

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES

Durée : 2 heures 30 minutes

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par les moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, le candidat doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera le sujet.

Ce sujet comporte la présente page de garde et un énoncé de 5 pages numérotées de 1 à 5.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Thématique agroalimentaire :

BIODIVERSITÉ : LEVURES ET BACTÉRIES

DOCUMENT 1 – LE ROQUEFORT ET LE CAMEMBERT EN VOIE D'EXTINCTION ?

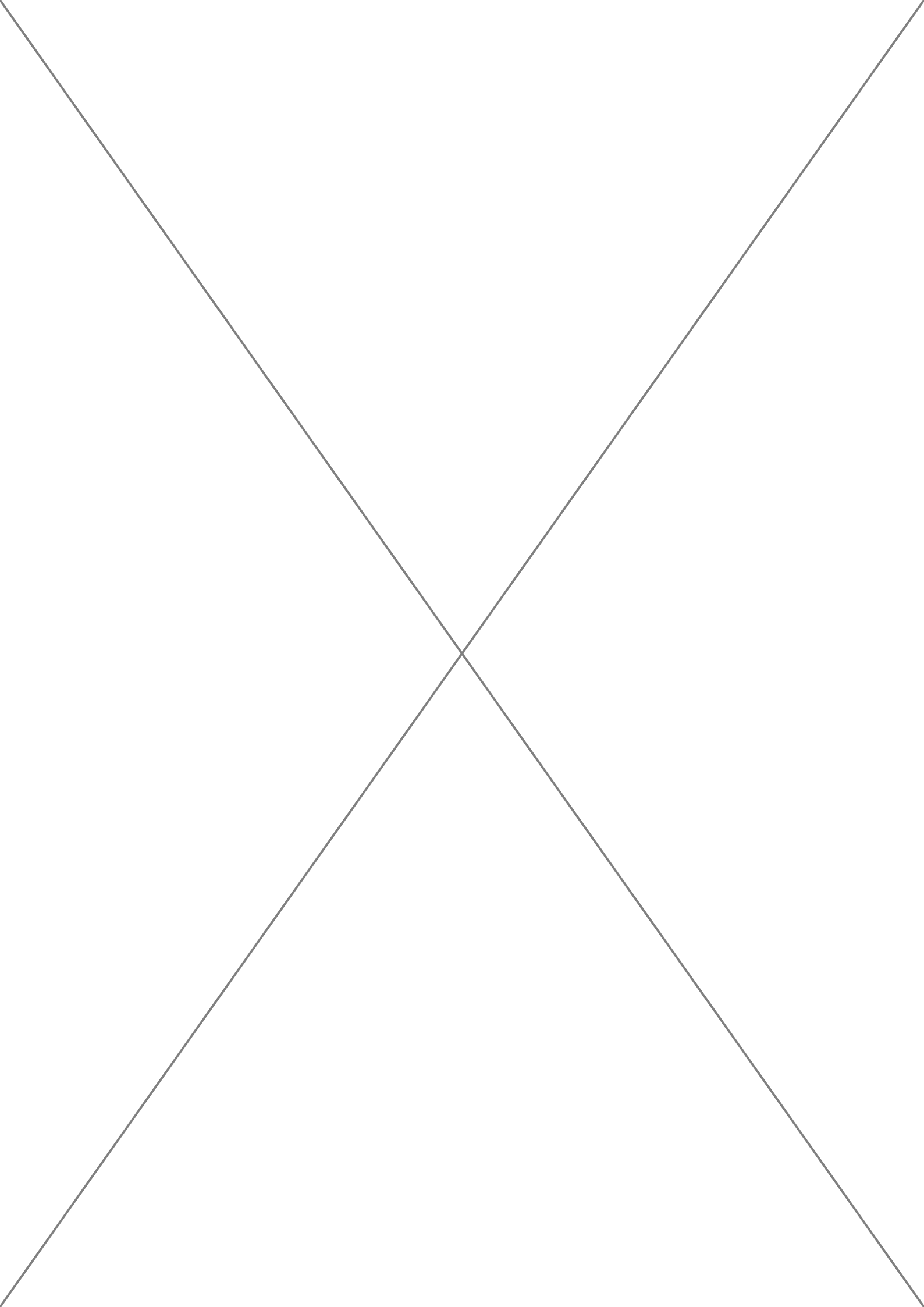
Mehdi Harmi, CNRS Le Journal, janvier 2024

DOCUMENT 2 – LE MONDE DES PAINS AU LEVAIN

Nathalie Blanc, Sciences Ouest, février 2017

L'épreuve est composée de deux parties :

- **1^{ère} partie (sur 10 points) : faites l'analyse et la synthèse des idées fortes des documents;**
- **2^e partie (sur 10 points) : développez une des idées importantes d'un des deux documents, en l'illustrant et en valorisant vos connaissances techniques et scientifiques.**



DOCUMENT 1

LE ROQUEFORT ET LE CAMEMBERT EN VOIE D'EXTINCTION ?

Les fromages hébergent une multitude de micro-organismes capables de transformer le lait. Sélectionnés par l'humain, ces ferments ne sont pas épargnés par les standards de l'industrie agro-alimentaire, au point que les fromages bleus ou le camembert pourraient disparaître.

LE bleu de Termignon est un inconnu. Ce fromage confidentiel, confectionné dans les Alpes françaises dans une poignée de fermes seulement, pourrait bien sauver la filière des fromages bleus, menacée de disparition par la standardisation des processus de production. La raison ? Ses moisissures bleu-vert caractéristiques proviennent d'une population jusqu'alors inconnue de *Penicillium roqueforti*, le champignon impliqué dans la fermentation de tous les fromages bleus et persillés. Cette découverte est une petite bombe dans le monde du fromage.

« À ce jour, seules quatre populations de l'espèce de champignon *P. roqueforti* étaient connues dans le monde », raconte Jeanne Ropars qui, avec Tatiana Giraud et leur équipe du laboratoire Écologie, systématique et évolution de Gif-sur-Yvette, ont réussi à séquencer le génome du micro-organisme responsable de la fermentation du bleu de Termignon.

« Deux populations "sauvages" impliquées dans le pourrissement des fruits et la décomposition de certains aliments et l'ensilage (procédé de fermentation du fourrage destiné à l'élevage), et deux populations utilisées dans la fabrication des fromages », détaille la chercheuse. Sur les deux populations domestiquées, l'une est utilisée par les seuls producteurs de l'appellation d'origine protégée (AOP) Roquefort, tandis que tous les autres bleus sontensemencés avec une seule et même souche de *P. roqueforti*.

Pour produire des fromages en grande quantité, les industriels ont sélectionné des souches de champignons correspondant aux cahiers des charges qu'ils se sont imposés. Les fromages doivent être attrayants, avoir bon goût, ne pas arborer de couleurs déroutantes, ne pas produire de mycotoxines, ces toxines sécrétées par les champignons, et surtout pousser rapidement sur le fromage qu'ils se doivent de coloniser. Ce faisant, le secteur de l'agro-alimentaire a exercé une pression de sélection sur les champignons si grande que les fromages, non fermiers et non protégés par une AOP, présentent aujourd'hui une diversité de micro-organismes extrêmement pauvre.



Bleu de Termignon

Des bleus à bout de souffle

« On a réussi à domestiquer ces organismes invisibles comme on l'a fait pour le chien, ou le chou, explique Jeanne Ropars. Mais il s'est produit pour les micro-organismes ce qu'il se produit à chaque fois qu'on sélectionne trop drastiquement des organismes, gros ou petits : cela a entraîné une très forte réduction de leur diversité génétique. En particulier chez les micro-organismes, les producteurs n'ont pas réalisé qu'ils avaient sélectionné un seul individu et que ça n'était pas durable à long terme. » Les micro-organismes sont capables de se reproduire de manière sexuée et asexuée, mais c'est le plus souvent la voie asexuée, via la production de lignées clonales, qui a été privilégiée par les industriels pour les multiplier. Résultat : ils ne peuvent plus se reproduire avec d'autres souches qui pourraient leur apporter du matériel génétique neuf, ce qui au bout d'un certain temps induit la dégénérescence de la souche en question.

« La population utilisée par l'AOP Roquefort a un peu moins pâti de cette sélection, et montre un peu plus de diversité », tempore Tatiana Giraud, qui indique y avoir identifié plusieurs souches différentes. Ce n'est pas le cas de la lignée clonale utilisée par le reste des producteurs, appauvrie au point d'être devenue quasi infertile. « Même les plus petits producteurs sont touchés, raconte la chercheuse. Car s'ils ont longtemps fait "pousser" eux-mêmes leur propre souche de *P. roqueforti*, ils ont désormais tendance à acquérir leurs ferments directement auprès des grands producteurs de spores qui fournissent toute l'industrie agro-alimentaire. »

Par conséquent, les champignons qui ont accumulé dans leurs génomes nombre de mauvaises mutations tout au long des multiplications végétatives finissent par devenir quasi infertiles, ce qui pèse lourdement sur la production des fromages. « C'est ce qu'il se passe lorsqu'on ne recourt plus du tout à la reproduction sexuée, la seule à même de compenser les mutations délétères grâce à l'introduction de nouveaux gènes, le fameux brassage génétique », explique Tatiana Giraud.

C'est là que le bleu de Termignon et sa population nouvelle de *P. roqueforti* entrent en scène : celle-ci pourrait en effet apporter aux producteurs la diversité génétique qui manque cruellement à leurs ferments, à condition de prendre le risque de la reproduction sexuée, créatrice de diversité certes, mais aussi d'une plus grande variabilité du produit fini.

Menace sur le camembert

Les fromages bleus sont certes menacés mais leur situation est encore bien loin de celle du camembert, qui lui est au bord de l'extinction. Car cet autre symbole du terroir français n'est inoculé que par une seule et même souche de *Penicillium camemberti* et ce partout sur Terre. Cette souche est un mutant blanc sélectionné en 1898 pour inoculer les bries puis les camemberts dès 1902.

Problème, cette souche est depuis uniquement répliquée par multiplication végétative. Jusque dans les années 1950, les camemberts présentaient encore à leur surface des moisissures grises, vertes, ou parfois orangées. Mais les industriels peu friands de ces couleurs jugées peu attractives ont tout misé sur l'utilisation de la souche de *P. camemberti albinos*, complètement blanche et de surcroît duveteuse. C'est ainsi que le camembert a acquis sa croûte immaculée caractéristique.

Ce faisant, année après année, génération après génération, la souche albinos de *P. camemberti* a perdu sa capacité à produire des spores asexuées, alors qu'elle était déjà dépourvue de reproduction sexuée. Conséquence, il est aujourd'hui très compliqué pour tous les industriels du secteur d'obtenir des spores de *P. camemberti* en quantité suffisante pour inoculer leur production du fromage normand.

Pire encore, quand dans le cas du roquefort l'AOP préserve une relative biodiversité microbienne, l'AOP du camembert impose au contraire aux fermiers et autres producteurs de n'utiliser que *P. camemberti*. Pour compenser cette dégénérescence, les producteurs n'hésitent pas à avoir recours à une deuxième espèce de champignons en complément de *P. camemberti*, afin de pallier ses insuffisances : *Geotrichum candidum*, aussi sélectionné pour sa texture blanche et cotonneuse. Quelles pistes, alors, pour sauver

le camembert ? Faut-il revenir à une population « sauvage », proche de *P. camemberti*, et redémarrer un long processus de domestication ? Pourrait-on imaginer avoir recours aux technologies d'édition génomique pour remédier à l'accumulation de mutations ou à la perte de gènes spécifiques de telle ou telle fonction d'intérêt ? « Il arrive que des industriels nous contactent pour savoir s'il serait possible de modifier un gène et ainsi permettre à une souche de sporuler en plus grande quantité, confie Tatiana Giraud, tout en expliquant que cela ne saurait constituer une solution : l'édition génomique est une autre forme de sélection, or c'est de la diversité apportée par la reproduction sexuée entre des individus aux génomes différents dont on a aujourd'hui besoin. »



Cultures de *Penicillium camemberti* (blanc et cotonneux) et *Penicillium bifforme* (gris-vert) dans une boîte de Pétri.

L'espèce proche génétiquement de *P. camemberti*, nommée *Penicillium bifforme*, est aussi présente sur nos fromages car naturellement présente dans le lait cru, et montre une diversité génétique et phénotypique incroyable. On pourrait donc imaginer inoculer nos camemberts et bries avec du *P. bifforme*. Si les amateurs veulent pouvoir continuer à manger du fromage, ils vont devoir apprendre à aimer la diversité des goûts, des couleurs et des textures, parfois au sein d'une même production. Et si notre patrimoine gustatif avait tout à y gagner ?

DOCUMENT 2

LE MONDE DES PAINS AU LEVAIN

Une collecte des microorganismes présents dans les levains est en cours chez les artisans et paysans-boulangers en France.

Les symboles gastronomiques de la culture française sont décidément riches en ferments ! Outre les produits laitiers et le vin, il est un autre aliment dont l'identité dépend de microorganismes et que nous consommons – encore - beaucoup : le pain. Mais depuis trente ans, les technologies de fabrication ont évolué, les boulangeries se sont dotées de gros équipements... Ces événements ont conduit à une certaine standardisation des pratiques et peut-être à un appauvrissement de la biodiversité microbienne des levains. Tel est le contexte du projet de recherche pluridisciplinaire Bakery qui vise à décrire finement la diversité biologique et socioculturelle de l'écosystème agroalimentaire « blé-homme-levain ». Il est coordonné par Delphine Sicard, chercheuse à l'Inra de Montpellier. Le projet Bakery a commencé par une collecte de levains chez une quarantaine d'artisans et de paysans-boulangers dans toute la France (dont 32 travaillent en agriculture biologique pour voir s'il y a des différences) dans le but de faire l'inventaire des microorganismes.

Deux nouvelles espèces de levure

« Nous savons maintenant que *Lactobacillus sanfranciscensis*, trouvée dans de nombreux levains dans le monde, est une bactérie présente dans la majorité des levains français. Ceux-ci contiennent aussi des levures. La plus connue est *Saccharomyces cerevisiae*, l'espèce de levure commerciale. Mais il existe plein d'autres espèces de levures qui appartiennent au genre (groupe d'espèce) voisin, appelé *Kazachstania*. Dans les levains artisanaux et les levains de paysans-boulangers, l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* est peu rencontrée. Les espèces du genre *Kazachstania* dominent et sont très diverses dans les levains français », explique Delphine Sicard. Ces premières investigations ont été payantes : « Nous avons découvert deux nouvelles espèces de levures du genre *Kazachstania* ! Elles sont proches de certaines que nous connaissons déjà, mais n'ont jamais été décrites. »

Vers un terroir du pain ?

La question est ensuite de comprendre ce qui contribue à la diversité de ces levains : les espèces de blé cultivées ? Le terroir sur lequel elles sont plantées ? Les pratiques boulangères ? Le projet se poursuit donc par des essais sur différents terroirs, dont quatre ont été choisis en Bretagne. « Les artisans et paysans-boulangers ont tous planté les mêmes variétés de blés, poursuit Delphine Sicard. Les lots de farines (trois de variétés anciennes, trois de variétés modernes) vont ensuite servir à initier des levains que nous analyserons pour voir s'ils comportent des différences. » Ces résultats sont très attendus car ils pourraient mettre en évidence un terroir du pain... ! Si ces travaux sont importants pour le maintien de la biodiversité microbienne, l'agronomie, la remise au goût du jour d'anciennes variétés de blés..., ils visent aussi le consommateur de pain à l'autre bout de la chaîne. En connaissant les nouveaux microorganismes, en sachant comment faire varier la composition de leurs levains, les artisans et paysans-boulangers ont des cartes en main pour maintenir des traditions, créer de nouveaux produits et s'adapter aux tendances. Certains consommateurs apprécient en effet la légère acidité des pains au levain et le fait qu'ils soient un peu plus difficiles à mâcher. D'autres préfèrent le pain de mie sans croûte ou recherchent des pains sans gluten pour cause d'allergies. Au-delà du goût, les consommateurs apprécient et recherchent le lien social avec leur boulanger. « Le projet Bakery comporte un volet sociologique sur la représentation du pain chez les consommateurs », souligne Delphine Sicard. Car même les symboles ont leurs faiblesses : aujourd'hui la consommation de pain est bel et bien en baisse en France mais pourrait voir un regain d'intérêt...

Comment conserver la diversité microbienne des levains ?

Si la société commence à prendre conscience de l'importance de la diversité des plantes et animaux domestiques, la biodiversité des micro-organismes impliquée dans l'agro-alimentaire est peu prise en compte.

On peut distinguer deux grands modes de conservation de la diversité des micro-organismes alimentaires : une conservation « statique » dans des collections de micro-organismes (dite aussi conservation « *ex situ* ») et une conservation dynamique chez les artisans/paysans/particuliers qui prend en compte les changements environnementaux, sociaux et économiques (dite aussi conservation « *in situ* »).

Le principe de la conservation « *ex situ* » des ressources génétiques est de conserver des individus dans des collections. Le centre international de données sur les micro-organismes a répertorié 556 collections nationales et internationales contenant des espèces de micro-organismes dans 68 pays. Ce mode de conservation a pour avantage de nécessiter relativement peu d'espace et de faciliter l'accessibilité aux souches. En boulangerie, les micro-organismes conservés dans les collections peuvent être employés par les industriels ou par les artisans sous condition des règles d'accès et d'utilisation. Les souches peuvent être utilisées dans des programmes de sélection génétique pour l'obtention de starter levure ou starter levain. Elles sont également accessibles pour la recherche scientifique et pour d'autres applications industrielles (probiotique, fermentations d'autres produits,...). Cependant, la conservation « *ex situ* » ne

permet pas de conserver la diversité microbienne au sein d'une population, compte tenu des limites sur le nombre de souches conservées. De plus, le matériel génétique conservé dans les banques subit un « *gel évolutif* » : les souches sont récupérées à un instant t , ce qui implique également qu'elles ne subissent plus les phénomènes de sélection. Enfin, les données collectées en même temps que les souches sont souvent pauvres et le travail de synthèse sur l'ensemble des collections reste à faire, ce qui ne favorise pas la valorisation de ces ressources génétiques. La conservation « *ex situ* » est une bonne réponse d'urgence mais n'est pas suffisante pour conserver la diversité des espèces domestiquées : la gestion dynamique semble indispensable pour une conservation à long terme.

La conservation « *in situ* » des ressources génétiques consiste à gérer les ressources génétiques sous forme de populations maintenues dans l'environnement où leur diversité est apparue et où elle a évolué. Il s'agit d'une gestion dynamique de la diversité, puisque les populations s'adaptent de façon continue à leur environnement et à ses changements. La gestion dynamique regroupe deux approches : la gestion de populations hétérogènes, généralement mise en place par les instituts de recherche ; et la gestion de populations chez les agriculteurs/artisans. Cette dernière approche permet de combiner la sélection humaine et l'adaptation des populations à des environnements différents, tout en maintenant la variabilité génétique au sein des populations. La conservation « *in situ* » doit en effet prendre en compte l'environnement biotique et abiotique des organismes. En boulangerie, elle passe par la caractérisation et conservation de la diversité des pratiques boulangères et des lieux de panification. Il est donc important de décrire la distribution spatiale des espèces microbiennes et de comprendre les processus biologiques (pratique, climat, environnement local, cycle de vie, ...) qui la maintiennent. Pour cela, des approches pluridisciplinaires incluant des sciences humaines et sociales (sociologie, anthropologie, économie,...) et des sciences dures (mathématique, biologie) sont nécessaires.

FIN DU SUJET