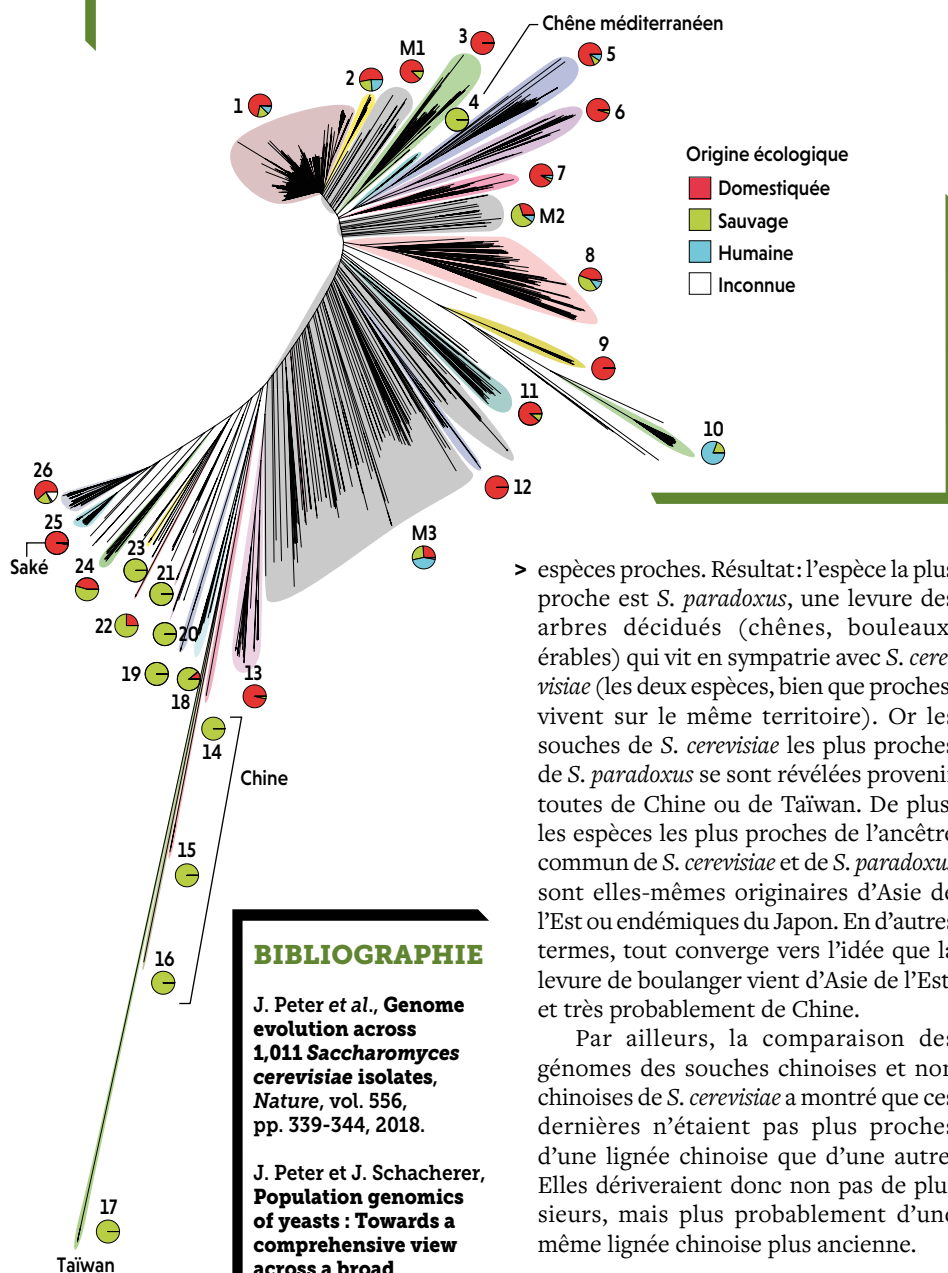


L'ARBRE DE LA LEVURE

Pour que l'arbre phylogénétique de la levure *S. cerevisiae* soit représentatif de la diversité de l'espèce, les chercheurs ont collecté des souches sur l'ensemble des continents, dans les différentes activités humaines associées (fermentation de produits laitiers, de pain, de vin, de saké, de bière...) et dans les diverses niches écologiques sauvages de la levure (insectes, arbres, fleurs). Dans l'arbre ci-dessous, chaque trait désigne une souche. Plus deux souches sont génétiquement proches, plus leurs traits le sont. On distingue ainsi 26 lignées (numérotées de 1 à 26) et 3 groupes mosaïques inclassables (en gris).



> espèces proches. Résultat : l'espèce la plus proche est *S. paradoxus*, une levure des arbres décidus (chênes, bouleaux, érables) qui vit en sympatrie avec *S. cerevisiae* (les deux espèces, bien que proches, vivent sur le même territoire). Or les souches de *S. cerevisiae* les plus proches de *S. paradoxus* se sont révélées provenir toutes de Chine ou de Taïwan. De plus, les espèces les plus proches de l'ancêtre commun de *S. cerevisiae* et de *S. paradoxus* sont elles-mêmes originaires d'Asie de l'Est ou endémiques du Japon. En d'autres termes, tout converge vers l'idée que la levure de boulanger vient d'Asie de l'Est, et très probablement de Chine.

Par ailleurs, la comparaison des génomes des souches chinoises et non chinoises de *S. cerevisiae* a montré que ces dernières n'étaient pas plus proches d'une lignée chinoise que d'une autre. Elles dériveraient donc non pas de plusieurs, mais plus probablement d'une même lignée chinoise plus ancienne.

UNE FORTE EMPREINTE DE LA DOMESTICATION

L'origine de la levure est loin d'être la seule information que fournit cette base de données. Ainsi structurée en arbre phylogénétique, elle permettra de suivre pas à pas les diverses domestications, les duplications de gènes et les transferts

horizontaux – en d'autres termes les dynamiques des génomes au sein de l'arbre. On s'aperçoit déjà, par exemple, que la domestication a un effet crucial sur la structure de l'arbre. Des lignées correspondent ainsi aux levures inféodées à des substrats précis : vins européens, bioéthanol brésilien, laiterie française, bière africaine, agave mexicain, cacao africain, vin de palme africain, saké japonais...

La réunion de ces 1011 génomes permet aussi d'établir le pangénome, c'est-à-dire l'ensemble des gènes trouvés chez la levure : on en compte 7796, séparés en 4940 gènes majeurs, dont il n'existe qu'une copie dans le génome et qui régissent les grandes fonctions de la cellule, et 2856 gènes variables, présents souvent en plusieurs copies, jouant un rôle dans les métabolismes secondaires et les réactions aux stress. Les gènes majeurs sont situés au centre des chromosomes, près du centromère, tandis que les gènes variables sont aux extrémités des chromosomes, les télomères. On comprend donc que les échanges se font surtout à ces extrémités.

UNE LEVURE SYNTHÉTIQUE ÉVOLUTIVE

On pourrait aller plus loin encore. Depuis 2011, un projet international, le *Sc2.0 Project*, cherche à synthétiser un génome eucaryote complet, celui de la levure *S. cerevisiae*. Les premiers génomes de synthèse, comme celui du virus de la poliomyélite en 2003 ou celui, près de mille fois plus gros, de la bactérie *Mycobacterium mycoides*, en 2010, étaient déjà des prouesses techniques. Mais dans le projet *Sc2.0*, les chercheurs ont trouvé le moyen de rendre le génome de synthèse capable d'évoluer. Après insertion de sites particuliers près des gènes non essentiels, l'induction du système utilisé, nommé *Scramble*, favorise les translocations, insertions et suppressions de ces gènes. L'objectif ? Trouver le génome minimum autonome.

Mais au-delà de ce génome minimum, la configuration scientifique actuelle est inédite et profondément novatrice. D'un côté, une base de données contenant la variabilité de 1011 génomes de levure, résultat d'histoires évolutives naturelles ou de domestications. De l'autre, un outil moléculaire offrant des génomes synthétiques évolutifs. De là à combiner les deux approches pour imiter en accéléré les longues dynamiques de l'évolution et en décoder les processus, il n'y a qu'un pas. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. Peter et al., **Genome evolution across 1,011 *Saccharomyces cerevisiae* isolates**, *Nature*, vol. 556, pp. 339-344, 2018.

J. Peter et J. Schacherer, **Population genomics of yeasts : Towards a comprehensive view across a broad evolutionary scale**, *Yeast*, vol. 33, pp. 73-81, 2016.

J. Dymond, J. Boeke, **The *Saccharomyces cerevisiae* SCRaMbLe system and genome minimization**, *Bioeng. Bugs*, vol. 3, pp. 168-171, 2012.

L'AUTEUR



HERVÉ THIS
physicochimiste,
directeur du Centre
international de
gastronomie moléculaire
AgroParisTech-Inra, à Paris

POUPÉES RUSSES DE LIQUIDES ET DE SOLIDES

En s'aidant de la congélation,
on peut confectionner des systèmes
composés de couches concentriques
alternativement solides et liquides.



Quand les contrastes sont forts, la perception est stimulée. C'est quand on met du noir sur du blanc que l'on a le plus de contraste visuel, et la musique sait combien le silence est important pour accentuer certaines notes: «Le vase donne sa forme au vide, et la musique au silence», disait Georges Braque.

En cuisine? Pour ce qui est de la consistance, le solide et le liquide font le maximum de contraste. Comment réunir les deux éléments dans une même bouchée? Précédemment, dans le numéro de juillet, nous avons considéré une généralisation des bonbons de chocolat sous le nom de cryptand; mais on peut faire bien mieux. Ce que nous proposons aujourd'hui, c'est de jouer avec du froid pour réaliser un système de sphères emboîtées: du liquide dans du solide, ce solide étant lui-même dans du liquide, etc. Comment y parvenir? Il existe de nombreuses méthodes, mais je vous propose la suivante.

Partons d'un bâtonnet de vanille mis au grand froid, tel celui du congélateur. Quand le bâtonnet est bien refroidi, plongeons-en l'extrémité dans du jus d'orange à la limite de la congélation (on l'aura mis également au congélateur, mais moins longtemps). L'extrémité du bâtonnet se charge de jus d'orange, qui forme alors une mince couche congelée.

Nous replaçons ensuite le bâtonnet au congélateur pour que cette couche soit non seulement solidifiée, mais aussi très froide. Puis nous ressortirons le bâtonnet et nous le plongerons une deuxième fois dans le jus d'orange à la limite de la congélation, de sorte que, après une

Il est possible de réaliser des «pommes d'amour» qui ressemblent à celles-ci, mais dont l'intérieur est liquide.

succession de tels trempages et de remises au froid, nous obtenions, au bout du bâtonnet, une boule de jus d'orange congelé aussi grosse que souhaité. Quand le système sera finalement terminé et qu'il sera porté à la température ambiante, cette boule redeviendra liquide, formant la sphère interne.

Pour faire une première coque solide, les possibilités sont nombreuses. On utilise souvent le chocolat ou le beurre de cacao fondus pour enrober les glaces. Trempions donc brièvement notre boule de jus d'orange glacée dans du beurre de cacao à la limite de la solidification, c'est-à-dire vers 34°C: le beurre de cacao se solidifie autour du jus d'orange.

Reste à faire la seconde couche sphérique liquide: nous procéderons comme précédemment, avec une alternance de remises au froid et de trempages dans un liquide, jusqu'à obtenir l'épaisseur souhaitée. Il faudra enfin envelopper tout cela dans une couche solide et, là encore, on pourra utiliser le trempage dans le beurre de cacao.

Ce type de manipulations permet de réaliser plus de deux alternances liquide-solide, mais l'utilisation du congélateur est fastidieuse et la production de systèmes emboîtés est longue. On pourrait avec profit se servir d'azote liquide, qui permet des congélations immédiates puisque, au lieu de refroidir à -20°C, on atteint immédiatement la température de -196°C.

Le beurre de cacao n'est pas la seule matière qui forme un solide en refroidissant: les pâtisseries ont ainsi l'habitude d'utiliser des sirops concentrés et, là, on se souviendra utilement que la température de 127,4°C est celle à partir de laquelle un sirop soudainement refroidi fait un système «vitreux», solide et amorphe comme le verre à vitre. ■



LA RECETTE

- 1 Par une alternance de trempages de l'extrémité d'un bâtonnet dans du jus d'orange et de passages au congélateur, former une boule de jus d'orange glacée (on peut aussi aller plus vite en plongeant un bâtonnet dans un compartiment de glaçon où l'on a placé du jus d'orange, et en mettant l'ensemble au congélateur).
- 2 Fondre du chocolat ou du beurre de cacao à la température la plus basse à laquelle la préparation devient liquide.
- 3 Plonger la boule de jus d'orange glacée dans la matière grasse fondue. Alternier des remises au froid et des trempages dans la matière grasse fondue jusqu'à obtenir l'épaisseur de matière grasse fondue souhaitée.
- 4 Plonger l'ensemble dans du jus de mangue refroidi à la limite de la congélation, et alternier des trempages et des passages au congélateur, jusqu'à obtenir une sphère de jus de mangue congelée autour de la première boule.
- 5 Couvrir de beurre de cacao par trempage, comme aux étapes 2 et 3.

A

PICORER



Retrouvez tous
nos articles sur
www.pourlascience.fr

P.7

48 000

C'est le nombre de morts prématurées en France en 2017 du fait de la pollution atmosphérique. À l'échelle mondiale, les estimations sont de l'ordre de 7 millions de personnes décédées.

P.24

« Le développement de l'enseignement de l'informatique aura peut-être un heureux effet secondaire : la diffusion, par porosité, de ses méthodes pédagogiques à d'autres disciplines »

GILLES DOWEK
Chercheur à l'Inria

P.94

2 920

C'est le nombre moyen de générations que produit chaque année une levure *Saccharomyces cerevisiae*, aussi nommée levure de boulanger. Soit environ 8 par jour.

P.68

ALCHIMIE

Newton était fasciné par l'occulte. C'est pour chercher Dieu qu'il s'est intéressé au mouvement des corps célestes, mais aussi à l'alchimie, au secret de la pierre philosophale et de l'élixir de jeunesse. Pour éviter de ternir sa réputation, il cachait ses recherches sulfureuses à presque tout le monde. Il écrivait néanmoins de nombreuses notes sur le sujet.

P.38

LIMITE D'EDDINGTON

Il s'agit du rythme optimal de croissance d'un trou noir qui absorbe de la matière. Le trou noir double alors de masse tous les 10 millions d'années.

P.26

CROTTIN

Sachant que 200 000 chevaux arpentaient les rues de New York au tournant du xx^e siècle et que cet équidé produit en moyenne 11 kilos de crottin par jour, pouvez-vous calculer combien de millions de tonnes d'excréments les autorités new-yorkaises devaient évacuer chaque année ?