explique la problématique des aliments à longue durée de vie en stockage réfrigéré.

Les spores peuvent survivre pendant des années à l'état dormant, mais en présence d'un stimulus approprié, d'un germinant, elles peuvent rapidement sortir de leur dormance et perdre leurs propriétés de résistance lors de la germination. La germination est donc l'une des étapes clés du développement physiologique de ces bactéries. Le principal agent germinatif, permettant un processus rapide et efficace, serait le CO₂, sous forme de molécules de CO₂ dissous et de bicarbonate dans des combinaisons dépendantes du pH. La production d'énergie semble être obtenue grâce à diverses réactions anapérotyques utilisant le CO₂ comme source de carbone.

Certains nutriments agissent comme co-germinants du CO₂ à la fin de la germination ou au tout début du stade végétatif. C'est le cas de la L-alanine, de la L-sérine et du L-lactate.

Toxinogénèse

Bien que toutes les souches clostridiennes botulinogènes aient traditionnellement été classées comme *Clostridium botulinum*, il est reconnu que l'espèce *Clostridium botulinum* comprend quatre groupes distincts sur le plan physiologique et phylogénétique. Ils sont classés ensemble en raison de leur capacité à produire la neurotoxine botulique (*Tableau 1*).

La toxinogénèse, suivie du déclenchement de la sporulation, doit être abordée à travers la fonction enzymatique des BoNT dans le métabolisme de la bactérie. La concomitance entre la synthèse des BoNT, leur activation et la phase exponentielle tardive et la phase stationnaire de la bactérie révèle une relation étroite ; en d'autres termes, il existe une corrélation entre la synthèse des BoNT et une baisse de l'activité métabolique de *Clostridium botulinum*.

Une fois synthétisées, ces toxines/enzymes lysent spécifiquement les protéines, libérant certains acides aminés. Les BoNT sont des enzymes dépendantes du zinc, qui ne clivent¹³ qu'une seule liaison entre des acides aminés ; chaque type de BoNT a un site de clivage spécifique. La BoNT A clive après un acide aminé appelé acide glutamique, ou entre un acide aminé glutamine et un acide aminé arginine ; les BoNT E et BoNT C clivent après l'arginine, les BoNT B et BoNT F clivent après la glutamine. Ces clivages, à proximité d'un acide aminé, démasquent ce dernier et permettent sa libération par une hydrolyse catalytique supplémentaire.

Les principaux acides aminés sont l'arginine, la glutamine et l'acide glutamique, qui font tous partie du même système réactionnel. Ces molécules sont le substrat d'une voie de synthèse enzymatique qui produit de l'ATP sans fermentation et sans utiliser de pyruvate. Cet ATP est utilisé par l'histidine kinase¹⁴ pour activer Spo0A¹⁵ par phosphorylation¹⁶. Spo0A est le principal régulateur qui initie la sporulation.

¹⁰ Eau libre dans le produit.

¹¹ À température de croissance optimale comprise entre 20 °C à 40 °C.

¹² Capables de survivre à des basses températures, jusqu'à 5 °C.

¹³ Cliver veut dire séparer.

¹⁴ Enzyme présentant une activité de phosphotransfert et de phosphatase.

¹⁵ Protéine régulatrice principale de l'entrée en sporulation.

¹⁶ Réaction par laquelle un radical phosphate (PO₃H₂) se fixe sur un composé organique.

Ce qu'il faut retenir :

La bactérie *Clostridium botulinum* est responsable d'intoxications alimentaires graves, en produisant une neurotoxine mortelle.

La consommation d'aliments contaminés – dans lesquels une neurotoxine a été produite – peut entraîner un botulisme alimentaire, qui cependant demeure peu fréquent grâce aux conditions des traitements thermiques industrielles de stérilisation.

Le botulisme alimentaire, dû à la consommation d'aliments transformés de manière inadéquate, est une maladie rare mais potentiellement mortelle s'il n'est pas diagnostiqué rapidement et traité par une antitoxine.

Les conserves familiales, les aliments préservés ou fermentés peuvent être une source courante de botulisme alimentaire, aussi leur préparation exige une extrême prudence.

La croissance des bactéries et la formation de toxines se produisent dans les aliments à faible teneur en oxygène, et dans certaines combinaisons de température de stockage et de paramètres de conservation.

Clostridium botulinum produit des spores que l'on trouve couramment dans l'environnement, notamment dans le sol, les rivières et l'eau de mer. Ces spores peuvent résister à des conditions extrêmes, telles que la haute pression, les rayons UV et les traitements thermiques, mais aussi peuvent survivre pendant des années.

Pour en savoir plus :

- Anses, 2019 : *Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : Clostridium botulinum*, Clostridium neurotoxinogènes Saisine n° 2016-SA-0074.
- Didier MAJOU & S. CHRISTIEANS : *Mechanisms of the bactericidal effects of nitrate and nitrite in cured meats*, Meat Science, 145:273-284, 2018.
- Didier MAJOU : *Effects of carbon dioxide on germination of Clostridium botulinum spores*, International Journal of Food Microbiology. 427(4):110958, 2024.
- Didier MAJOU : *Endopeptidase activities of Clostridium botulinum toxins in the development of this bacterium*, Res Microbiol. 175(7):104216, 2024.