

FICHE DE RECUEIL DES FAITS MARQUANTS DES DEPARTEMENTS/CENTRES/METAPROGRAMMES

(Renseigner une fiche par fait marquant, classification des rubriques en annexe)

Année concernée : 2019

Fiche envoyée par : nom du Département/Centre/MP

Priorité attribuée au FM (à renseigner par le CD/PC/Directeur de MP) :

Titre du fait marquant : Exploration du premier métavirome de la surface du fromage

Catégorie:

Publication : <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103278>

Dugat-Bony, E., Lossouarn, J., De Paepe, M., Sarthou, A.-S., Fedala, Y., Petit, M.-A., Chaillou, S., 2020. Viral metagenomic analysis of the cheese surface: A comparative study of rapid procedures for extracting viral particles. Food Microbiology 85, 103278.

Contact : Eric Dugat-Bony

Unité : GMPA

Département : MICA

Centre INRA de Recherche : Versailles-Grignon

Méta-programme (si adapté): MEM

Priorité principale du Document d'Orientation:

#Food-3 : Les qualités des aliments élaborées dès l'amont

Plan d'action (si adapté) :

Mots-clés (rubrique libre) : Fromage, métagénomique virale, bactériophages

Résumé (10 lignes) :

Si la composition de l'écosystème microbien du fromage commence à être bien décrite dans la littérature, les règles d'assemblage des communautés microbiennes restent encore largement méconnues. En particulier, l'impact des virus sur les communautés microbiennes des fromages n'a jamais été étudié. Dans le cadre du projet Virome Access, nous avons optimisé une méthode d'extraction de particules virales à partir de la surface du fromage et réalisé le premier métagénome viral de cet écosystème, en choisissant l'Epoisses comme modèle. La communauté virale de ce fromage est exclusivement composée de bactériophages. En plus des phages de ferments lactiques, de nombreuses séquences présentant une homologie avec des phages infectant des bactéries nonensemencées mais abondantes sur la surface de l'Epoisses, telles que *Pseudoalteromonas*, ont été identifiées.

Contexte et enjeux :

La surface du fromage est un écosystème microbien dense et diversifié, qui est composé de bactéries, de levures et de champignons filamenteux. Grâce aux récents développements des méthodes de séquençage à haut débit, la composition des communautés microbiennes de nombreux fromages provenant du monde entier a pu être révélée.

Les virus sont capables d'infecter tous les êtres vivants connus, des procaryotes aux eucaryotes et même, parfois, d'autres virus. Dans les écosystèmes naturels, il est reconnu que la prédation virale peut jouer un rôle majeur dans la structuration et le fonctionnement des communautés microbiennes. Malheureusement, l'identification des virus (et de leurs hôtes potentiels) est impossible sur la base de critères morphologiques et il n'existe pas de gène marqueur permettant de réaliser des analyses phylogénétiques ou des profils de communautés virales à partir d'échantillons complexes. C'est la raison pour laquelle la structure et le rôle des communautés virales restent encore largement méconnus pour de nombreux écosystèmes.

Dans les toutes dernières années, la métagénomique virale a été développée et utilisée pour commencer à décrire les communautés virales à partir d'échantillons environnementaux, notamment de l'océan, de systèmes d'eau douce, du sol et du microbiote intestinal.

Seulement quelques exemples d'application sur des aliments fermentés sont disponibles dans la littérature, mais jusqu'à présent aucun ne concernait le fromage.

Mieux connaître la composition et le rôle de la diversité virale présente en surface de cet aliment pourrait à terme permettre de l'exploiter comme levier pour moduler la composition de la flore microbienne et ainsi jouer sur la qualité des produits.

Résultats :

D'après les données disponibles dans la littérature, nous avons comparé et modifié plusieurs procédures d'extraction de particules virales pour les adapter à des échantillons de surface de fromage. Pour les évaluer, nous avons utilisé trois variétés de fromage bien distinctes : le Camembert (croûte fleurie), l'Epoisses (croûte lavée) et le Saint-Nectaire (croûte naturelle). Nous avons pu montrer que, par rapport à une procédure standard, l'ajout d'une étape de filtration et d'un traitement des préparations de virus au chloroforme permettait d'obtenir des métaviromes de très bonne qualité, caractérisés par une très faible contamination par des séquences d'origine microbienne (<1% des lectures).

Cette étude nous a également permis de repérer que l'Epoisses, un fromage à pâte molle et à croûte lavée, était particulièrement riche en particules virales ($>10^{10}$ particules/g des surface). Nous avons donc choisi cet exemple pour produire le premier métagénome viral de la surface de fromage. L'analyse des séquences a permis de reconstruire plusieurs génomes viraux complets et de dresser un profil de la communauté virale de l'Epoisses. Cette dernière est exclusivement composée de bactériophages dont plusieurs ont pu être identifiés par comparaison avec des bases de données de génomes viraux. Comme attendu, plusieurs phages de ferments lactiques ont pu être repérés parmi les phages les plus abondants. Cependant, de nombreux phages présentant une certaine homologie avec des phages infectant des bactéries non ensemencées mais pourtant abondantes sur la surface de l'Epoisses, telles que *Pseudoalteromonas*, *Glutamicibacter*, *Vibrio*, *Leuconostoc* ou *Halomonas*, ont également été identifiés.

Perspectives :

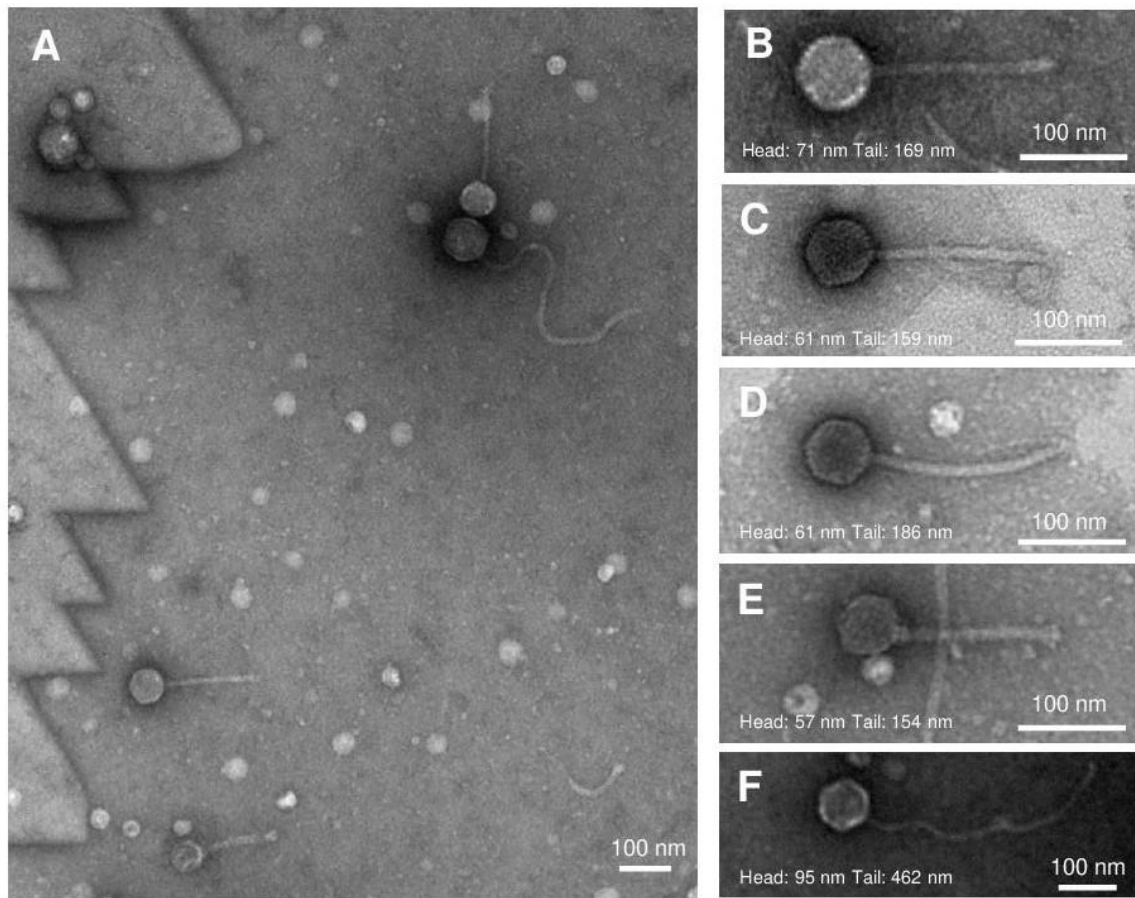
Ces travaux ont permis à la fois de mettre au point les méthodes nécessaires à l'application de la métagénomique virale pour l'étude de l'écosystème fromager, et d'apporter les premiers éléments de connaissance sur la composition de la communauté virale d'un fromage. L'isolement de phages représentants de cette communauté et leur étude *in vitro* permettra de mieux comprendre leur rôle écologique dans la structuration de l'écosystème et leur possible influence sur le processus de maturation du fromage.

Valorisation :

Dugat-Bony, E., Lossouarn, J., De Paepe, M., Sarthou, A.-S., Fedala, Y., Petit, M.-A., Chaillou, S., 2020. Viral metagenomic analysis of the cheese surface: A comparative study of rapid procedures for extracting viral particles. *Food Microbiology* 85, 103278.

<https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103278>

Illustrations (au format jpg, avec légende, auteur de la photo, et copyright s'il y en a un)



Légende : images de microscopie électronique à transmission montrant la diversité morphologique des particules virales présentes en surface de l'Epoisses (Figure 6 de l'article <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103278>)

Champ thématique et priorité du SSD Mica dans lequel s'inscrit le fait marquant (le cas échéant)
Inscrivez un X dans la ou les case(s) correspondantes

- CT1: Microbiologie pour une approche raisonnée des biotechnologies**
- Priorité 1 : Ingénierie et conception des microorganismes, vers une meilleure intégration des procédés
- Priorité 2 : définition des règles de fonctionnement des communautés microbiennes pour leur pilotage et le contrôle des bioprocédés

- CT2: Microbiologie pour la qualité, durabilité et sûreté des aliments**
- Priorité 1 : Les risques microbiens associés à de nouvelles contraintes, de nouvelles pratiques et de nouveaux produits
- Priorité 2 : Assemblages des communautés microbiennes des aliments pour des fonctions d'intérêt
- Priorité 3 : Les aliments « microbiens » (aliments fermentés pré, pro, sym- biotiques) comme leviers du bien- être et de la santé

- CT3: Microbiologie pour le maintien de la santé animale et humaine**
- Priorité 1 : Comprendre les interactions chez l'hôte
- Priorité 2 : Diagnostic et nouvelles approches thérapeutiques
- Priorité 3 : Évaluer l'impact de l'environnement sur le microbiote et la santé de l'hôte
- Priorité 4 : Décrypter la dynamique des flux microbiens. Cette priorité est partagée par le CT2

Grands objectifs Mica dans lequel s'inscrit le fait marquant
Inscrivez un X dans la ou les case(s) correspondantes

- Objectif 1 : Relever les défis de la biologie de synthèse**
- Livrable 1 : Identifier des leviers permettant la maîtrise des flux et l'efficacité des voies métaboliques
- Livrable 2 : Construction rationnelle de souches châssis et design de voies de biosynthèse naturelles ou artificielles
- Livrable 3 : Développer des fonctionnalités compatibles avec les contraintes des procédés industriels

- Objectif 2 : Les fermentations alimentaires, quelles innovations en réponse aux nouveaux défis de l'alimentation ?**
- Livrable 1 : Assemblage raisonné de souches et espèces pour des consortia microbiens à finalités ciblées
- Livrable 2 : Clarification de la valeur nutritionnelle des aliments fermentés et des bénéfices santé de leur ingestion
- Livrable 3 : Construction d'un partenariat avec SAD sur la dimension microbienne de l'évolution des modes de production et circuits alimentaires

- Objectif 3 : Limiter l'apparition de résistances aux anti-infectieux**
- Livrable 1 : Pratiques d'élevage améliorant la résistance des animaux aux pathogènes lors des périodes sensibles
- Livrable 2 : Propositions pour l'usage raisonné et la réduction d'usage des antibiotiques
- Livrable 3 : Alternatives thérapeutiques aux antibiotiques
- Livrable 4 : Maîtrise des flux de gènes de résistance aux antibiotiques et de leur émergence

- Objectif 4 : Favoriser la symbiose Microbiote-Homme**
- Livrable 1 : Comprendre ce qu'est un microbiote bénéfique (adapté au dialogue avec l'hôte) et dysbiotique
- Livrable 2 : Identifier les mécanismes du dialogue au sein du microbiote et entre le microbiote et l'hôte
- Livrable 3 : Impact de l'environnement et des pratiques sociétales sur la détérioration de microbiote et de la santé humaine
- Livrable 4 : Effet de composés alimentaires et de souches sur la résilience et la restauration d'un microbiote en symbiose avec l'hôte.

Objectif 5 : MICA et les acteurs non marchands de la société civile

Autre (divers) : Précisez :

CLASSIFICATION

Priorités du Document d'Orientation (voir <http://2025.inra.fr/>)

[#Global] L'ambition globale d'atteindre la sécurité alimentaire dans un contexte de transitions

- **#Global-1** : Des transitions globales assumées
- **#Global-2** : La disponibilité des bio-ressources gérée aux différentes échelles
- **#Global-3** : Une vision intégrée des comportements, des marchés et des échanges
- **#Global-4** : Des approches territorialisées au service d'une compréhension générique des performances des systèmes alimentaires

[#3Perf] Des agricultures diverses et multi-performantes

- **#3Perf-1** : L'agro-écologie mobilisée au service de la multi-performance des agricultures
- **#3Perf-2** : D'autres leviers biologiques et technologiques pour la multi-performance
- **#3Perf-3** : L'évaluation multicritère pour objectiver les performances
- **#3Perf-4** : Des transitions comprises et facilitées

[#Climat] Les systèmes agricoles et forestiers face au défi climatique

- **#Climat-1** : L'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique
- **#Climat-2** : La maîtrise de la contribution de l'agriculture et de la forêt à l'effet de serre
- **#Climat-3** : La conservation de la biodiversité et la valorisation des services
- **#Climat-4** : La préservation et la valorisation des ressources en eau et en sol

[#Food] Une alimentation saine et durable

- **#Food-1** : De nouveaux systèmes alimentaires territorialisés, notamment urbains
- **#Food-2** : Les systèmes alimentaires alliés de la santé
- **#Food-3** : Les qualités des aliments élaborées dès l'amont

[#BioRes] Des bio-ressources aux usages complémentaires

- **#BioRes-1** : Le développement des biotechnologies vertes et blanches
- **#BioRes-2** : L'apport des biotechnologies et des procédés pour de nouvelles ressources adaptées aux usages
- **#BioRes-3** : La conception de systèmes bioéconomiques

[#OpenScience] Une science ouverte grâce au numérique

- **#OpenScience-1** : Des infrastructures de recherche connectées
- **#OpenScience-2** : Une organisation des données pour le partage et la réutilisation
- **#OpenScience-3** : Des approches prédictives en biologie
- **#OpenScience-4** : De nouveaux modes de diffusion de la connaissance
- **#OpenScience-5** : Le métier et l'environnement du chercheur adaptés au numérique

[#OpenInra] Un acteur national de l'innovation ouvert dans les territoires

- **#OpenInra-1** : Une ouverture vers l'enseignement supérieur et un partenariat territorial renforcés
- **#OpenInra-2** : La mobilisation de toute l'expertise de l'Inra en appui aux politiques publiques
- **#OpenInra-3** : Le chemin vers l'innovation bénéficie d'un pilotage renforcé
- **#OpenInra-4** : La Science ouverte aux acteurs non-marchands de la société

[#Appui] Anticiper et accompagner les évolutions

- **#Appui-1** : Une organisation efficiente, agile, résiliente

- **#Appui-2** : Une stratégie de financement fiable et solidaire
- **#Appui-3** : Un Institut attractif et motivant pour ses agents
- **#Appui-4** : Les actions et les valeurs de l'Institut visibles et partagées par une communication externe et interne active
- **#Appui-5** : Un pilotage institutionnel efficace et partagé

Plans d'action

- **Ressources humaines et communication interne** : pour assurer l'attractivité et la cohésion d'une communauté de travail chargée d'une mission majeure de service public, en veillant à la motivation et à la qualité de vie au travail des agents titulaires, contractuels ou partenaires
- **Coopération avec l'enseignement supérieur** : pour décliner les thématiques prioritaires de l'Inra en stratégies scientifiques de sites, partagées avec nos partenaires dans les territoires, contribuant à faire de chaque grand site universitaire un pôle de rayonnement international sur les thématiques d'excellence de l'Inra
- **Innovation** : pour valoriser et élargir le formidable potentiel d'innovation de l'Institut, en combinant les disciplines, en co-construisant avec les acteurs des filières et des territoires, en valorisant nos infrastructures et en ciblant des domaines d'innovation prioritaires
- **Stratégie européenne et internationale** : pour décliner la stratégie scientifique de l'Inra avec un plan d'action visant à mobiliser nos principaux partenaires sur nos priorités au sein d'un réseau mondial de la recherche agronomique et alimentaire, et à assurer notre présence dans les institutions internationales
- **Prospective scientifique interdisciplinaire** : pour éclairer les futurs fronts de science, enrichir nos orientations, développer des actions incitatives, favoriser des partenariats scientifiques, économiques, disciplinaires ou de formation
 - ✓ Sciences pour les élevages de demain
 - ✓ Intégration des recherches (nexus) santé-alimentation-élevage
 - ✓ Agro-écologie
 - ✓ Approches prédictives en biologie et en écologie

Méta-programmes

- SMACH
- M2E-MEM
- GISA
- SELGEN
- DID'IT
- ACCAF
- EcoServ
- Glofoods