

# RESSOURCES

Tiré à part de la revue d'INRAE #3

décembre 2022

Décryptage

## Le potentiel insoupçonné des aliments fermentés

**Manger  
fermenté,  
manger  
durable?**

**Les 4 atouts  
des aliments  
fermentés**

**Un potentiel  
au service de  
la transition  
alimentaire**

**SOMMAIRE**  
**LE POTENTIEL INSOUÇONNÉ**  
**DES ALIMENTS FERMENTÉS**

**LE PROCESSUS**  
**DE FERMENTATION**

INFOGRAPHIE  
P. 6

**MANGER**  
**FERMENTÉ,**  
**MANGER**  
**DURABLE ?**

P. 8

**LES 4 ATOUTS**  
**DES ALIMENTS**  
**FERMENTÉS**

P. 14

**UN POTENTIEL**  
**AU SERVICE DE**  
**LA TRANSITION**  
**ALIMENTAIRE**

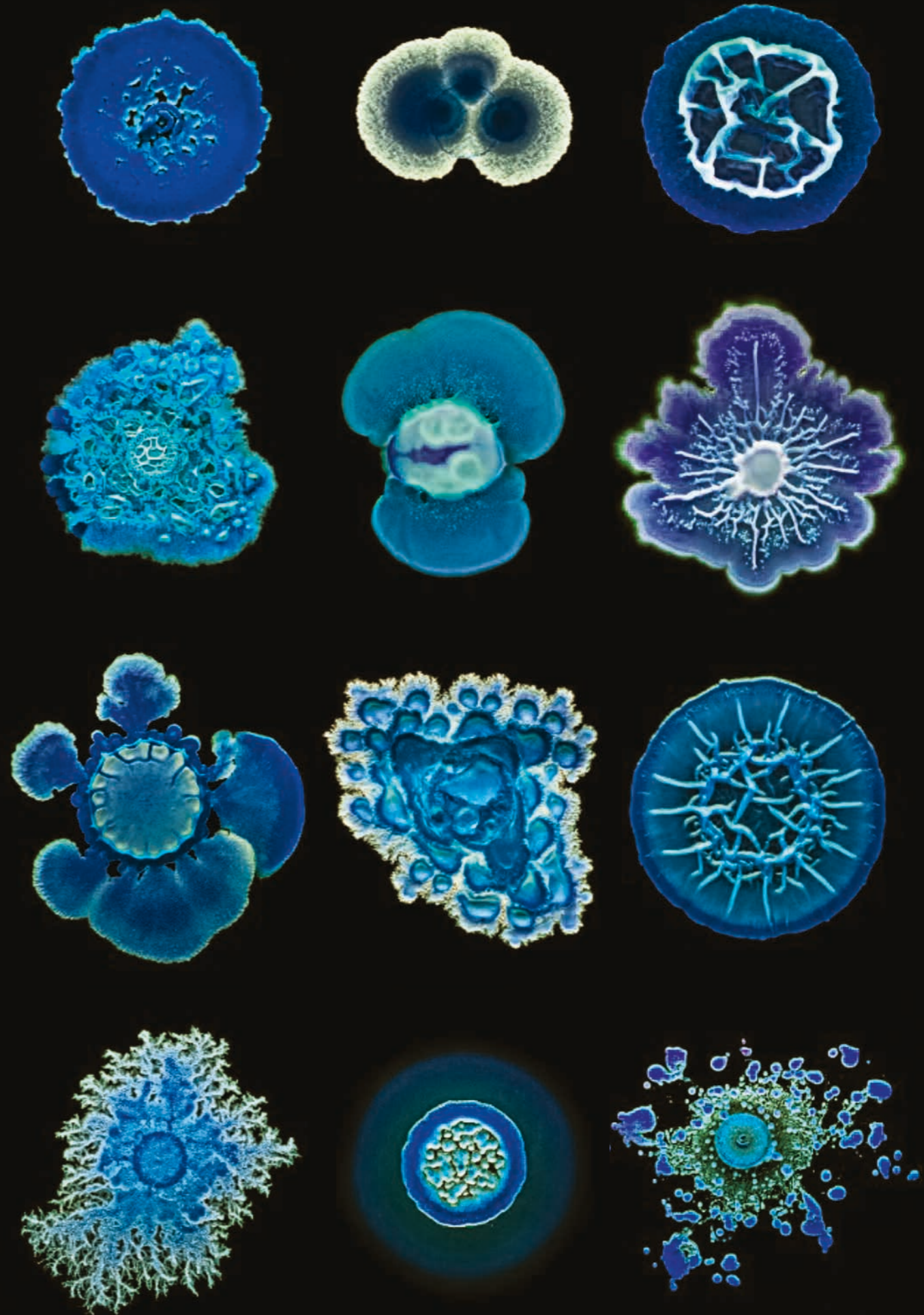
P. 20

---

Ce dossier est extrait de la revue Ressources#3, tiré à part  
à l'occasion du lancement du Grand Défi Ferments du Futur

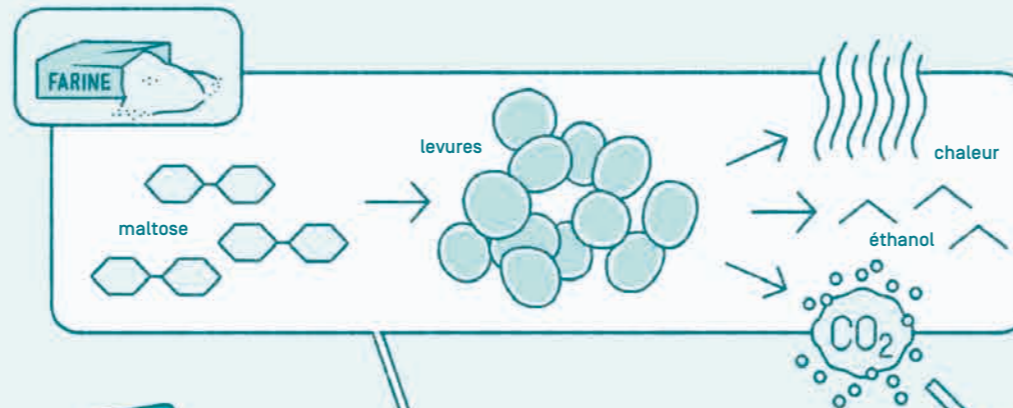
# LE POTENTIEL INSOUPÇONNÉ DES ALIMENTS FERMENTÉS

La fermentation, procédé ancestral de préservation des aliments, repose sur l'activité de microorganismes qui empêchent le développement de bactéries pathogènes, mais aussi génèrent de nouvelles propriétés sensorielles et nutritionnelles. Sains, durables et dotés d'un potentiel inexploré, les aliments fermentés pourraient bien occuper une place de choix dans l'alimentation de demain, en particulier pour « végétaliser » les régimes occidentaux.



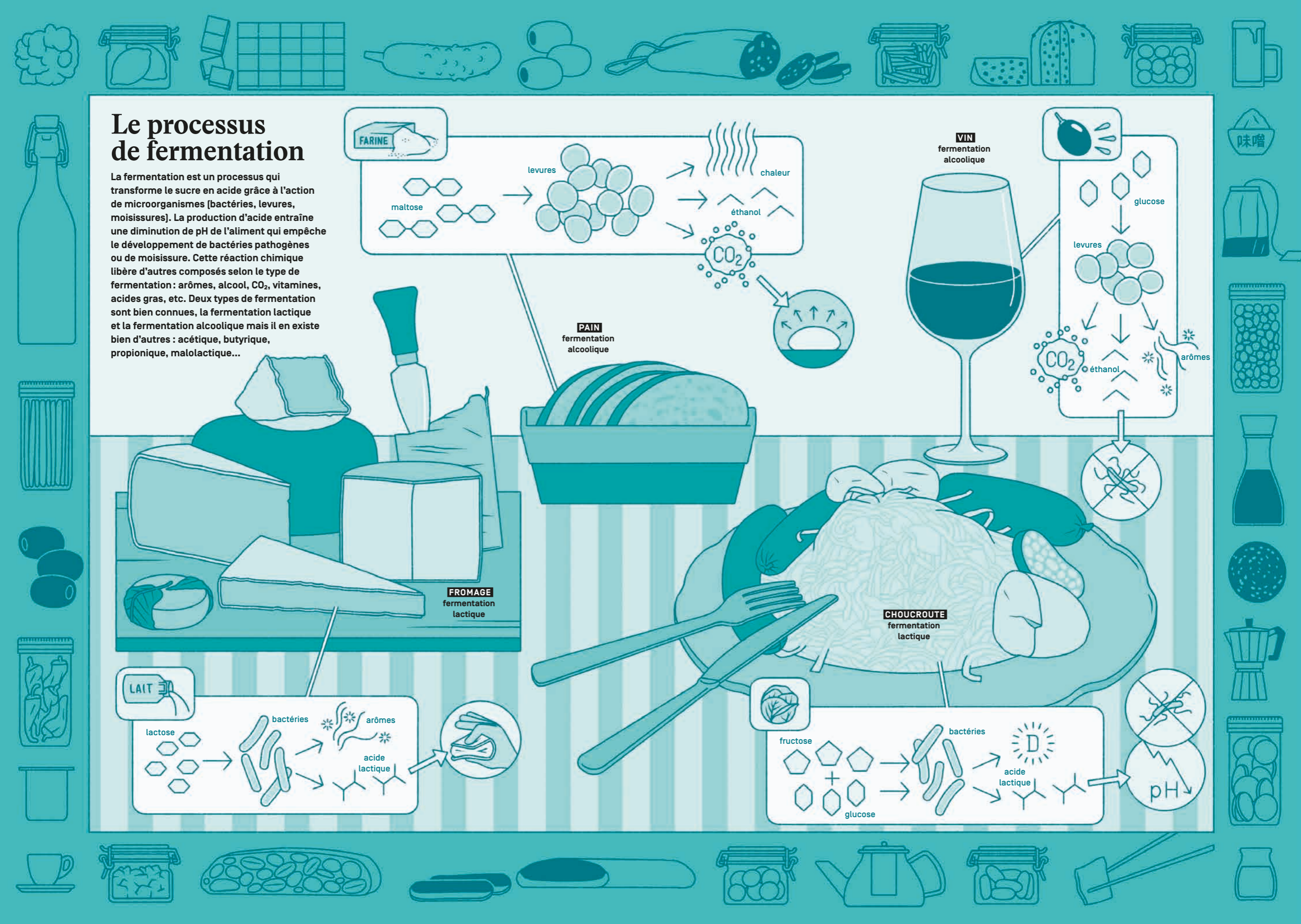
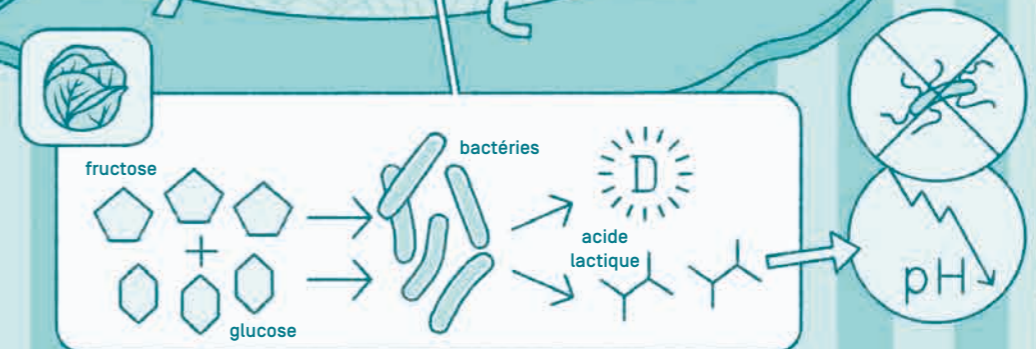
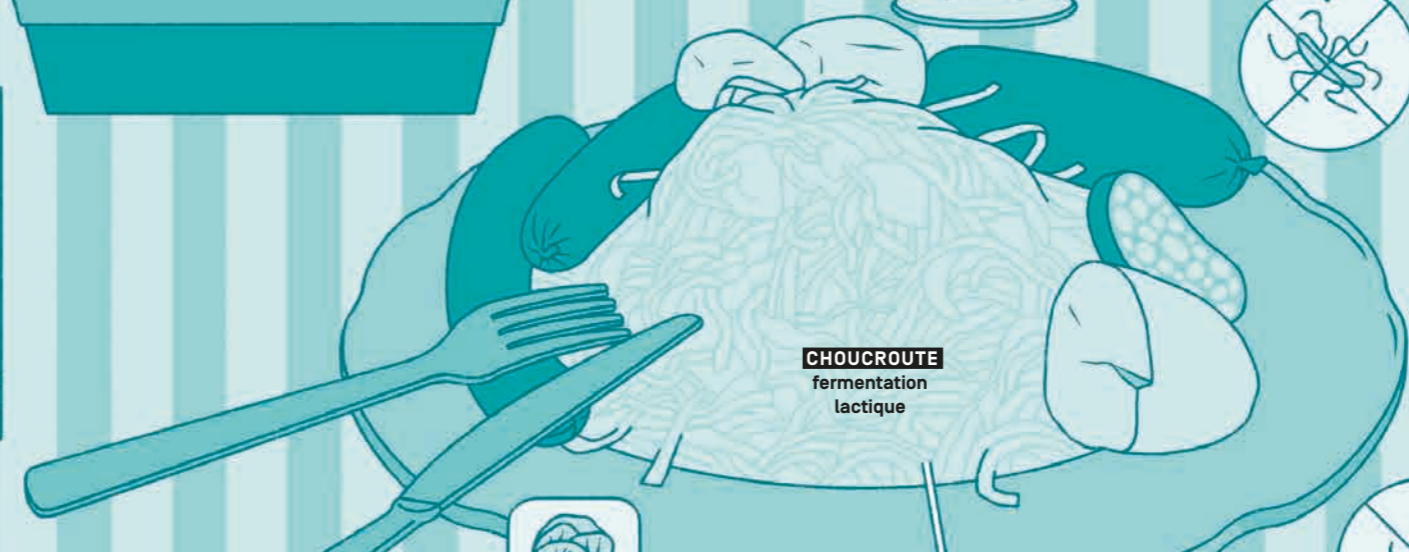
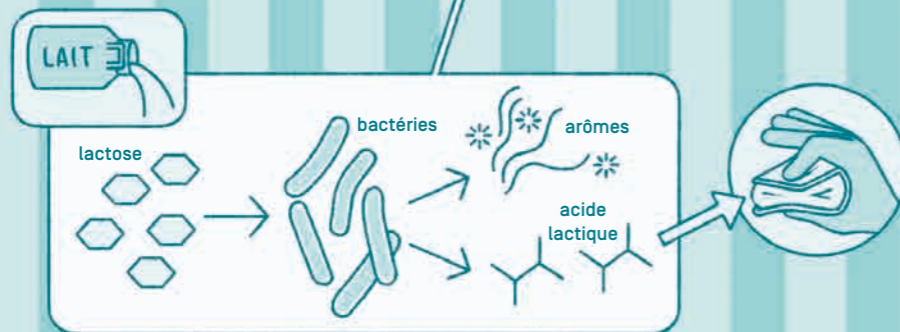
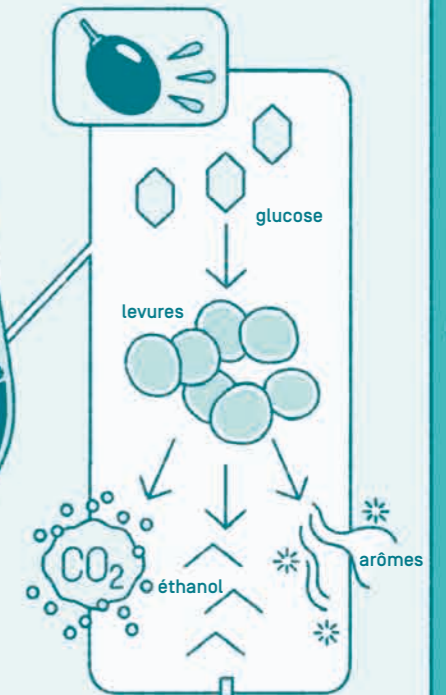
# Le processus de fermentation

La fermentation est un processus qui transforme le sucre en acide grâce à l'action de microorganismes (bactéries, levures, moisissures). La production d'acide entraîne une diminution de pH de l'aliment qui empêche le développement de bactéries pathogènes ou de moisissure. Cette réaction chimique libère d'autres composés selon le type de fermentation : arômes, alcool, CO<sub>2</sub>, vitamines, acides gras, etc. Deux types de fermentation sont bien connues, la fermentation lactique et la fermentation alcoolique mais il en existe bien d'autres : acétique, butyrique, propionique, malolactique...



**PAIN**  
fermentation alcoolique

**VIN**  
fermentation alcoolique



# MANGER FERMENTÉ, MANGER DURABLE ?

Revenir à des procédés plus naturels pour conserver nos aliments et leur donner du goût serait une des clés des transitions vers une alimentation plus durable pour les pays qui doivent intégrer plus de végétal dans leur assiette.

## Le b.a.-ba de la fermentation.

Fermentez du jus de raisin, vous obtiendrez du vin, fermentez de la farine avec de l'eau vous obtiendrez du pain, fermentez du lait vous obtiendrez des yaourts ou du fromage. Pain, vin, fromage, yaourts, mais aussi choucroute, cornichons, saucissons, olives..., les aliments fermentés sont très souvent dans nos assiettes ou dans nos verres. Parfois même sans que nous le sachions : le thé, le café, le chocolat sont aussi issus de la fermentation. Ce procédé ancestral, qui a été industrialisé dans les années 1970, revient aujourd'hui sur le devant de la scène avec, comme atouts, plus de naturalité et de durabilité. Se passer d'additifs, développer de nouveaux arômes, créer de nouveaux aliments..., la fermentation offre un poten-

**5 000**  
aliments  
fermentés sont  
produits et  
consommés  
dans le monde

Entre 1 million et  
plusieurs milliards  
de microorganismes  
par gramme  
d'aliment fermenté

tiel extraordinaire. Bienvenue au cœur des recherches pour l'alimentation de demain. Mais commençons par le commencement.

### De la connaissance empirique à l'industrialisation

On vous parle d'un temps que même les plus de 20 ans ne peuvent pas connaître ! Un temps où les réfrigérateurs et congélateurs n'existaient pas pour conserver les aliments, un temps où les conserves n'avaient pas encore été inventées. Et pourtant, il y a des milliers d'années, comme aujourd'hui, il fallait bien trouver un moyen pour que les récoltes de l'été puissent nourrir toute l'année. Le moyen ? La fermentation ! Les pre-

mières traces d'aliments fermentés remontent à 13 000 avant J.-C. sur le pourtour méditerranéen, 2 000 avant J.-C. au Moyen-Orient et 300 avant J.-C. en Chine. Quant au vin, les plus anciennes jarres, retrouvées en Géorgie (Moyen-Orient) sont datées d'environ 6 000 ans avant J.-C.

Pendant de nombreux siècles la fermentation était considérée comme une action de décomposition. C'est seulement en 1857 que Louis Pasteur démontre que la fermentation est le résultat de l'action d'organismes vivants, les levures et bactéries. Il met en lumière les mécanismes biochimiques du processus en particulier de la fermentation alcoolique du vin et de la betterave. Ce n'est que dans les années 1960/1970 que la fermentation se développe à une échelle industrielle, en particulier pour les produits laitiers comme les yaourts. L'objectif est alors de stabiliser le processus, de mieux le contrôler, le maîtriser et le standardiser avec la volonté in fine d'assurer la sécurité sanitaire de ces aliments en empêchant la prolifération de bactéries pathogènes. « *L'industrialisation de la fermentation a permis de fiabiliser le procédé et ainsi d'éviter des pertes causées par d'éventuelles fermentations spontanées et indésirables* », précise Sylvie Dequin, cheffe du département Microbiologie et chaîne alimentaire (MICA) d'INRAE.

### L'art de fermenter

Fermenter c'est simple. Prenez une matrice – fruit, légume, viande, céréale, légumineuse –, ajoutez des ferments – levures ou bactéries – et vous obtenez un nouvel aliment avec un goût, une texture et une composition nutritionnelle différents. Comment cela fonctionne-t-il ? En l'absence d'oxygène, les microorganismes, via l'action de leurs enzymes, dégradent le sucre (glucose, lactose, maltose, etc.) contenu dans l'aliment et produisent de l'acide ou de l'alcool mais également d'autres composés, du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), des arômes ou des vitamines par exemple. La production d'alcool,

### LEVURE OU BACTÉRIE ?

Les deux sont des organismes avec une seule cellule, mais la levure, de la famille des champignons, possède des éléments cellulaires (un noyau, des mitochondries...) dont les bactéries sont dépourvues.

### NE DITES PLUS LEVURE CHIMIQUE !

La levure est un champignon unicellulaire, il en existe plusieurs espèces, les plus connues sont du genre *Saccharomyces* responsables de la fermentation de la bière ou du pain. Le terme de levure chimique est utilisé – à mauvais escient – pour désigner une poudre à lever qui a certaines propriétés de la levure vivante (production de CO<sub>2</sub>), mais dont le processus, qui fait uniquement intervenir des réactions chimiques, n'a rien à voir avec la fermentation !

aux propriétés antimicrobiennes, ou d'acide qui va abaisser le pH du milieu empêchant les bactéries pathogènes de se développer, confère aux produits fermentés l'avantage de se conserver... sans conservateurs ! Il existe de nombreux types de fermentations. La fermentation lactique permet la production de yaourts, fromages ou choucroute. La fermentation alcoolique est réalisée par certaines levures qui dégradent le sucre du jus de raisin et produit de l'alcool (éthanol), du dioxyde de carbone et de nombreux composés aromatiques qui font toute la richesse gustative des vins. La fermentation acétique transforme le vin en vinaigre. La fermentation propionique permet d'obtenir les fromages à pâte cuite chez qui la libération de gaz carbonique est à l'origine des « trous » du gruyère ou de l'emmental. Fermentations malolactique, butyrique... toutes ces fermentations dépendent des microorganismes impliqués, des enzymes produites (protéines responsables de réactions chimiques) et des substrats présents dans la matrice. Avec potentiellement une infinité de combinaisons.

### Manger fermenté, levier de la durabilité

Pourquoi la fermentation revient-elle sur le devant de la scène et dans nos labos ? « *Avec le fromage, la charcuterie, le pain, le vin, la bière... les aliments fermentés ont toujours eu une part majeure dans l'alimentation des Occidentaux. Ce qui est nouveau c'est la fermentation d'autres fruits et légumes et le potentiel de nouvelles assiettes végétales qu'elle promet* », explique Catherine Renard, cheffe adjointe du département Aliments, produits biosourcés et déchets d'INRAE. En effet, un des facteurs clés d'une alimentation plus durable dans les pays occidentaux est de rééquilibrer les apports en protéines à 50/50 en origine animale et végétale alors qu'elles sont aujourd'hui consommées dans une proportion de 60/40. L'enjeu est donc de mettre plus de végétaux dans notre assiette. Pour séduire le →

### LA DOMESTICATION DES FERMENTS EN QUELQUES DATES

Il y a des milliers d'années, les êtres humains utilisaient déjà la fermentation pour stocker et conserver les récoltes de l'été mais également pour fabriquer des produits alcoolisés.

#### Néolithique

Tout autour du globe, les êtres humains ont peu à peu appris à conserver leurs aliments.

#### - 13 000

Les premières traces d'aliments fermentés sont retrouvées sur le pourtour méditerranéen

mais aussi au Moyen-Orient (2 000 ans avant J.-C.) et en Chine (300 ans avant J.-C.).

#### - 6 000

Des analyses chimiques ont détecté des traces de vins dans des jarres retrouvées en Géorgie.

#### 1789

Antoine Lavoisier consacre une part importante de ses recherches à la nature des fermentations.

#### 1857

Les travaux de Louis Pasteur révolutionnent le procédé de fermentation. La compréhension du processus et la

sélection de ferments appropriés permettent une fermentation plus rapide, plus stable et plus prévisible.

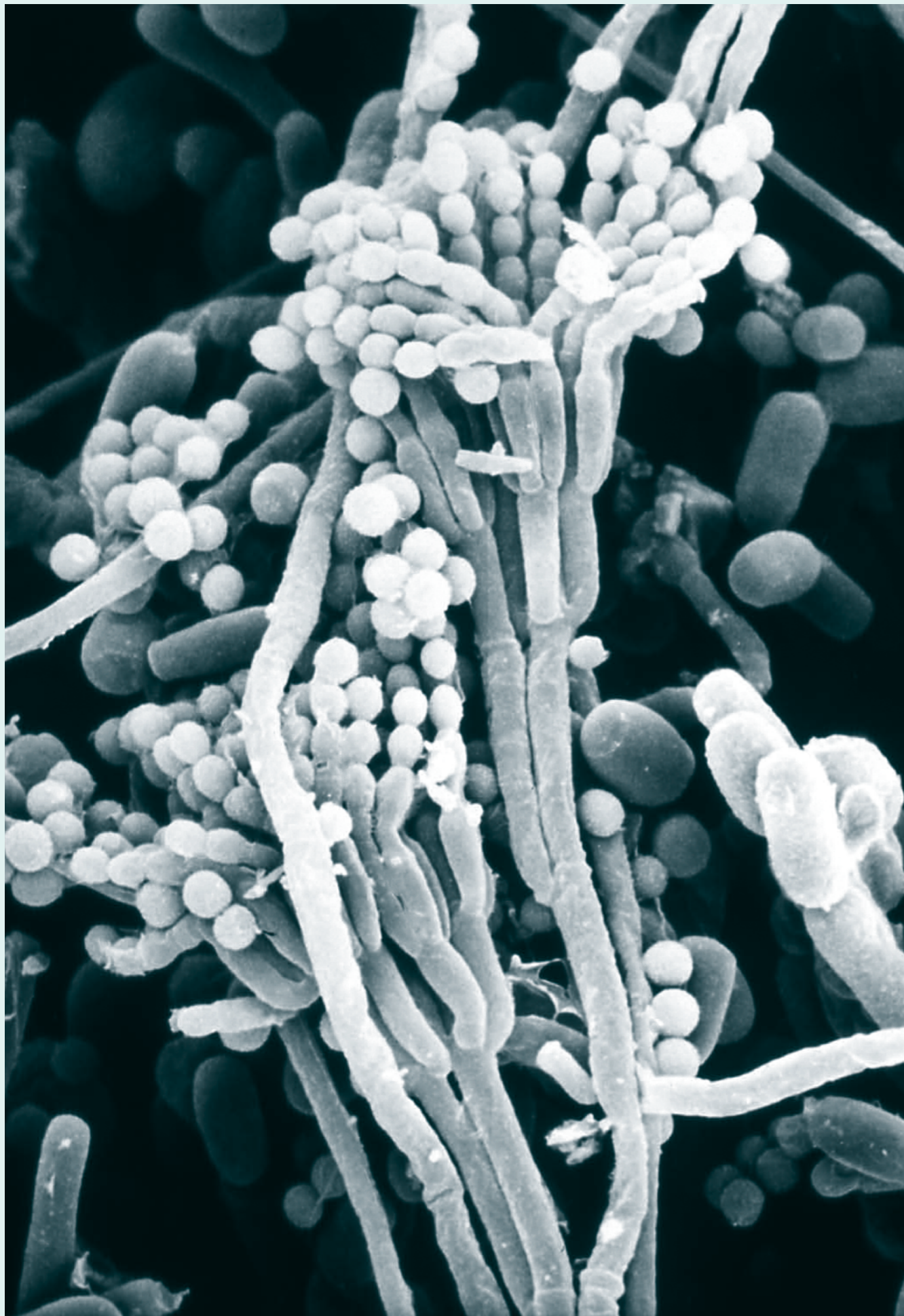
#### 1970

Le procédé entre dans une nouvelle ère : les microorganismes sont utilisés à l'échelle industrielle et

notamment dans l'industrie alimentaire.

#### 2022

Ce sont quelque 5 000 aliments fermentés qui sont consommés dans le monde.



Pencilium camemberti © INRAE - Micheline Rousseau

consommateur en quête de naturalité, fermenter des fruits et légumes leur conférant des goûts et des textures nouvelles tout en utilisant un procédé naturel est une piste très prometteuse. Fermenter des végétaux pour les conserver, c'est se passer d'additifs dans les aliments, c'est un procédé naturel qui demande peu d'équipement lourd. C'est aussi un procédé antigaspillage. Chez soi d'abord pour conserver sa production ou ses achats de fruit et de légumes, mais aussi chez les maraîchers, leur offrant de nouveaux débouchés, en particulier avec les fruits et légumes qui ne seraient pas au bon calibre. Ce serait également un moyen de conserver les récoltes à durée courte et qui sont parfois gaspillées faute de temps pour les vendre. Enfin, on peut également imaginer la fermentation de coproduits de l'agriculture ou de l'agroalimentaire. C'est ce qu'étudient les scientifiques de l'unité INRAE Sécurité et qualité des produits d'origine végétale (SQPOV) à Avignon dans le cadre du projet européen Demeter (Use of dietary fibre from pomaces of second class vegetables as food ingredient). Ils travaillent avec une légumerie pour étudier la fermentation de coproduits de fruits et légumes, permettant de les valoriser et d'éviter du gaspillage. Par exemple, les chercheurs regardent si fermenter des épluchures de légumes, riches en microconstituants d'intérêt (vitamines, minéraux, antioxydants, etc.) permettrait de stabiliser des produits qui peuvent vite s'altérer.

Durable c'est certain. Des nouvelles propriétés de texture et de goût, aussi. Qu'en est-il de l'impact santé de ces aliments? ●

**Fermenter des végétaux, c'est se passer d'additifs pour les conserver : un procédé naturel qui demande peu d'équipement lourd.**

## ÉVOLUTION

## Sélection chez les ferments

Depuis des millénaires, les humains, sans le savoir, ont utilisé la capacité des microorganismes à fermenter les fruits, les légumes, la viande, le poisson et les céréales pour produire des boissons alcoolisées, du pain, des légumes fermentés et de la charcuterie.

Au fil des siècles, ces fermentations ont conduit à une sélection de souches, privilégiant les plus efficaces et modifiant des espèces telles que les levures de vin, de bière ou de pain. Elles ont alors acquis de nouvelles caractéristiques par rapport à leurs ancêtres sauvages et peuvent être considérées maintenant comme des espèces domestiquées.

Les scientifiques, grâce aux approches de génomique comparative développées ces dernières années, ont mis en évidence les mécanismes moléculaires ayant contribué à l'évolution adaptative des génomes de ces microorganismes. « Un exemple remarquable issu des travaux de l'unité Sciences pour l'œnologie (SPO) est celui des levures *Saccharomyces cerevisiae*, utilisées dans la fermentation du vin, qui via un transfert de gènes provenant d'une levure éloignée génétiquement, ont acquis

la capacité à mieux utiliser les ressources azotées du moût de raisin et ainsi aider au bon déroulement de la fermentation », explique Sylvie Dequin. « C'est une sélection naturelle des espèces qui s'est faite pour s'adapter aux procédés développés par l'Homme. »

Des évolutions qui participent à la biodiversité des microorganismes dont on mesure aujourd'hui toute l'importance, notamment pour maintenir la diversité de notre microbiote intestinal.

Dans le cadre du projet de recherche participative Bakery, les scientifiques, avec l'aide des boulangers et paysans boulangers, ont mis en évidence une grande diversité de microorganismes dans les levains français. Alors qu'on pensait que seule la levure *Saccharomyces cerevisiae* était dans le levain des boulangers, les scientifiques y ont découvert 12 souches de levures et 19 espèces de bactéries !

Une biodiversité essentielle en lien avec les différentes variétés de blés cultivées et qui serait responsable des différentes qualités nutritionnelles et différents goûts du pain.

## RECHERCHE PARTICIPATIVE La fermentation au quotidien

La fermentation des légumes par les consommateurs connaît un fort engouement ces dernières années. Quelles sont leurs pratiques ? Quels légumes fermentent-ils ? Leurs productions maison sont-elles sécuritaires ?

Le projet de recherche participative Flegme, initié fin 2019 et porté par le pôle de compétitivité Vegepolis Valley et INRAE, a suivi les pratiques de production, mais aussi de consommation, de 250 citoyens fermenteurs. Les scientifiques d'INRAE ont collecté et analysé 75 échantillons de légumes fermentés à la maison. Résultats : plus de 30 légumes différents ont été fermentés, des choux, des carottes, des betteraves... mais aussi des légumes moins connus tels que la chayotte. « Nous avons collecté autant de recettes que d'échantillons ! Certains ont fait des mélanges de légumes, d'autres ont ajouté des condiments ou des épices », explique Florence Valence, responsable du Centre international de ressources microbiennes « Bactéries d'intérêt alimentaire » (CIRM-BIA) à l'unité Science et technologie du lait et de l'œuf (STLO). Et bonne nouvelle, aucun échantillon ne contenait de bactéries pathogènes. Un deuxième volet du projet Flegme consiste à déterminer l'impact des facteurs de fabrication, tels que la quantité de sel ou la façon dont les légumes sont découpés, sur le processus de fermentation. « L'objectif était de faire une fabrication contrôlée avec un plan d'expérience, sur le chou et la carotte, pour regarder comment

ces facteurs ont un impact sur les écosystèmes bactériens et leur cinétique. » Ce travail, mené en collaboration avec deux industriels (CTCPA et Protial) montre qu'au début de la lactofermentation [fermentation de légumes avec du sel], ce sont des entérobactéries qui se développent, des bactéries plutôt pathogènes, rapidement contrées par les bactéries lactiques, confirmant ainsi leur effet protecteur et conservateur. En fin de processus, l'écosystème est dominé par les bactéries lactiques, les bactéries pathogènes n'étant plus retrouvées vivantes dans les échantillons. Cette étude a permis de montrer que le degré de découpe des légumes avait un impact sur la fermentation. Pour le chou, la fermentation est mieux maîtrisée s'il est émincé comparé aux feuilles entières. Nous avons montré également que la concentration de sel de 1% usuellement utilisée pouvait être réduite à 0,8% sans impact notable sur la fermentation. Enfin, les porteurs du projet ont travaillé avec des sociologues pour comprendre les freins et les motivations à la consommation de légumes lactofermentés. Ainsi l'atout "fait maison" combiné à l'image santé souvent associée aux légumes lactofermentés ressortent parmi les premiers facteurs de motivation à en consommer. Un travail a également été conduit avec des lycées professionnels mais aussi des restaurateurs pour élaborer des recettes à base de légumes fermentés. « Ce procédé n'est pas nouveau, mais il y a encore un travail pour faire connaître et apprécier ces légumes aux consommateurs. On constate qu'il y a une réelle méconnaissance des citoyens sur ce qu'est un aliment fermenté et sur le fait qu'ils ingèrent des microorganismes vivants », conclut Florence Valence.

## SÉCURITÉ ALIMENTAIRE La fermentation comme option

Dans le monde merveilleux des microorganismes, il y a les gentils et les méchants. Les méchants, ce sont les bactéries pathogènes, par exemple *Listeria monocytogenes*, responsable de la listériose, ou les salmonelles, responsables de toxi-infections alimentaires. Les gentils, ce sont les bactéries et levures utiles, celles qui donnent leurs caractéristiques aux aliments (arômes, texture, etc.) ou simplement permettent de mieux les conserver. Celles, également, qui peuplent nos intestins, et forment le microbiote intestinal dont le rôle dans le maintien d'un bon état de santé a été démontré. Comme dans toutes les belles histoires, ce sont (presque) toujours les gentils qui gagnent... c'est le cas pour la fermentation : l'action des bactéries ou des levures utiles empêche généralement le développement de microorganismes pathogènes, et cela de façon tout à fait naturelle.

# Fermentation des aliments, voyage autour du monde



**Les aliments fermentés** sont présents dans l'alimentation sur toutes les zones du globe. Ils répondent à des enjeux différents.

**PAYS OCCIDENTAUX**  
Il s'agit de rééquilibrer les apports entre protéines animales et végétales et développer de nouveaux produits fermentés à base de végétaux.

**AFRIQUE**  
La fermentation des céréales est un enjeu fort pour assurer la sécurité alimentaire des populations. Il s'agit alors de sécuriser davantage les procédés pour limiter les pertes.

**ASIE**  
Manger des végétaux fermentés est très ancré dans la culture. Les Asiatiques ont des savoir-faire empiriques, l'enjeu pour eux est de développer des procédés plus sécurisés.

Si l'alimentation fermentée semble être un levier de la durabilité, elle a également d'autres vertus. Le processus de fermentation ne se limite pas à la préservation des aliments et à la création de nouvelles textures et d'arômes, il produit également des propriétés qui pourraient avoir un impact positif sur la santé. **Explications.**

# LES 4 ATOUTS DES ALIMENTS FERMENTÉS

Lorsqu'un aliment est fermenté, ses propriétés sont modifiées et cela a des effets sur la structure physico-chimique de sa matrice alimentaire. Les microorganismes présents dans l'aliment fermenté produisent des molécules, appelées métabolites, qui peuvent dans certains cas avoir des effets santé, tels que la production de vitamine C dans la choucroute par exemple. Ils peuvent aussi agir en enrichissant la diversité des microorganismes au sein du microbiote de celui qui les mange, élément essentiel de la santé humaine (voir Ressources #2). **Tour d'horizon des atouts des aliments fermentés.**

**01**

COMPOSITION

## Plus de vitamines et d'acides gras

Les aliments fermentés renferment, par définition, une multitude de microorganismes, plusieurs millions voire milliards. Cet écosystème produit des molécules soit directement soit en interaction avec les composants de la matière de l'aliment (protéines, lipides, etc.). Ainsi, l'aliment fermenté est, dans sa composition, très différent de l'aliment de base. Et pour certains aliments, sa nouvelle composition

est intéressante nutritionnellement, c'est le cas pour les produits laitiers dans lesquels les bactéries propioniques permettent la synthèse de vitamines B12. Dans la choucroute, la teneur en vitamine C est supérieure à celle du chou. Aussi, certains microorganismes produisent lors de la fermentation des acides gras à chaîne courte, source d'énergie, mais qui sont également des précurseurs de composés aromatiques.





## BACTÉRIES

## Tout un fromage

À INRAE, les scientifiques étudient la biopréservation pour le fromage au lait cru pour lequel le risque de contamination par des microorganismes pathogènes est important. L'histoire commence dans les années 2000 lorsque l'unité Fromage, à Aurillac, a mis en évidence l'action de la bactérie *Lactococcus garvieae* pour empêcher le développement de la bactérie pathogène *Staphylococcus aureus* dans les fromages à pâte pressée non cuite. Ensuite, l'unité s'est intéressée au développement de *Listeria monocytogenes* et des *Escherichia coli* producteurs de shigatoxines dans les fromages au lait cru et a mis en évidence des souches ou des consortia inhibiteurs de ces pathogènes. « *On travaille sur des consortia, c'est-à-dire l'association de deux ou trois souches qui agissent en synergie et cela entraîne une inhibition encore plus forte* », indique Cécile Callon. Mais pour utiliser des bactéries en biopréservation, il y a une règle à respecter : « *Le microorganisme doit être sain et ne pas avoir d'incidence sur la santé du consommateur. Pour cela on regarde s'il n'a pas des gènes de virulence ou de résistance aux antibiotiques avant de l'utiliser en tant que ferment* », rappelle-t-elle. L'enjeu est d'avoir une approche globale et de considérer toute la chaîne alimentaire : « *On pourrait même envisager d'inoculer certaines souches dans les animaux pour qu'elles se retrouvent dans le lait*. » Enfin, les travaux de l'unité Fromage concernent aussi l'étude de l'impact de l'inoculation de ces ferments dans le lait sur les communautés microbiennes de l'aliment pour s'assurer que ces ferments n'ont pas d'impacts sensoriels ou autres sur les produits finis.

## 02

## CONSERVATION

## Des capacités naturelles

Lorsque les microorganismes dégradent les sucres de l'aliment, ils libèrent des acides (lactique, acétique, etc.), ou de l'alcool dans le cas de la fermentation alcoolique, qui inhibent la croissance d'autres microorganismes pathogènes (ou responsables d'altérations) pouvant se développer dans les aliments. Certains microorganismes produisent en outre des composés appelés bactériocines qui empêchent le développement de bactéries pathogènes. On peut amplifier ce phénomène de conservation naturelle par des méthodes de biopréservation ou bioconservation qui consistent à ajouter des microorganismes, appelées cultures protectrices, dans les aliments. Ils peuvent aussi

retarder le développement des microorganismes qui altèrent les aliments et permettre ainsi de les conserver plus longtemps. De nombreuses études ont cherché à décrire et comprendre les mécanismes impliqués qui se sont révélés être multiples et, pour certains, relativement complexes. « *C'est le cas pour une souche d'Hafnia alvei, très inhibitrice des Escherichia coli dans les fromages, dont on n'a pas encore élucidé le mécanisme d'action!* », explique Cécile Callon, ingénieure de recherche à l'unité Fromage, à Aurillac. On peut également rajouter dans certains aliments des bactéries sélectionnées qui vont améliorer leur conservation, sans les transformer en un autre produit. Ou encore, lors de la vinification, on peut sélectionner les souches qui produisent moins de sulfites. Tout cela avec un même objectif, se passer d'additifs de synthèse ou limiter la production de molécules indésirables.

## 03

## TOXICITÉ

## Moins de composés indésirables

L'activité des microorganismes contenus dans les aliments fermentés peut, dans certains cas, réduire la toxicité de ceux-ci. Citons les composés cyanogènes, à l'origine du cyanure. Présents dans le manioc mais dégradés via un processus de fermentation, ils sont rendus tout simplement inoffensifs et comestibles. C'est vrai également pour la modification de certains composés initialement allergènes et devenus inactifs.

## RECHERCHE

## Des cohortes sous surveillance

Pour évaluer l'impact santé des aliments fermentés, l'étude Nutrinet santé portée par l'Équipe de recherche en épidémiologie nutritionnelle [Eren] suit plus de 160 000 adultes sur leurs habitudes alimentaires, leur mode de vie et leur santé. Récemment, les scientifiques de Nutrinet santé ont montré qu'une consommation de produits laitiers fermentés à raison d'au moins 160 g/j était associée à une diminution du risque de maladies cérébrovasculaires comparé à une consommation de moins de 57 g/j. Cette association n'a pas été mise en évidence pour les produits laitiers non fermentés.

## 04

## SANTÉ

## Des microorganismes pour le microbiote

Dans notre corps, nous vivons en symbiose avec une multitude de microorganismes. Ces microorganismes forment des microbiotes. Depuis plusieurs années, les scientifiques ont mis en évidence que les interactions que nous entretenons avec les microorganismes de notre intestin ont des liens forts avec notre santé et que leur nombre et leur diversité sont déterminants. Un moyen pour entretenir la richesse de notre microbiote intestinal, outre une alimentation diversifiée, est d'ingérer des microorganismes vivants, bactéries ou levures, ce que permet l'ingestion d'aliments fermentés. Pour comprendre davantage les liens entre la consommation d'aliments fermentés, le microbiote et notre santé, un nouveau projet de recherche participative, Le French Gut\* a débuté en septembre 2022. Ce projet ambitionne d'analyser le microbiote français en fonction des habitudes alimentaires et en collectant 100 000 échantillons de selles d'adultes résidant en France, associés à un questionnaire de santé et de nutrition.

\*<https://lefrenchgut.fr>

## Manger des aliments fermentés contribue à la richesse de notre microbiote.

## FOCUS

## Le goût du vin

Notes boisées, notes de fruits rouges, arômes de fruits exotiques..., non, ce vocabulaire sophistiqué d'œnologie n'est pas là que pour briller en société ! Ces arômes sont bien réels, il en existe des milliers et sont le résultat de l'action des levures. Mais comment expliquer cette grande diversité d'arômes ? La diversité du raisin bien sûr... mais pas seulement ! « *La production d'arômes dépend de la souche de levure en jeu. Selon la souche, elles vont produire plus ou moins d'arômes avec des profils très différents* », explique Carole Camarasa, directrice de recherche à l'unité Sciences pour l'œnologie [SPO]. Existerait-il alors une recette qui permettrait de choisir le raisin et la levure pour obtenir les arômes souhaités ? Vous vous en doutez, ce n'est pas si simple ! 90 % des vins sont obtenus par fermentation avec la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Mais dans le raisin récolté il y a d'autres microorganismes qui interviennent au début du processus et dont la croissance est inhibée par l'alcool formé. Or seule *Saccharomyces cerevisiae* survit en présence d'éthanol et peut ainsi terminer le processus de fermentation. « *C'est pour cela que dans l'industrie du vin, l'ajout de cette levure est quasiment systématique pour s'assurer d'avoir une fermentation complète, mais son utilisation systématique freine le développement d'autres levures et ainsi limite le profil aromatique des vins* », explique Carole Camarasa. L'enjeu pour la recherche est de tester l'introduction d'autres espèces de levures en début de procédé et de favoriser leur développement. Les bonnes

candidates : *Torulaspora delbrueckii* et *Starmaerella bacillaris*. Vous voulez du vin avec des arômes de fruits exotiques ou de fruits de la passion ? Mettez la levure *Metschnikowia pulcherrima* qui possède des enzymes bêta-lyases permettant de libérer des thiols responsables de ces arômes très recherchés en œnologie. Une autre piste, regarder les profils génétiques et faire le lien entre gènes et production de tel ou tel arôme. « *En faisant des croisements, on peut réussir à obtenir les bons gènes dans les levures en fonction du profil aromatique que l'on souhaite*. » Ces dernières années l'unité SPO a identifié plusieurs allèles [variants d'un gène] qui influencent la production de métabolites, en particulier des esters, participant à l'arôme des vins. On peut également limiter la production d'arômes négatifs. L'unité SPO a mené des travaux sur le sulfure d'hydrogène responsable de l'odeur d'œuf pourri. Les scientifiques ont identifié deux gènes responsables de cette molécule. Ces résultats sont utilisés par les producteurs de levures pour sélectionner les souches dépourvues de ces gènes. Mais la génétique ne fait pas tout, plusieurs paramètres entrent en jeu dans la formation des arômes. « *Nous avons identifié trois facteurs clés : la quantité d'azote disponible, l'oxygénation et la quantité de lipides, les acides gras étant des précurseurs des composés aromatiques. La température influence également le processus ainsi que la nutrition des levures au cours de la fermentation*. » De quoi mener encore de nombreuses années de recherches pour le plus grand plaisir de nos papilles... et de notre nez !



## Les aliments fermentés, bons pour la santé ?

Entretien avec Marie-Christine Champomier-Vergès, directrice de recherche à l'unité Micalis à Jouy-en-Josas

Micalis est une unité mixte de recherche (UMR) associant INRAE et AgroParisTech, et faisant partie de l'université Paris-Saclay (UPSaclay). Sa mission est le développement de recherches novatrices dans le champ de la microbiologie de l'alimentation au service de la santé.

### Peut-on dire que les aliments fermentés sont bons pour la santé ?

Il est difficile d'affirmer que les aliments fermentés sont meilleurs pour la santé par rapport à d'autres car la consommation de ces aliments s'inscrit dans un régime alimentaire global difficile à fragmenter. Ce qui est sûr, c'est que leurs spécificités – le fait de contenir des microorganismes vivants, le fait que ces microorganismes ont pu transformer les matrices alimentaires et produire des métabolites nouveaux – doivent être prises en compte pour que l'on puisse être en mesure de recommander, de façon étayée, leur consommation dans le cadre d'un régime alimentaire. Comme on le fait pour les apports en protéines ou en lipides, pourrait-on aussi recommander des apports en microorganismes et en aliments fermentés ? Ce sont des réflexions qui sont actuel-

lement menées aussi bien aux États-Unis qu'en Europe.

### Quels sont les axes de recherche sur ce sujet ?

La question est de savoir ce que ces aliments apportent de différent par rapport à d'autres catégories d'aliments et en quoi ces apports sont bons pour notre santé. Ce sont des axes de recherche qui sont actuellement explorés de manière systématique. Ainsi, le Grand défi Ferments du Futur, financé par l'État dans le cadre de la stratégie d'accélération pour la santé, à hauteur de 48 millions d'euros, trace de grandes lignes d'investigation et de recherche : comprendre comment les microorganismes peuvent transformer toute matrice alimentaire, y compris des aliments encore jamais fermentés, comprendre comment les procédés de fermentation et de fabrication des aliments fermentés conditionnent les capacités de ces microorganismes, et comprendre comment ces microorganismes et les composés qu'ils ont produit interagissent avec notre microbiote intestinal. C'est grâce à la construction de cette vaste connaissance que pourront se développer les innovations les plus performantes pour mieux construire les aliments fermentés qui répondent à nos besoins de santé.

1. [url.inrae.fr/3eHgOMI](http://url.inrae.fr/3eHgOMI)

**DOMINO**  
Un projet européen pour étudier l'effet santé des aliments fermentés

20 partenaires européens de 10 pays se sont associés dans le projet Domino, coordonné par l'unité Micalis afin d'étudier l'hypothétique effet santé des aliments fermentés.

Un des axes de recherche du projet consiste à croiser les données des microorganismes des aliments et celles du microbiote intestinal avec celles de physiologie humaine de l'hôte.

L'objectif : identifier des phénomènes biologiques qui puissent démontrer l'effet santé des aliments fermentés.

# UN POTENTIEL AU SERVICE DE LA TRANSITION ALIMENTAIRE

Développer les aliments fermentés est un défi pour la recherche. Il s'agit d'explorer l'immense biodiversité naturelle des microorganismes et de développer des procédés de fermentation nouveaux, permettant d'optimiser les aliments existants ou de créer de nouveaux aliments.

**Tour d'horizon des recherches.**

Alors que la fermentation est utilisée depuis des millénaires, pourquoi est-elle aujourd'hui perçue comme une puissante source d'innovations alimentaires? « *Même si la fermentation est une pratique ancestrale, son potentiel est totalement sous-exploité, en termes de microorganismes utilisés, de procédés de fermentation et au final d'aliments et de boissons fermentés* », explique Damien Paineau, directeur exécutif du programme de recherche et d'innovation Grand défi Ferments du Futur (voir encadré page 61). Des microorganismes, il en existe des milliards alors que très peu sont utilisés pour la fermentation alimentaire. « *Pour la production de yaourts, seulement deux souches de bactéries sont utilisées!* », précise Marie-Christine Champomier-Vergès. Un enjeu fort pour la recherche est d'explorer davantage la biodiversité naturelle des microorganismes disponibles et d'identifier si certains ne pourraient pas avoir des intérêts en-

**4 000**  
souches de  
bactéries d'intérêt  
alimentaire sont  
conservées  
à -80 °C par l'INRAE

core inconnus à ce jour. Autre voie de recherche: comprendre les effets d'une fermentation réalisée avec plusieurs microorganismes, des consortia, et identifier quelles seraient les fonctionnalités, nutritionnelles ou sensorielles, que cela confère à l'aliment ou aux boissons fermentées.

## Explorer la biodiversité des bactéries et des levures

C'est l'ambition des CIRM, les centres internationaux de ressources microbiennes, qui sont des lieux pour conserver de manière pérenne, rendre visibles et valoriser des collections de microorganismes. Il en existe cinq en France, gérés par INRAE, dont un entièrement dédié aux bactéries d'intérêt alimentaire, le CIRM BIA, basé à Rennes au sein de l'unité STLO et un autre dédié aux levures à Montpellier au sein de l'unité SPO. « *Nous gardons un véritable trésor, beaucoup de ces bactéries*

*ont des fonctionnalités d'intérêt pour la fermentation des aliments* », explique Florence Valence, responsable du CIRM BIA.

« *Pour la collecte, nous allons chercher les bactéries là où elles sont!* » Par exemple dans le cadre d'un projet sur la caractérisation de la diversité microbienne associée à des moûts de raisin issus de différents cépages, les scientifiques ont collecté plus de 600 souches de bactéries pour étudier leur intérêt en termes de biodiversité et de fonctionnalités. Pour les conserver, les 4 000 souches de la collection du CIRM BIA sont soit cryogénisées et stockées à -80 degrés, soit lyophilisées.

Il s'agit également de caractériser les ressources microbiologiques d'un point de vue génotypique et phénotypique, et de trouver des fonctionnalités d'intérêt en lien avec les aliments fermentés. « *On s'intéresse à des fonctionnalités telles que la production de composés d'arômes, l'activité probiotique, l'activité texturante, ainsi que la capacité des bactéries à se développer dans certaines conditions d'acidité ou de pH pour répondre à des besoins de procédés alimentaires particuliers* », précise Florence Valence.

Enfin, la valorisation se fait par le biais de projets spécifiques de recherche à INRAE mais aussi via la diffusion des souches auprès des communautés scientifiques, académiques et industrielles qui souhaitent les utiliser. « *Nous travaillons souvent avec les industriels, car beaucoup de nos souches ont des intérêts agroalimentaires.* » Dans le cadre du projet Profil, en collaboration avec des industriels, les chercheurs et chercheuses ont « criblé » 700 souches pour trouver des bactéries avec des propriétés antifongiques. Six ans plus tard, les scientifiques ont transféré sept bactéries identifiées comme antifongiques aux industriels pour leur permettre, par exemple, de les utiliser à la place du sorbate ou de la natamycine, additifs habituels des produits laitiers, et ainsi éviter, avec une méthode naturelle, la formation de moisissures. Mais tout ce travail n'a d'intérêt que si nous conservons bien les données associées à cette collection précise Florence Valence: « *c'est une chose de conserver ces échantillons, mais ce qui est clé aujourd'hui c'est la conservation et la gestion des données qui y sont associées. Une ressource sans données associées n'a finalement aucune valeur.* »

## L'intelligence artificielle à la rescousse

Jusqu'à présent, en microbiologie, les chercheurs →

## PROGRAMME

### Accélérer l'innovation pour l'alimentation du futur

Pour répondre aux enjeux d'innovation dans le domaine des ferments et des aliments fermentés, les équipes de recherche et les acteurs économiques se mettent en ordre de marche à travers le Grand défi Ferments du Futur. Initié par le gouvernement et porté par INRAE et l'ANIA [Association nationale des industries alimentaires],

ce programme bénéficie de financements publics très importants dans le cadre de France 2030. Lancé en septembre 2022, il s'appuiera sur des projets sélectionnés dans le cadre d'appels à projets annuels. Une plateforme d'innovation unique en Europe, implantée sur le plateau de Saclay, sera mise en place fin 2023.

## START-UP

### Plus de végétal

Fermenter des végétaux pour obtenir un produit qui ressemble à du fromage, c'est l'idée de la start-up Les nouveaux affineurs. L'idée devient un projet, incubé au Food'Inn Lab d'AgroParisTech début 2017 pour devenir une jeune entreprise qui commercialise ses produits depuis 2018. « *Nous avons bénéficié de l'expertise d'INRAE dans le domaine de la microbiologie alimentaire et nous avons monté un partenariat avec l'unité mixte de recherche sur le fromage (UMRF à Aurillac), avec le soutien du Carnot Qualiment, pour améliorer nos produits et faire des expérimentations* », explique Nour Akbaraly, fondateur des Nouveaux affineurs. Aujourd'hui la start-up propose des produits alternatifs aux fromages, à

base de soja ou de noix de cajou, avec une empreinte carbone divisée par cinq par rapport aux fromages classiques. De son côté, grâce à la fermentation, la start-up Green spot transforme les coproduits végétaux, dont les épiluchures de pomme, en farines à haute teneur en protéines, en fibres, riches en vitamines, minéraux et anti-oxydants naturels, sans gluten et faibles en calories. Pour se développer, la start-up Green Spot a été accueillie un an dans les laboratoires de TWB [Toulouse White Biotechnologie] à INRAE, bénéficiant ainsi des équipements de pointe pour la fermentation. La start-up poursuit sa collaboration avec TWB et est d'ailleurs membre de leur consortium.

travaillent avec des approches empiriques : ils testent des microorganismes, les font interagir avec des aliments et analysent les résultats. Avec le numérique, les scientifiques s'orientent vers des approches plus prédictives : « dans le Grand Défi Ferments du Futur, on va s'appuyer sur la science des données et l'intelligence artificielle pour prédire l'action des microorganismes et ainsi optimiser la phase expérimentale », explique Damien Paineau. La plateforme d'innovation à Saclay permettra d'expérimenter à plus grande échelle et plus rapidement. Un autre enjeu est de diversifier les procédés pour pouvoir fermenter de nouvelles matrices, en particulier végétales, comme les céréales, les légumineuses et les fruits. « La plupart des procédés industriels de fermentation concernent des matrices liquides, comme le lait ou le jus de raisin, ou semi-solides telles que la pâte à pain, mais on doit poursuivre les développements technologiques pour être capables de fermenter des matrices plus complexes, comme des gels ou des solides », souligne Damien Paineau. En effet, ces matrices présentent une hétérogénéité entre le cœur et la périphérie de la matière première, nécessitant d'adapter les itinéraires technologiques.

Enfin, il s'agit pour la recherche de mieux comprendre les liens potentiels entre aliments fermentés et santé, en particulier les interactions entre les microorganismes des aliments et ceux du microbiote de la personne qui ingère ces aliments. ●

**« Il s'agit de conserver un patrimoine. Avec toutes les normes sanitaires on a diminué les risques liés aux bactéries pathogènes mais on a diminué aussi le nombre de bactéries utiles. »**

#### ACTION COST PIMENTO

## Un réseau européen au service de l'alimentation fermentée

Pimento (Promoting Innovation of ferMENTed fOods) est un réseau européen pour promouvoir l'innovation en matière d'aliments fermentés. Financé dans le cadre d'une action COST [Coopération européenne en science et technologie], le réseau fédère des communautés scientifiques travaillant sur cette thématique en y associant des non-scientifiques : industriels, journalistes, citoyens développant ainsi une vision multiacteur avec une approche transdisciplinaire. « Associer la société civile à ce type de projets permet de partager des connaissances mais aussi des bonnes pratiques de sécurité sanitaire avec les citoyens qui fermentent chez eux notamment », explique Christophe Chassard, directeur de l'unité mixte de recherche sur le fromage et responsable de l'action COST Pimento.

À sa mise en place en 2021, le réseau comptait une soixantaine de membres et aujourd'hui, Pimento c'est plus de 300 personnes : « C'est un véritable travail collaboratif, on rassemble des scientifiques de différents pays, de différentes disciplines. On arrive à partager nos travaux sur les aliments fermentés et à élargir les communautés ». Parmi les actions phares, 16 projets sont développés au sein de Pimento pour évaluer scientifiquement les impacts santé des aliments fermentés en termes de bénéfices mais aussi de risques. Deux autres livrables majeurs sont attendus. Le premier est une cartographie européenne des aliments fermentés ; le deuxième est de créer un cluster européen public/privé autour des aliments fermentés pour renforcer la recherche et accélérer l'innovation sur ce secteur et ainsi positionner l'Europe comme acteur majeur d'un sujet hautement stratégique à l'échelle mondiale, perçu comme étant un véritable levier pour l'autonomie et la souveraineté alimentaire.



Fermenteurs de l'unité Micalis © INRAE - Bertrand Nicolas

## GOÛT Fermenter des légumineuses

Les légumineuses, pois, lentilles, soja, ont des atouts au champ comme dans l'assiette. Capables de fixer l'azote du sol, elles ont l'avantage de se passer d'engrais azotés. Sources de protéines, elles sont une bonne alternative aux protéines animales dont les pays occidentaux doivent diminuer la consommation. Seulement, elles n'ont pas toujours bon goût, les consommateurs apprécient peu leur amertume et leurs notes terreuses. Un levier pour développer de meilleures qualités sensorielles des légumineuses : la fermentation ! « À l'unité Sayfood, on a fait le pari que tout ce que l'on connaît de la fermentation du lait, on pourrait l'appliquer au pois, légumineuse la plus

cultivée en France », explique Isabelle Souchon, aujourd'hui chercheuse à l'unité Sécurité et qualité des produits d'origine végétale (SQPOV). L'idée est lancée. Les scientifiques ont alors montré qu'il était possible d'utiliser des bactéries lactiques pour fermenter un mélange de lait et de protéines de pois. Sur les 55 souches testées dans 160 associations, 11 associations composées de 5 à 9 souches ont été retenues. Les écosystèmes choisis ont la particularité de masquer le goût « vert » caractéristique du pois et d'apporter différentes textures allant de la crème dessert à une pâte plus ferme. Mais qu'en disent les consommateurs ? Sont-ils prêts à acheter ces nouveaux produits ? Le projet Diet+ a mobilisé une équipe d'économistes pour étudier le consentement à payer en fonction des informations qu'on leur met à disposition.

Le résultat est sans appel, même s'il y a un léger effet de consentement à

payer lorsque le consommateur sait que le produit est bon pour la santé ou qu'il a un impact plus faible sur l'environnement, c'est bien le goût qui conditionne leur choix de consommation.

Et si la fermentation permettait d'avoir des aliments moins transformés ? Arômes, stabilisants, conservateurs, les industriels ont parfois recours à des additifs de synthèse et l'on sait que certains pourraient avoir des impacts néfastes sur la santé. Or la fermentation peut agir sur ces trois facteurs. Isabelle Souchon expérimente cela... sur la fraise ! « La fraise est un produit qui se conserve très mal, qui est très consommé et souvent transformé pour l'ajouter dans les yaourts, les biscuits ou les glaces. » Un projet est mené en partenariat avec l'Atelier du fruit pour identifier les ferments les plus adaptés et optimiser les procédés de fermentation pour pouvoir les reproduire à l'échelle industrielle.



# Les industriels misent sur les aliments fermentés

Rencontre avec Damien Paineau et Antoine Baule

Damien Paineau est directeur exécutif du Grand défi Ferments du Futur piloté par INRAE et l'ANIA, l'Association nationale des industries alimentaires. Antoine Baule est président de la commission innovation de l'ANIA.

## Interview croisée.

### Pourquoi les industriels s'intéressent-ils aux aliments fermentés ?

**Antoine Baule** La science des microorganismes et la biotechnologie au sens large ont fait des progrès absolument considérables. Les industriels en sont conscients et ils se sont intéressés à ce sujet soit parce qu'ils produisent des microorganismes soit parce qu'ils les utilisent. C'est le cas des grands de l'industrie laitière, de la charcuterie mais aussi du vin et de la bière. Pour

eux, les bénéfiques sont de plusieurs ordres : une meilleure sélection des microorganismes pour faire des aliments fermentés de bonne qualité et de meilleure résistance, et le développement de nouveaux aliments.

**Damien Paineau** Si on parle des industriels, on parle indirectement des consommateurs. On voit bien la tendance actuelle qui est d'aller vers des solutions plus naturelles : des aliments avec une liste d'ingrédients plus courte, des aliments non transformés ou moins transformés, avec moins d'additifs chimiques. On sait que la fermentation va permettre de conserver les aliments en limitant significativement le recours à ces additifs.

**A. B.** On peut prendre l'exemple de la vanilline. Cet arôme de vanille, très utilisé aujourd'hui, provient actuellement de la chimie du carbone et donc du pétrole. La fermentation permettrait d'obtenir de la vanilline, et de nombreux autres arômes, de façon naturelle.

C'est un des gros bénéfices de la fermentation et c'est ce qui attire les industriels. Petit à petit la fermentation évincera les ingrédients obtenus par synthèse organique.

### Quel intérêt pour les industriels de s'impliquer dans ce vaste programme de recherche ?

**A. B.** Dans l'objectif de développer des alternatives aux protéines animales, les industriels veulent développer des nouveaux produits à base de protéines végétales. Or les protéines végétales brutes ne sont pas extraordinaires d'un point de vue organoleptique. En revanche si vous les fermez, vous obtenez des goûts et des textures très intéressantes. Mais, la structure des matrices végétales étant très hétérogène, on ne sait pas encore très bien les fermenter à grande échelle. Les industriels sont donc très en demande des avancées de la science sur ce sujet.

**D. P.** C'est un bon exemple ! En effet, si un industriel veut développer un aliment

de type fromage mais à base de protéines végétales et qu'il s'aperçoit que ses premiers produits ont des limites telles que la digestibilité des protéines ou des goûts peu satisfaisants, il va s'adresser à la plateforme de Ferments du Futur pour trouver un nouveau mix de microorganismes ou pour développer un processus de transformation qui permet d'augmenter la biodisponibilité des protéines et de retirer les « mauvais » goûts identifiés dans son produit.

Côté recherche, on va regarder dans notre base de données qui recense des milliers de microorganismes pour identifier, via des approches prédictives, des groupes de bactéries qui pourraient apporter les bénéfices attendus par l'industriel. Mais cela suppose d'avoir une base de données riche et très bien caractérisée, et de développer des modèles prédictifs tenant compte des relations extrêmement complexes entre microorganismes. C'est un véritable défi en soi. Dans une deuxième phase, on pourra tester les microorganismes et les procédés de façon expérimentale afin de s'assurer que les bénéfices attendus sont bien effectifs.

### Et pour la recherche ?

**D. P.** Ce Grand défi est animé par un consortium mixte d'acteurs publics et privés qui collaborent pour lever les verrous scientifiques et technologiques dans les domaines de la fermentation. Il s'agit bien sûr de produire des connaissances, mais aussi de travailler en direct avec les industriels pour s'adapter plus vite aux attentes des consommateurs, et ainsi accélérer l'innovation au service des transitions alimentaires. L'enjeu est de maintenir et de renforcer le leadership français et européen sur une thématique hautement stratégique, qui est soutenue par des investissements publics et privés massifs dans le monde entier.

**A. B.** Les progrès de la science de ces

« L'enjeu est de maintenir et renforcer le leadership français et européen sur une thématique stratégique. »

vingt dernières années permettent d'avoir aujourd'hui des résultats très concrets pour les industriels. Le premier décryptage du génome d'une levure était encore il y a quelques années le fruit d'un an de travail, aujourd'hui les technologies permettent d'en décrypter trois ou quatre par jour !

### Quels seront les équipements technologiques qui seront développés dans Ferments du Futur ?

**D. P.** On va commencer par s'appuyer sur les infrastructures existantes dans les équipes de recherche impliquées dans ce Grand défi. Ensuite, on prévoit la mise en place d'une plateforme technologique extrêmement innovante sur le plateau de Saclay (91) fin 2023, avec pour objectif de démarrer des projets en 2024. Cette plateforme qui sera unique en Europe sera composée de trois plateaux techniques : un plateau dédié au criblage haut débit des consortia microbiens afin d'identifier les meilleures combinaisons de microorganismes par rapport à un objectif prédéfini. Un second plateau développera de nouveaux procédés grâce à des fermenteurs permettant de travailler des matrices très diverses, à différentes échelles. Enfin, une plateforme analytique permettra de caractériser finement l'aliment produit sur des aspects sensoriels, nutritionnels ou encore santé. Cette plateforme technologique est au centre du dispositif. Elle a pour objectif de fournir à l'industriel partenaire une preuve de concept robuste qui lui permette de poursuivre le développement dans ses propres infrastructures. Elle a vocation

à être pérennisée pour fonctionner au-delà de la durée du programme.

**A. B.** La plateforme sera le point d'entrée des industriels vers l'ensemble des compétences de recherche d'INRAE et de ses partenaires scientifiques. Et c'est tout l'intérêt d'un tel partenariat public/privé : faire de la recherche amont que les industriels ne peuvent pas financer car ils sont davantage dans des objectifs à court terme. Les connaissances produites pourront être brevetées et trouver des applications auprès des industriels. C'est finalement un moyen formidable d'accélérer l'innovation !

### Les procédés seront-ils eux aussi durables ?

**D. P.** C'est en tout cas un des objectifs de Ferments du Futur ! Aujourd'hui, les procédés de fermentation utilisés en milieu industriel ne sont pas particulièrement économes en énergie, en eau, en substrats de fermentation et produisent des déchets. Dans le cadre de Ferments du Futur, lorsque l'on va développer des nouveaux procédés, on va évidemment s'attacher à réduire leur impact environnemental pour que non seulement les aliments produits soient au rendez-vous des attentes sociétales mais que la façon de les produire le soit aussi. Par exemple, si on arrive à réduire de quelques degrés les conditions de fermentation tout en maintenant de bons résultats sur les produits, à l'échelle industrielle, il peut y avoir un impact environnemental majeur.

**Éditeur**  
Institut national  
de la recherche pour l'agriculture,  
l'alimentation et l'environnement  
147, rue de l'Université,  
75338 Paris cedex 07

**INRAE**

**Directeur de publication**  
Philippe Mauguin,  
PDG d'INRAE

**Direction éditoriale**  
Comité éditorial *Ressources*

**Rédactrice en chef**  
Alicette Maillard

**Coordination  
éditoriale**  
Amaya Renaudin

**Dossier**  
*Décryptage*  
Pilotes scientifiques:  
Marie-Christine  
Champomier-Vergès,  
Sylvie Dequin,  
Lionel Bretillon,  
Catherine Renard,  
Monique Axelos

**Conception-  
rédaction**  
Élodie Régnier

**Secrétariat  
de rédaction**  
Élodie Ruhr

**Design graphique**  
Atelier Marge Design

**Illustrations**  
Arthur Bonifay  
*p. 6-7*

**Impression**  
Biprint (78920 Ecquevilly)

*Nous remercions tous les contributeurs  
et les personnes citées.*

Ressources #3 en librairie le 12 janvier 2025.  
Pour plus d'informations sur la revue  
[www.inrae.fr/ressources](http://www.inrae.fr/ressources)

