

BACTÉRIES THERMORÉSISTANTES : COMPRENDRE LES RISQUES ET MAÎTRISER LEUR IMPACT EN INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES

Par Thomas PAILLET & Nathalie PANIEL

Octobre 2026

Contexte

La maîtrise des bactéries thermorésistantes constitue un enjeu majeur pour les industries agroalimentaires utilisant des traitements thermiques tels que la pasteurisation, la stérilisation ou l'appertisation. Bien que ces procédés aient pour objectif de garantir la sécurité sanitaire et la stabilité microbiologique des aliments, certaines bactéries sont capables de survivre à ces traitements grâce à des mécanismes de résistance spécifiques, en particulier la formation de spores bactériennes hautement résistantes à la chaleur (Sharma et al., 2021 ; Snyder et al., 2024).

Ces micro-organismes représentent aujourd'hui l'une des principales causes d'altération microbiologique des produits thermiquement traités et stables à température ambiante. Les conséquences pour les industriels peuvent être importantes : blocage ou destruction de lots, réclamations clients, retraits-rappels, investigations complémentaires, nettoyage renforcé des équipements et dégradation de l'image de marque (Snyder et al., 2024). La survie de spores thermorésistantes peut conduire à des défauts de stabilité se révélant plusieurs semaines ou plusieurs mois après fabrication.

Les bactéries thermorésistantes peuvent être à l'origine de différentes altérations microbiologiques détaillées plus loin dans l'article et pouvant rendre les produits impropres à la commercialisation. Même lorsque les micro-organismes impliqués ne présentent pas de risque sanitaire, ces défauts rendent fréquemment le produit impropre à la commercialisation (André et al., 2013 ; Snyder et al., 2024).

La problématique concerne de nombreuses filières agroalimentaires, notamment les conserves végétales, les plats cuisinés, les produits carnés, les produits de la mer, les produits laitiers, les boissons et les jus de fruits. Dans le secteur des boissons acides, les bactéries du genre *Alicyclobacillus* constituent par exemple une préoccupation majeure en raison de leur capacité à survivre aux traitements de pasteurisation et à produire des composés aromatiques indésirables tels que le gaïacol, responsable de notes médicinales, antiseptiques ou fumées détectables à de très faibles concentrations (Foudos, 2014 ; Sourri et al., 2022 ; Tyfa & Kunicka-Styczyńska, 2026).

Dans le domaine des conserves peu acides, les bactéries sporulées thermophiles telles que *Geobacillus stearothermophilus*, *Moorella thermoacetica* et *Thermoanaerobacterium* spp. sont régulièrement associées aux défauts de stabilité observés lors des essais d'incubation à 55 °C. Une enquête menée pendant dix ans auprès de conserveries françaises a montré que les genres *Moorella* et *Geobacillus* représentaient ensemble plus de 70 % des cas de non-stabilité recensés (André et al., 2013). Les travaux de Durand (2014) confirment également le rôle prépondérant de ces bactéries thermophiles dans les altérations observées au sein de l'industrie de la conserve.

La maîtrise de ce risque est rendue complexe par la forte variabilité de la thermorésistance observée entre espèces, entre souches d'une même espèce, mais également selon les

conditions de sporulation et l'environnement alimentaire. Les caractéristiques de la matrice, telles que le pH, l'activité de l'eau (aw), la teneur en matières grasses ou encore la composition générale du produit, peuvent influencer significativement l'efficacité d'un traitement thermique (Desai & Varadaraj, 2010 ; Soni et al., 2022).

Par ailleurs, certaines espèces sporulées présentent un intérêt particulier en raison de leur impact sur la santé publique. C'est notamment le cas de *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum* et *Clostridium perfringens*, dont les spores peuvent survivre à certains procédés insuffisamment maîtrisés et conduire, dans des conditions favorables, à un risque pour le consommateur (EFSA, 2016 ; Tran, 2025). La maîtrise des bactéries thermorésistantes répond ainsi à un double objectif : garantir la sécurité sanitaire des aliments et préserver leur stabilité commerciale tout au long de leur durée de conservation.

Dans un contexte marqué par le développement de produits à formulation simplifiée (« clean label »), la réduction des additifs conservateurs et la recherche de traitements thermiques moins sévères afin de préserver les qualités nutritionnelles et organoleptiques des aliments, la maîtrise des bactéries thermorésistantes devient un enjeu croissant pour l'industrie agroalimentaire. Cette maîtrise repose sur une approche globale intégrant le contrôle des matières premières, l'hygiène des installations, la prévention des biofilms, la validation des traitements thermiques et l'évaluation rigoureuse de la stabilité microbiologique des produits finis (Durand, 2014 ; Snyder et al., 2024).

Eléments techniques & scientifiques

Qu'est-ce que la thermorésistance ?

La thermorésistance désigne la capacité d'un micro-organisme, dans un état physiologique donné, à survivre à une exposition thermique définie. Il ne s'agit pas d'une propriété absolue mais d'une caractéristique relative qui dépend à la fois du micro-organisme considéré, de son état physiologique et des conditions environnementales dans lesquelles il se trouve (Soni et al., 2022).

Ainsi, il n'existe pas de seuil universel de température ou de durée au-delà duquel une bactérie pourrait être qualifiée de « thermorésistante ». Ce terme est généralement utilisé pour désigner des micro-organismes capables de résister à des traitements thermiques qui suffisent habituellement à inactiver la majorité des autres bactéries, comme la pasteurisation ou certains procédés de stérilisation.

Il convient également de distinguer la thermorésistance des cellules végétatives de celle associée à la sporulation. Certaines bactéries, notamment des genres *Bacillus*, *Clostridium*, *Geobacillus* ou *Moorella*, sont capables de former des spores lorsque leur environnement devient défavorable. Ces structures dormantes possèdent une résistance exceptionnelle à de nombreux stress physiques et chimiques, en particulier à la chaleur.

La thermorésistance observée dans l'industrie agroalimentaire est donc le plus souvent liée aux spores plutôt qu'aux cellules végétatives elles-mêmes. Néanmoins, certaines bactéries thermophiles présentent également une résistance thermique accrue à l'état végétatif. Par exemple, *Geobacillus stearothermophilus* peut se développer à des températures comprises entre 37 et 75 °C, avec un optimum voisin de 55 °C, ce qui lui permet de persister dans certains environnements industriels chauds où la majorité des bactéries mésophiles ne survivent pas (André et al., 2013 ; Durand, 2014).

La sporulation est un mécanisme de différenciation cellulaire déclenché en réponse à un environnement défavorable, tel qu'une limitation en nutriments, une dessiccation ou un stress

thermique. Au cours de ce processus, la cellule végétative se transforme en une spore métaboliquement inactive entourée de multiples couches protectrices.

Cette organisation particulière, associée à une très faible teneur en eau, à la présence d'acide dipicolinique et de protéines protectrices de l'ADN, explique la remarquable résistance des spores à la chaleur, à la dessiccation, aux rayonnements et à certains désinfectants (Setlow, 2006 ; Wells-Bennik et al., 2016 ; Nicholson et al. 2000. Lorsque les conditions redeviennent favorables, la spore peut germer et retrouver son état végétatif. La bactérie redevient alors capable de se multiplier et, selon l'espèce concernée, d'altérer le produit ou de présenter un risque pour la santé du consommateur (Figure 1).

Exemple de résistance thermique des cellules végétatives et des spores

La thermorésistance est généralement caractérisée par le temps de réduction décimale (valeur D), défini comme la durée nécessaire, à une température donnée, pour réduire une population microbienne de 90 %, soit d'un facteur 10.

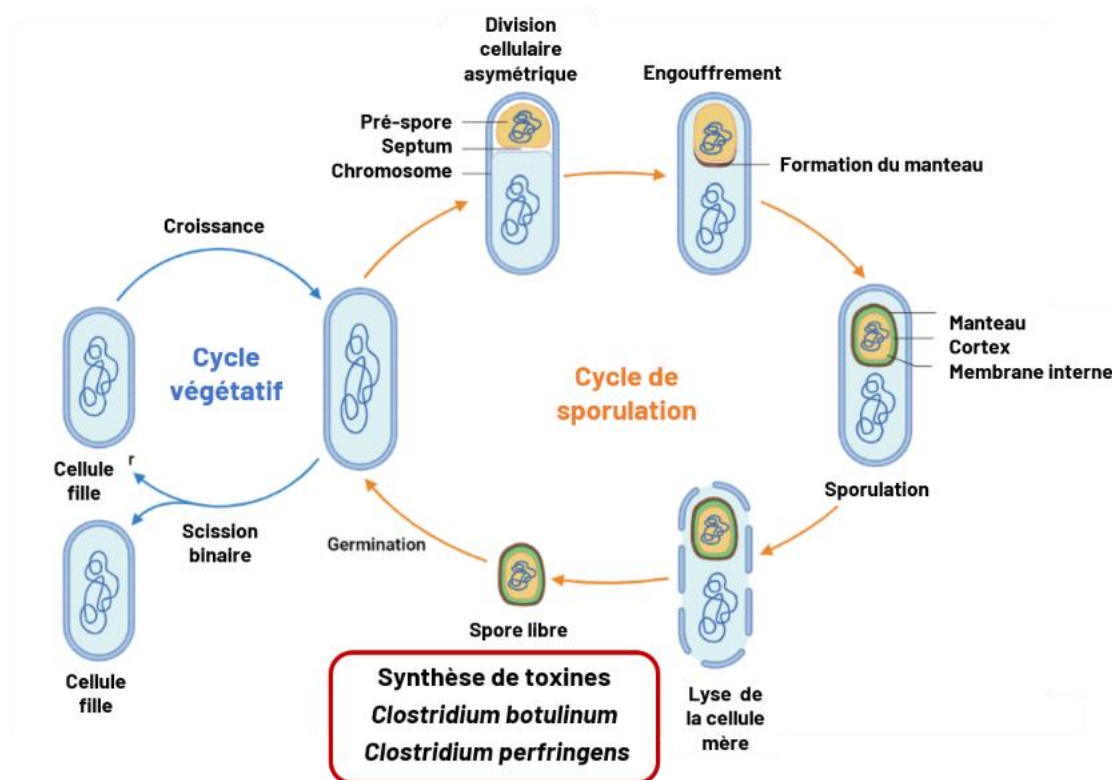


Figure 1 : Illustration du cycle de vie d'une bactérie sporulée (source BioRender.com).

Chez *Bacillus cereus*, Desai et Varadaraj (2010) rapportent une valeur $D_{60^{\circ}\text{C}}$ de 3,45 minutes pour les cellules végétatives et une valeur $D_{85^{\circ}\text{C}}$ de 19,45 minutes pour les spores. Autrement dit, à 60°C , la population de cellules végétatives est divisée par dix toutes les 3,45 minutes. À l'inverse, à une température beaucoup plus élevée de 85°C , la population de spores n'est divisée par dix qu'après 19,45 minutes. Cette comparaison illustre la résistance thermique considérablement supérieure des spores par rapport aux formes végétatives. Enfin, la thermorésistance peut varier fortement d'une souche à l'autre. Elle est influencée par de nombreux facteurs, notamment les conditions de sporulation, l'historique de stress du micro-organisme, la composition du produit alimentaire, son pH, son activité de l'eau (a_w), sa teneur en matières grasses ou encore la

présence de composés protecteurs. Une même espèce pourra ainsi présenter des niveaux de résistance très différents selon le contexte de production et la matrice alimentaire considérés (Desai & Varadaraj, 2010 ; Soni et al., 2022).

Focus sur les bactéries thermophiles hautement thermorésistantes (THT)

Les bactéries thermophiles hautement thermorésistantes (THT) constituent un groupe particulier de bactéries sporulées capables de survivre à des traitements thermiques très sévères. Leur principal enjeu n'est généralement pas la sécurité sanitaire mais la stabilité commerciale des produits appertisés. (André et al., 2013 ; Durand, 2014).

Ces micro-organismes se distinguent par deux caractéristiques, leur capacité à former des spores extrêmement résistantes à la chaleur et leur aptitude à se développer à des températures élevées, généralement comprises entre 45 et 70 °C, avec un optimum souvent proche de 55 °C. Ainsi, si les traitements de stérilisation classiques permettent d'assurer la sécurité sanitaire des conserves, ils ne garantissent pas toujours l'inactivation complète de toutes les spores de THT. Les quelques spores survivantes peuvent ensuite germer lorsque les conditions deviennent favorables, notamment lors des essais d'incubation réalisés à 55 °C ou lors de stockages prolongés dans des environnements chauds (André et al., 2013 ; Setlow, P. 2014).

Les genres les plus fréquemment impliqués dans les défauts de stabilité des conserves sont *Geobacillus* spp. ; *Moorella* spp. ; *Thermoanaerobacterium* spp. Une étude menée sur plus de dix années auprès de conserveries françaises a montré que les genres *Moorella* et *Geobacillus* représentaient à eux seuls plus de 70 % des cas d'instabilité observés lors des incubations à 55 °C (André et al., 2013).

Contrairement aux bactéries pathogènes sporulées telles que *Clostridium botulinum*, les THT sont généralement considérées comme non pathogènes. Elles peuvent néanmoins occasionner des pertes économiques importantes en entraînant diverses altérations du produit tels que leur acidification, la production de gaz, le gonflement des emballages, le développement d'odeurs anormales, la modification des caractéristiques organoleptiques, des non-conformités aux essais de stabilité commerciale. La présence de THT dans un produit fini est souvent le résultat d'une combinaison de facteurs : contamination initiale des matières premières, multiplication dans certaines zones chaudes de l'usine, persistance des spores dans l'environnement de production, puis survie d'une fraction de ces spores au traitement thermique.

Point de vigilance : les zones chaudes des ateliers

Les bactéries thermophiles trouvent des conditions particulièrement favorables dans les équipements maintenus à température élevée ou connaissant des périodes d'attente prolongées. Les circuits de blanchiment, échangeurs thermiques, cuves tampons, réseaux d'eau chaude, évaporateurs ou certaines portions de lignes insuffisamment nettoyées peuvent ainsi constituer des zones de multiplication privilégiées. Même lorsque les traitements thermiques finaux sont correctement maîtrisés, une augmentation importante de la charge sporulée en amont peut accroître le risque de survie de spores dans le produit fini. La maîtrise des THT repose donc autant sur la prévention de leur développement dans l'environnement de production que sur le dimensionnement du traitement thermique lui-même.

Facteurs influençant la thermorésistance :

La thermorésistance d'une bactérie n'est pas une caractéristique fixe. Pour une même espèce, voire pour une même souche, elle peut varier considérablement selon les conditions dans lesquelles le micro-organisme s'est développé et selon les caractéristiques du produit alimentaire. Cette variabilité explique les écarts parfois importants observés dans les valeurs D rapportées dans la littérature (Soni et al., 2022). De nombreux facteurs peuvent influencer la survie des bactéries et de leurs spores face à un traitement thermique.

Facteurs liés au micro-organisme :

- l'espèce et la souche considérées ;
- la capacité à sporuler ;
- les conditions de formation des spores (température, disponibilité en nutriments, stress environnementaux) ;
- l'état physiologique de la cellule ;
- l'exposition préalable à des stress thermiques, osmotiques ou oxydatifs ;
- la capacité à produire des protéines de protection, telles que les protéines de choc thermique ;
- la formation de biofilms, susceptibles d'augmenter la résistance globale de la population microbienne.

Facteurs liés à l'aliment :

- le pH ;
- l'activité de l'eau (a_w) ;
- la teneur en matières grasses ;
- la concentration en sucres ou en sel ;
- la composition globale de la matrice alimentaire ;
- la présence éventuelle de composés protecteurs ou inhibiteurs.

D'une manière générale, les environnements peu humides, riches en matières grasses, en sucres ou en sel tendent à protéger les micro-organismes et leurs spores contre l'effet létal de la chaleur. À l'inverse, une diminution du pH ou de l'activité de l'eau peut limiter leur capacité à survivre ou à se développer après traitement thermique.

Ces interactions expliquent qu'un traitement thermique validé pour un produit donné ne puisse pas être transposé directement à une autre matrice alimentaire. Le choix du barème doit donc toujours tenir compte à la fois du micro-organisme ciblé et des caractéristiques propres du produit concerné (Desai & Varadaraj, 2010 ; Soni et al., 2022 ; Wells-Bennik et al., 2016).

À retenir : la thermorésistance résulte de l'interaction entre le micro-organisme, son historique physiologique et son environnement. La connaissance de ces facteurs est indispensable pour dimensionner efficacement un traitement thermique et garantir la stabilité microbiologique des produits.

Impact des bactéries sporulées en agro-alimentaire

Les bactéries sporulées thermorésistantes représentent un enjeu majeur pour les industries agroalimentaires utilisant des traitements thermiques de conservation. Leur impact peut concerner à la fois la sécurité sanitaire des aliments et leur stabilité commerciale, avec des conséquences économiques parfois importantes liées aux non-conformités, aux retraits de produits ou à la destruction de lots (Snyder et al., 2024).

Un risque principalement lié aux produits traités thermiquement

Les produits les plus concernés sont les aliments ayant subi un traitement thermique et conditionnés dans un emballage étanche, tels que les conserves, plats cuisinés appertisés, produits laitiers traités thermiquement ou certaines boissons pasteurisées. La survie de spores après traitement thermique n'entraîne pas systématiquement une altération du produit. Cependant, lorsque les conditions deviennent favorables, ces spores peuvent germer puis se multiplier, conduisant à des défauts microbiologiques parfois détectés plusieurs semaines ou plusieurs mois après la fabrication (Wells-Bennik et al., 2016).

Un double enjeu : sécurité sanitaire et stabilité commerciale

La majorité des bactéries thermorésistantes rencontrées dans l'industrie agroalimentaire sont responsables d'altérations sans risque direct pour le consommateur. C'est notamment le cas des bactéries thermophiles d'altération telles que *Geobacillus*, *Moorella* ou *Thermoanaerobacterium* (André et al., 2013 ; Durand, 2014). Certaines bactéries sporulées présentent toutefois un enjeu sanitaire majeur, notamment *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* et certaines souches du groupe *Bacillus cereus* (EFSA, 2016 ; Tran, 2025). La maîtrise des traitements thermiques vise donc à garantir simultanément la sécurité sanitaire du produit et sa stabilité microbiologique pendant toute sa durée de conservation.

Des altérations variées selon les espèces

Les bactéries sporulées thermorésistantes peuvent être à l'origine de nombreuses altérations :

- acidification du produit ;
- production de gaz ;
- gonflement des emballages
- développement d'odeurs ou de goûts anormaux ;
- altérations protéolytiques pouvant conduire à des phénomènes de putréfaction ;
- coagulation de certains produits laitiers ;
- modification de la texture ;
- décoloration ou altération de l'apparence du produit.

Ces altérations conduisent à une diminution de la durée de conservation et peuvent rendre le produit impropre à la commercialisation (Sharma et al., 2021 ; Snyder et al., 2024).

À titre d'exemple, *Alicyclobacillus acidoterrestris* peut produire du gäïacol, composé responsable d'odeurs médicinales, fumées ou antiseptiques détectables à des concentrations inférieures au seuil de quelques microgrammes par litre (Foudos, 2014 ; Sourri et al., 2022 ; Tyfa & Kunicka-Styczyńska, 2026).

Deux situations technologiques à distinguer

Produits acides ($\text{pH} \leq 4,5$)

Pour les aliments suffisamment acides, la croissance de *Clostridium botulinum* est inhibée. Les traitements thermiques appliqués sont généralement des pasteurisations dont l'objectif principal est la destruction des formes végétatives. Dans ce contexte, des spores peuvent survivre sans nécessairement conduire à une altération du produit, le pH limitant leur germination et leur croissance (ICMSF, 2005 ; Wells-Bennik et al., 2016).

Produits peu acides ($\text{pH} > 4,5$)

Pour les conserves peu acides, les traitements de stérilisation ont pour objectif d'inactiver à la fois les cellules végétatives et les spores des bactéries pathogènes. Toutefois, certaines bactéries thermophiles hautement thermorésistantes (voir encadré THT) peuvent survivre à ces traitements sans compromettre la sécurité sanitaire du produit. Elles peuvent néanmoins être à l'origine de défauts de stabilité commerciale, notamment lors d'un stockage prolongé à température élevée ou lors des essais d'incubation à 55 °C (André et al., 2013 ; Durand, 2014).

À retenir : les bactéries sporulées thermorésistantes sont principalement responsables de pertes économiques liées à l'altération des produits. Certaines espèces présentent également un enjeu sanitaire majeur, ce qui justifie une maîtrise rigoureuse de l'ensemble de la chaîne de production, depuis les matières premières jusqu'au produit fini.

Remarque sur l'impact de la qualité des matières premières B to B inadaptée à une utilisation en appertisé

La maîtrise des bactéries sporulées thermorésistantes ne repose pas uniquement sur le traitement thermique appliqué au produit fini. La qualité microbiologique des matières premières constitue également un facteur déterminant dans la stabilité des produits appertisés.

En effet, une matière première peut être conforme à un cahier des charges microbiologique classique tout en présentant une charge élevée en spores thermorésistantes incompatible avec une utilisation en conserve ou en produit stérilisé. Dans ce contexte, la conformité réglementaire ou contractuelle ne garantit pas nécessairement l'aptitude technologique de l'ingrédient pour l'usage envisagé. Une contamination initiale importante en spores augmente mécaniquement la probabilité qu'une fraction survive au traitement thermique. Selon les conditions de fabrication, certaines étapes du procédé peuvent également favoriser leur accumulation, leur activation, leur germination ou leur multiplication avant la stabilisation du produit (Wells-Bennik et al., 2016 ; Durand, 2014).

Cette problématique est particulièrement importante dans les relations interentreprises (B2B), où une même matière première peut être destinée à des applications très différentes. Un ingrédient adapté à un produit réfrigéré ou à consommation rapide ne sera pas forcément adapté à une utilisation dans un produit appertisé destiné à une conservation de plusieurs années à température ambiante.

La qualité microbiologique attendue doit donc être définie en fonction de l'usage technologique final. Les spécifications ne devraient pas se limiter aux indicateurs microbiologiques généraux, mais prendre en compte, lorsque cela est pertinent, la présence et le niveau de contamination en bactéries sporulées, en spores thermorésistantes ou en micro-organismes d'altération ciblés.

Il est ainsi recommandé que le fournisseur et l'utilisateur définissent conjointement des critères adaptés au produit fini, au procédé thermique appliqué et à la durée de vie attendue. Cette approche peut s'appuyer sur des spécifications dédiées relatives à la flore sporulée, à certaines bactéries thermophiles d'altération ou à des méthodes d'échantillonnage et d'analyse spécifiquement adaptées au risque identifié.

À retenir : une matière première microbiologiquement conforme n'est pas nécessairement adaptée à une utilisation en appertisation. La prise en compte du risque lié aux spores thermorésistantes dès la définition des cahiers des charges constitue un levier essentiel pour sécuriser les procédés, limiter les non-conformités et prévenir les pertes économiques.

Comment limiter l'impact de ces bactéries sur la production ?

La maîtrise des bactéries sporulées thermorésistantes ne peut reposer sur un seul levier. En raison de leur capacité à survivre dans l'environnement, à former des biofilms et, pour certaines, à résister à des traitements thermiques sévères, leur contrôle nécessite une approche globale intégrant les matières premières, l'environnement de production, le procédé de fabrication et les conditions de conservation du produit fini (Wells-Bennik et al., 2016 ; Snyder et al., 2024). L'objectif n'est pas uniquement de détruire les spores présentes, mais également de limiter leur introduction, leur multiplication et leur dissémination tout au long du procédé.

Agir dès les matières premières

Les matières premières constituent la principale voie d'introduction des bactéries sporulées dans les ateliers agroalimentaires. Les légumes, fruits, céréales, épices, matières premières animales ou encore certains ingrédients secs peuvent naturellement véhiculer des spores issues du sol ou de l'environnement (Wells-Bennik et al., 2016). La maîtrise du risque commence donc par la sélection des fournisseurs et la définition de spécifications microbiologiques adaptées à l'usage final du produit. Pour les fabrications appertisées, une attention particulière doit être portée aux flores sporulées et aux bactéries thermophiles potentiellement associées à des défauts de stabilité (Durand, 2014 ; André et al., 2013).

Prévenir la multiplication et la dissémination dans l'usine

Une fois introduites dans l'environnement de production, les spores peuvent être dispersées par les eaux de procédé, les aérosols, les poussières, les équipements ou encore les déplacements du personnel (Wells-Bennik et al., 2016). Certaines zones de l'usine sont particulièrement propices au développement des bactéries thermophiles :

- cuves tampons ;
- circuits d'eau chaude ;
- blanchisseurs ;
- échangeurs thermiques ;
- évaporateurs ;
- équipements soumis à des arrêts prolongés ;
- zones présentant des temps d'attente importants entre deux étapes de fabrication.

Ces environnements chauds et humides peuvent favoriser la germination des spores puis la multiplication des cellules végétatives. Les populations ainsi générées peuvent ensuite resporuler et augmenter progressivement la contamination de l'atelier (Durand, 2014). La réduction des temps de séjour, la maîtrise des températures intermédiaires et l'élimination des zones de rétention constituent donc des mesures essentielles.

Maîtriser le nettoyage et les biofilms

Les spores présentent naturellement une résistance élevée à la chaleur, à la dessiccation et à certains désinfectants (Setlow, 2006). De plus, plusieurs bactéries sporulées sont capables de former des biofilms qui augmentent leur persistance sur les équipements (Wells-Bennik et al., 2016). Le nettoyage doit avoir pour objectif prioritaire l'élimination de la matière organique et des biofilms avant l'application du désinfectant. Une attention particulière doit être portée aux zones difficilement accessibles, aux circuits fermés et aux équipements fonctionnant à température élevée. La validation régulière des procédures de nettoyage-désinfection permet de vérifier leur efficacité vis-à-vis des contaminations sporulées.

Adapter le traitement thermique au risque identifié

Le traitement thermique demeure le principal levier de maîtrise directement appliqué au produit. Son dimensionnement doit tenir compte des micro-organismes ciblés, de leur niveau de contamination, des caractéristiques de la matrice alimentaire ainsi que de la durée de conservation attendue.

Pour les produits peu acides, les barèmes de stérilisation sont conçus pour assurer la destruction des spores des bactéries pathogènes, en particulier *Clostridium botulinum*. Selon les caractéristiques du produit et la contamination initiale, certaines spores d'altération thermorésistantes peuvent néanmoins survivre sans remettre en cause la sécurité sanitaire du produit (André et al., 2013 ; EFSA, 2016 ; Soni et al., 2022).

La maîtrise du risque repose également sur la limitation de la germination et du développement de spores survivantes. Plusieurs paramètres peuvent contribuer à cette maîtrise :

- le pH ;
- l'activité de l'eau (a_w) ;
- la teneur en sel ou en sucres ;
- la formulation du produit ;
- la température de stockage ;
- la rapidité du refroidissement après traitement thermique.

Cette approche dite des « barrières multiples » contribue au maintien de la stabilité microbiologique pendant toute la durée de conservation du produit (Wells-Bennik et al., 2016).

À retenir : la maîtrise des bactéries sporulées thermorésistantes repose sur une approche multifactorielle associant qualité des matières premières, maîtrise de l'environnement de production, nettoyage-désinfection performant, traitement thermique adapté et contrôle du comportement microbiologique du produit fini.

Limitier la germination et la croissance après traitement

Même lorsqu'un faible nombre de spores survit au traitement thermique, leur impact peut être limité en empêchant leur germination ou leur développement.

Cette maîtrise repose notamment sur :

- un refroidissement rapide des produits ;
- des conditions de stockage adaptées ;
- la maîtrise du pH ;
- la maîtrise de l'activité de l'eau (aw) ;
- la formulation du produit lorsque cela est possible.

Ces obstacles complémentaires participent à la stabilité microbiologique du produit tout au long de sa durée de vie (Wells-Bennik et al., 2016).

Vérifier la stabilité des produits finis

Enfin, la validation de la maîtrise du risque passe par la réalisation d'essais adaptés aux caractéristiques du produit. Les tests de stabilité, les études de conservation et les investigations microbiologiques permettent de vérifier que le procédé, la formulation et les conditions de fabrication assurent le maintien de la qualité microbiologique du produit pendant toute sa durée de conservation (André et al., 2013 ; Durand, 2014).

À retenir : la lutte contre les bactéries sporulées thermorésistantes repose sur une approche multifactorielle associant qualité des matières premières, hygiène des installations, maîtrise des zones chaudes, nettoyage-désinfection performant, traitement thermique adapté et vérification de la stabilité des produits finis. Une action limitée au seul traitement thermique est rarement suffisante pour maîtriser durablement le risque (Wells-Bennik et al., 2016 ; Snyder et al., 2024).

Validation de la stabilité microbiologique des produits finis

La maîtrise des bactéries sporulées thermorésistantes ne s'arrête pas à la validation du procédé ou à l'application du traitement thermique. La vérification de la stabilité microbiologique du produit fini constitue une étape essentielle pour s'assurer que les objectifs de sécurité sanitaire et de durée de conservation sont atteints.

Les tests de stabilité microbiologique permettent d'évaluer le comportement réel du produit après fabrication. Ils consistent à soumettre des échantillons à des conditions favorisant la révélation d'une éventuelle contamination résiduelle.

Pour les conserves et autres produits stables à température ambiante, ces essais reposent généralement sur des incubations à différentes températures, notamment :

- 30 à 37 °C pour la recherche de bactéries mésophiles ;
- 55 °C pour la détection des bactéries thermophiles d'altération.

À l'issue des incubations, différents critères peuvent être évalués :

- gonflement des emballages ;

- production de gaz ;
- évolution du pH ;
- altérations organoleptiques ;
- dénombrements microbiologiques ;
- identification des micro-organismes détectés.

Test de routine (NF V08-408)

Le test de routine, réalisé conformément à la norme NF V08-408, constitue l'essai de suivi couramment utilisé pour vérifier la maîtrise microbiologique des fabrications. Il repose généralement sur une incubation de courte durée, de l'ordre de 7 jours.

Test de référence (NF V08-401)

Lorsque le niveau de démonstration attendu est plus élevé, notamment dans le cadre d'un développement produit, d'une validation de procédé ou d'une investigation, le test de référence NF V08-401 peut être mis en œuvre. Cette méthode repose sur une période d'incubation plus longue, généralement de 21 jours, et sur un nombre plus important d'unités analysées.

Un outil d'aide à la décision

Les tests de stabilité sont particulièrement pertinents lors :

- du développement d'un nouveau produit ;
- d'une modification de formulation ;
- d'un changement de matière première ou de fournisseur ;
- d'une évolution du barème thermique ;
- d'un changement d'emballage ;
- de l'investigation d'une non-conformité.

Ils permettent de confirmer l'efficacité de la combinaison matière première-formulation-procédé-emballage et de détecter précocement d'éventuelles situations à risque.

À retenir : les essais de stabilité microbiologique constituent un outil essentiel pour démontrer la stabilité commerciale et la maîtrise microbiologique des produits appertisés.

En bref

Les bactéries thermorésistantes constituent un défi majeur pour les industries agroalimentaires utilisant des procédés de conservation par la chaleur. Si certaines espèces présentent un enjeu de sécurité sanitaire, la plupart sont surtout responsables de défauts de stabilité microbiologique et d'altérations pouvant compromettre la commercialisation des produits.

La maîtrise de ce risque ne repose pas uniquement sur la sévérité du traitement thermique. Elle nécessite une approche intégrée tenant compte de l'ensemble de la chaîne de production, depuis

la qualité microbiologique des matières premières jusqu'à la validation du produit fini, en passant par la maîtrise de l'environnement de fabrication et des procédés.

Dans un contexte marqué par le développement de produits à formulation simplifiée (« clean label »), la réduction des conservateurs et la recherche de procédés plus respectueux des qualités nutritionnelles et organoleptiques, la compréhension du comportement des bactéries sporulées thermorésistantes devient un levier essentiel pour garantir à la fois la sécurité, la stabilité et la performance économique des fabrications. Les tests de stabilité microbiologique et les démarches de validation constituent, dans ce contexte, des outils indispensables pour sécuriser les procédés, prévenir les altérations tardives et accompagner le développement de produits robustes tout au long de leur durée de conservation.

À retenir : la maîtrise des bactéries thermorésistantes ne se limite pas à la destruction des micro-organismes par la chaleur. Elle repose sur une combinaison de mesures préventives et correctives permettant de contrôler le risque à chaque étape du procédé et d'assurer durablement la qualité des produits mis sur le marché. Grâce à ses compétences complémentaires en microbiologie, procédés, formulation et emballage, le CTCPA accompagne les entreprises de toutes tailles dans cette démarche.

Tableau 1 : Résumé des flores sporulées présentes en industrie agroalimentaire.

Groupe de bactéries sporulées	Exemples représentatifs	Enjeu principal	Altérations ou risques associés	Produits concernés
Sporulés pathogènes	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium perfringens</i>	Sécurité sanitaire	Toxi-infections alimentaires, production de toxines, risque pour le consommateur	Conserves peu acides, plats cuisinés, produits carnés, produits réfrigérés selon les conditions de conservation
Sporulés thermophiles d'altération (THT)	<i>Geobacillus</i> spp., <i>Moorella</i> spp., <i>Thermoanaerobacterium</i> spp.	Stabilité commerciale	Acidification, production de gaz, gonflement des emballages, non-conformités aux essais d'incubation à 55 °C	Conserves et produits appertisés peu acides
Sporulés acidophiles d'altération	<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	Qualité organoleptique	Production de géïacol, odeurs médicinales, antiseptiques ou fumées	Jus de fruits, boissons acides, concentrés de fruits
Sporulés associés aux produits laitiers	<i>Bacillus sporothermodurans</i> , autres <i>Bacillus</i> spp. thermorésistants	Qualité et durée de vie	Persistance après traitement thermique, altérations sensorielles, instabilités variables selon les produits	Lait UHT, boissons lactées, ingrédients laitiers
Sporulés environnementaux à fort potentiel de persistance	<i>Bacillus</i> spp., <i>Paenibacillus</i> spp.	Hygiène industrielle	Contamination des équipements, biofilms, recontamination des procédés	Tous secteurs agroalimentaires utilisant des traitements thermiques

Rôle du CTCPA

La maîtrise des bactéries sporulées thermorésistantes nécessite une approche multidisciplinaire associant microbiologie, procédés thermiques, formulation, emballage et hygiène industrielle. Grâce à son expertise reconnue dans le domaine des produits appertisés et de la stabilité microbiologique, le CTCPA accompagne les entreprises agroalimentaires dans l'identification, l'évaluation et la maîtrise de ces risques tout au long du cycle de vie du produit.

Cette expertise s'appuie sur plusieurs décennies d'expérience acquises auprès d'acteurs de toutes tailles, depuis les artisans et PME jusqu'aux groupes industriels, confrontés à des problématiques de stabilité commerciale, d'altération microbiologique ou de validation de procédés.

Une expertise en environnement de production

Le CTCPA accompagne les entreprises dans la prévention de l'introduction, de la dissémination et de la persistance des bactéries sporulées au sein des ateliers de fabrication.

Cet accompagnement peut notamment porter sur :

- les audits d'hygiène et de maîtrise microbiologique ;
- l'identification des sources de contamination ;
- la maîtrise des zones chaudes et des temps d'attente ;
- la conception hygiénique des équipements ;
- l'optimisation des procédures de nettoyage et de désinfection ;
- la formation aux bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication.

Une expertise en produits et en procédés

Les équipes du CTCPA accompagnent également les industriels dans le développement et la sécurisation de leurs produits en tenant compte des contraintes microbiologiques, technologiques et réglementaires.

Les prestations peuvent inclure :

- le choix et la validation des traitements thermiques ;
- le dimensionnement des barèmes de pasteurisation ou de stérilisation ;
- l'évaluation de l'impact des formulations sur la stabilité microbiologique ;
- le choix des solutions d'emballage ;
- la validation des opérations de fermeture (sertissage ou capsulage) ;
- l'optimisation de la durée de conservation.

Une expertise avancée en microbiologie

Le CTCPA dispose de compétences et d'outils permettant de caractériser précisément les contaminations microbiologiques et d'en rechercher l'origine.

Les entreprises peuvent notamment bénéficier de :

- tests de stabilité microbiologique le laboratoire de microbiologie est accrédité par le Cofrac pour les tests de routine (NF V08-408) et les tests de référence (NF V08-401) ;
- investigations à la suite d'altérations ou de non-conformités.
- challenge tests le laboratoire de microbiologie est reconnu par la DGAL pour la réalisation des tests de croissance (challenge test) avec *Listeria monocytogenes* (NS du 28/11/2013).
- Laboratoire reconnue par la DGAL pour valider des dossiers de durée de vie microbiologique des aliments IT DGAL/SDSSA/2024-270
- Dénombrement et recherche de flores sporulées;
- identification bactérienne par SporeTraQ™ et séquençage ;
- analyses de métagénomique
- études de microbiologie prévisionnelle avec l'outil Sym'Previus ;

Un accompagnement global de la maîtrise du risque

En combinant expertise analytique, connaissance des procédés et retour d'expérience terrain, le CTCPA aide les industriels à sécuriser leurs fabrications, à prévenir les défauts de stabilité microbiologique et à réduire les pertes économiques associées aux contaminations par des bactéries sporulées thermorésistantes.

Dans un contexte marqué par le développement de produits à formulation simplifiée, la recherche de traitements thermiques plus modérés et l'allongement des durées de conservation, cet accompagnement permet de concilier innovation, qualité produit, stabilité microbiologique et sécurité sanitaire.

À retenir : de l'audit de ligne à la validation d'un barème thermique, en passant par les tests de stabilité et l'identification des micro-organismes responsables d'altérations, le CTCPA propose une approche intégrée permettant d'accompagner les industriels à chaque étape de la maîtrise du risque lié aux bactéries sporulées thermorésistantes.

Bibliographie

AFNOR. (1997). NF V08-408. Microbiologie des aliments - Contrôle de la stabilité des produits appertisés et assimilés - Méthode de routine. AFNOR Éditions.

AFNOR. NF V08-401. Microbiologie des aliments - Contrôle de la stabilité des produits appertisés et assimilés - Méthode de référence. AFNOR Éditions.

André, S., Zuber, F., & Remize, F. (2013). Thermophilic spore-forming bacteria isolated from spoiled canned food and their heat resistance: Results of a French ten-year survey. *International Journal of Food Microbiology*, 165(2), 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.04.019>

CTCPA. (2025). Sécurité microbiologique : Conserves et tests de stabilité, qu'est-ce que c'est ?

Desai, S. V., & Varadaraj, M. C. (2010). Behavioural pattern of vegetative cells and spores of *Bacillus cereus* as affected by time-temperature combinations used in processing of Indian traditional foods. *Journal of Food Science and Technology*, 47(5), 549-556. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0099-9>

Durand, L. (2014). Écologie et diversité des bactéries thermophiles formant des spores dans les conserves alimentaires. Thèse de doctorat, Université d'Avignon.

European Food Safety Authority (EFSA). (2016). Risques de santé publique liés au groupe *Bacillus cereus*. EFSA. <https://www.efsa.europa.eu/fr/press/news/160720>

Foudos, N. (2014). *Alicyclobacillus* spp. control in the fruit juice industry.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (2005). *Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities*.

Nicholson, W. L., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J., & Setlow, P. (2000). Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(3), 548-572. <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.3.548-572>.

Setlow, P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: Their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals. *Journal of Applied Microbiology*, 101(3), 514-525. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02736.x>.

Setlow, P. (2014). Germination of spores of *Bacillus* species: What we know and do not know. *Journal of Bacteriology*, 196(7), 1297-1305. <https://doi.org/10.1128/JB.01455-13>

Sharma, C., Devki, Gupta, V., Neelam, D., & Rahi, R. K. (2021). Spore forming bacteria responsible for food spoilage: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 40(2), 197-205. <https://doi.org/10.18805/AJDFR.DR-1626> [arccjournals.com]

Snyder, A. B., Martin, N., & Wiedmann, M. (2024). Microbial food spoilage: Impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*, 22, 531-548. <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01037-1> [nature.com]

Soni, A., Bremer, P., & Brightwell, G. (2022). A comprehensive review of variability in the thermal resistance (D-values) of food-borne pathogens: A challenge for thermal validation trials. *Foods*, 11(24), Article 4117. <https://doi.org/10.3390/foods11244117> [mdpi.com]

Sourri, P., Tassou, C. C., Nychas, G.-J. E., & Panagou, E. Z. (2022). Fruit juice spoilage by *Alicyclobacillus*: Detection and control methods. A comprehensive review. *Foods*, 11(5), Article 747. <https://doi.org/10.3390/foods11050747> [mdpi.com], [pmc.ncbi.nlm.nih.gov]

Tran, C. (2025). Caractérisation du danger *Clostridium perfringens* dans les filières bovine, porcine et avicole à l'abattoir (Thèse de doctorat). École nationale vétérinaire d'Alfort.

Tyfa, A., & Kunicka-Styczyńska, A. (2026). *Alicyclobacillus acidoterrestris* eradication strategies with physical methods and natural-origin substances intended for food industry. *Molecules*, 31(2), 257. <https://doi.org/10.3390/molecules31020257>

Wells-Bennik, M. H. J., Eijlander, R. T., den Besten, H. M. W., Berendsen, E. M., Warda, A. K., Krawczyk, A. O., Nierop Groot, M. N., Xiao, Y., Zwietering, M. H., Kuipers, O. P., & Abbe, T. (2016). Bacterial spores in food: Survival, emergence, and outgrowth. *Annual Review of Food Science and Technology*, 7, 457-482. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033144>

Vous avez des questions ?
Contactez-nous directement sur contact@ctcpa.org

Le CTCPA en région, toujours un interlocuteur proche de vous !



PARIS - Siège
paris@ctcpa.org
+331 53 91 44 00

AMIENS
amiens@ctcpa.org
+333 22 53 23 00

AVIGNON
avignon@ctcpa.org
+334 90 84 17 09

AUCH
auch@ctcpa.org
+335 62 60 63 63

BEAUVAIS
mnmarissal@ctcpa.org
+333 22 53 23 18

BOURG-EN-BRESSE
bourg@ctcpa.org
+334 74 45 52 35

DIJON
clucet@ctcpa.org
+337 57 08 46 97

MONT-DE-MARSAN
vmoret@ctcpa.org
+336 34 14 49 24

NANTES
nantes@ctcpa.org
+332 40 40 47 41