

OFFRE DE THESE**RETHINK****Repenser les températures de stockage des produits surgelés pour une chaîne du froid plus durable****ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL**

Cette thèse se fera dans le cadre d'une collaboration entre l'unité de recherche Génie des procédés FRIGorifiques pour la Sécurité alimentaire et l'Environnement (FRISE) de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), l'unité Sécurité sanitaire des aliments d'origine aquatique (SANAQUA) du Laboratoire de Sécurité des Aliments (LSAI) et la Direction de l'Evaluation des Risques (DER) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) :

- L'unité de recherche FRISE localisée sur le site de l'INRAE d'Antony (92), développe des activités de recherche finalisée portant sur la production et l'utilisation du froid, et ce, dans l'objectif d'assurer la maîtrise des températures et de la qualité des produits alimentaires dans la chaîne du froid, tout en assurant un faible impact environnemental. Vous serez accueilli(e) au sein de l'équipe Metfri (Maîtrise des écoulements et des transferts dans la chaîne du froid et des procédés associés) qui aborde l'étude des écoulements et des transferts de chaleur et de matière dans les produits alimentaires et procédés frigorifiques mis en œuvre tout en tenant compte de l'impact des technologies sur la qualité et la sécurité des produits traités. Elle s'intéresse en particulier à la modélisation de la chaîne du froid, l'aérodynamique dans les équipements frigorifiques et à la cristallisation/recristallisation dans les produits surgelés.
- L'unité SANAQUA de l'Anses, à travers son équipe de bactériologie, mène des recherches sur les dangers microbiologiques dans les environnements et les produits aquatiques, avec une attention particulière portée à *Listeria monocytogenes* et aux vibrions marins (*Vibrio parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*). L'équipe étudie l'écologie, la persistance et la virulence de ces agents pathogènes dans les environnements de transformation alimentaire et les produits de la mer, ainsi que leur résistance aux antimicrobiens. Elle développe également et valide des méthodes de détection, de quantification et de caractérisation de ces bactéries, constituant ainsi une expertise de référence aux niveaux national et européen. Par ailleurs, la DER de l'Anses dispose d'une expertise reconnue dans le développement et l'application de modèles de microbiologie prédictive et d'évaluation quantitative des risques microbiologiques (QMRA). Elle conçoit et met en œuvre des modèles décrivant le comportement des microorganismes dans les aliments en fonction des conditions de transformation et de stockage, et permettant d'évaluer l'impact de ces dynamiques sur la santé des consommateurs. À travers ces travaux, l'Anses contribue à améliorer la compréhension des risques microbiologiques tout au long de la chaîne alimentaire et à renforcer la sécurité sanitaire des aliments.

La thèse se déroulera en deux phases principales, avec une présence prolongée dans chaque structure. Le/la doctorant(e) sera accueilli(e) dans un premier temps au sein de l'unité FRISE (INRAE, Antony), puis dans un second temps au sein de l'unité SANAQUA (Anses, Boulogne-sur-Mer). Des échanges ponctuels entre les deux sites pourront avoir lieu si nécessaire, mais l'organisation globale vise à limiter les déplacements fréquents et à assurer des périodes de travail continues dans chaque laboratoire.

MISSION ET ACTIVITÉS**■ Problématique - enjeux scientifiques et technologiques**

La conservation des aliments par congélation repose sur le maintien d'une température réglementaire de -18°C , garantissant la stabilité microbiologique et la préservation des propriétés de qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits tout au long de la chaîne du froid. Toutefois, cette exigence contribue fortement à la consommation énergétique du secteur, la chaîne du froid représentant une part significative de la consommation électrique mondiale et des émissions de gaz à effet de serre.

Dans un contexte de transition écologique, le relèvement des températures de stockage apparaît comme un levier prometteur pour réduire les coûts énergétiques et l'empreinte environnementale de la filière des aliments congelés.

Néanmoins, une telle évolution soulève des verrous scientifiques majeurs, car elle peut impacter simultanément la qualité des produits et leur sécurité sanitaire.

Sur le plan physico-chimique, les conditions de congélation et de stockage, à travers les phénomènes de cristallisation et de recristallisation, déterminent la formation et l'évolution de la microstructure cristalline (forme, localisation, taille et distribution des cristaux de glace) dans les aliments. Cette microstructure conditionne directement les propriétés de qualité organoleptiques et nutritionnelles des aliments et, in fine, leur acceptabilité par le consommateur.

D'un point de vue microbiologique, la congélation ne conduit pas à une élimination systématique des microorganismes. Certains de ces microorganismes, notamment des pathogènes tels que *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* ou *Vibrio spp.* peuvent survivre aux basses températures et potentiellement être affectés de manière complexe par les conditions thermiques et microstructurales. Leur comportement dans des conditions de stockage supérieures à -18°C reste encore peu documenté, en particulier dans la plage de température comprise entre -5°C et -18°C , pourtant critique pour les scénarios de relèvement de température. La compréhension des mécanismes de survie ou d'inactivation dans des conditions de stockage modifiées constitue un enjeu central pour garantir la sécurité des aliments.

Dans ce contexte, l'évaluation des risques sanitaires associés à ces nouvelles conditions nécessite le recours à des approches quantitatives intégrées. Les méthodes d'analyse quantitative des risques microbiologiques (AQRM) constituent aujourd'hui un cadre de référence pour estimer l'exposition des consommateurs et le risque d'infection en fonction des conditions de conservation, de stockage et de consommation. Toutefois, les applications d'AQRM aux produits congelés restent très limitées et ne prennent généralement pas en compte l'effet des variations de température le long de la chaîne du froid.

Par ailleurs, l'évaluation des bénéfices énergétiques et environnementaux attendus d'un relèvement des températures de stockage des produits congelés doit être mise en regard des impacts potentiels sur la qualité et la sécurité sanitaire, ce qui implique de traiter des compromis complexes entre dimensions technologiques, sanitaires et environnementales.

À ce jour, les approches disponibles restent largement sectorisées, sans cadre intégrateur permettant d'analyser conjointement ces dimensions et leurs interactions à l'échelle du système. Aucune approche intégrée ne permet d'articuler de manière cohérente les données relatives à la microstructure, à la qualité, à la dynamique microbienne et aux risques associés, ainsi qu'aux impacts énergétiques et environnementaux. Le projet RETHINK se propose ainsi de lever ces verrous en développant une approche systémique et multicritère, combinant modélisation des procédés, cinétiques de dégradation de la qualité, microbiologie prédictive et AQRM, afin d'évaluer de manière robuste les conditions dans lesquelles un relèvement des températures de stockage pourrait être envisagé sans compromettre la qualité des aliments ni la sécurité sanitaire des consommateurs.

■ Questions scientifiques posées, positionnement et objectifs de la thèse:

Les défis liés au relèvement de la température dans la chaîne du froid des aliments surgelés soulèvent plusieurs questions scientifiques majeures:

1. Comment les conditions de congélation et de stockage influencent-elles la microstructure et la qualité des aliments surgelés ainsi que leurs évolutions au cours du temps ?
2. Quelle est l'influence des conditions de congélation et de stockage sur la survie/l'inactivation des microorganismes ainsi que sur les risques sanitaires associés ?
3. Quels liens existent-ils entre la microstructure et la survie et/ou l'inactivation des microorganismes pathogènes ?
4. Comment intégrer ces connaissances dans une évaluation quantitative des risques pour le consommateur ?
5. Comment concilier les objectifs potentiellement antagonistes de qualité, sécurité sanitaire et efficacité énergétique ?

Ce projet de thèse a pour objectif d'apporter des réponses à ces questions scientifiques. Elle vise ainsi à comprendre et modéliser les effets d'un changement des températures de stockage sur : (i) la microstructure des aliments congelés, (ii) leurs propriétés de qualité, (iii) la survie des microorganismes pathogènes et le risque sanitaire associé et (iv) la consommation énergétique ainsi que l'impact environnemental de la chaîne du froid des produits congelés. L'ambition est de développer un outil d'aide à la décision multicritère capable d'évaluer différents scénarios et d'identifier les compromis optimaux entre ces dimensions.

■ Approche méthodologique et travaux envisagés:

Les travaux porteront sur trois couples produit/pathogène représentatifs : saumon-*listeria monocytogenes*, crevette – *Vibrio spp.* et poulet – *salmonella*. Le travail de thèse s'articulera autour de plusieurs volets :

- Analyse de la qualité : caractérisation expérimentale de la microstructure (microtomographie à rayons X, cryomicroscopie) et des propriétés de qualité (texture, perte en eau, perte en nutriments...) en fonction des conditions de congélation et de stockage et développement de modèles prédictifs.
- Analyse microbiologique : étude de la survie/inactivation de pathogènes (challenge test, approches biomoléculaires) et développement de modèles de microbiologie prévisionnelle.
- Évaluation des risques : intégration des données microbiologiques dans des modèles de type AQRM (approches probabilistes) afin d'estimer les risques pour le consommateur.
- Modélisation multicritère : développement d'un outil intégrant qualité, sécurité et consommation énergétique pour simuler différents scénarios de chaîne du froid.

Les expérimentations porteront sur plusieurs couples produit/pathogène représentatifs (produits de la mer, viande, etc.)

■ Résultats attendus et valorisation:

La thèse permettra :

- d'acquérir de nouvelles connaissances sur les interactions entre procédés, microstructure, qualité et sécurité des aliments surgelés ;
- de produire des données sur les cinétiques d'évolution de qualité et sur les dynamiques microbiennes sur les gammes de température de produits congelés ;
- de développer des modèles prédictifs robustes intégrant variabilité et incertitude ;
- de proposer un outil d'aide à la décision pour les industriels et les autorités publiques ;
- de contribuer à l'évolution des pratiques et potentiellement des cadres réglementaires.

Les résultats seront valorisés par des publications scientifiques, des communications internationales et des transferts vers les acteurs de la filière (pouvoirs publics, industriels...).

PROFIL RECHERCHE

- Formation recommandée : Ingénieur avec une expérience de stage en laboratoire de recherche, M2 Recherche ou équivalent en génie des procédés alimentaires ou microbiologie.
- Connaissances souhaitées : Phénomènes de transferts de matière et d'énergie ; Microbiologie ; Approches de modélisation et simulation numérique (notamment avec les logiciels R, Matlab et Python); ; Bonne maîtrise de l'anglais (oral et écrit).
- Connaissance appréciée : Sciences des Aliments ; Analyse d'image, Statistique-Probabilité.
- Aptitudes recherchées : Intérêt pour la recherche, l'interdisciplinarité (procédés alimentaires – microbiologie) ; Goût pour l'expérimentation et la modélisation ; Autonomie ; Prise d'initiatives ; Travail en équipe ; Rigueur ; Capacité rédactionnelle ; Aisance à l'oral

↳ Modalités d'accueil

- Unité: INRAE- FRISE, Antony et Anses – SANAQUAL, Boulogne sur mer
- Durée: 36 mois
- Date de début souhaité : 01/12/2026
- Rémunération : 2300 € brut mensuel

↳ Modalités pour postuler

- Transmettre un CV et une lettre de motivation à :
fatou-toutie.ndoye@inrae.fr
Thomas.BRAUGE@anses.fr
hayat.benkhelifa@inrae.fr
Laurent.GUILLIER@anses.fr
- Date limite de candidature : 30/06/2026