

> Deux groupes internationaux ont réalisé son séquençage, l'un piloté par Mohammed Bendahmane, de l'École normale supérieure de Lyon, l'autre par Fabrice Foucher, de l'Institut de recherche en horticulture et semences, à Angers. Les deux séquençages (chacun de plus de 90 % du génome) proposent indépendamment un génome de même taille: 516 et 512 millions de paires de bases (les constituants de l'ADN), pour respectivement 36 000 et 39 000 gènes codant des protéines. Comparé au génome humain, celui de la rose est sept fois plus petit, mais compte presque deux fois plus de gènes!

Comment étudier l'histoire de la domestication? Le groupe de Mohammed Bendahmane a comparé le génome de la rose chinoise à 15 autres génomes de roses des sections *Chinenses*, *Cinnamomeae* et *Synstaleae*, qu'il a séquencés de nouveau pour l'occasion. Et il a recherché quelle était la contribution de chaque section dans le génome de la première rose moderne, le cultivar La France. Créée accidentellement au XIX^e siècle dans les serres lyonnaises du rosiériste Jean-Baptiste Guillot, cette rose est remontante comme les rosiers européens et a une floraison abondante de fleurs doubles comme les rosiers de Chine.

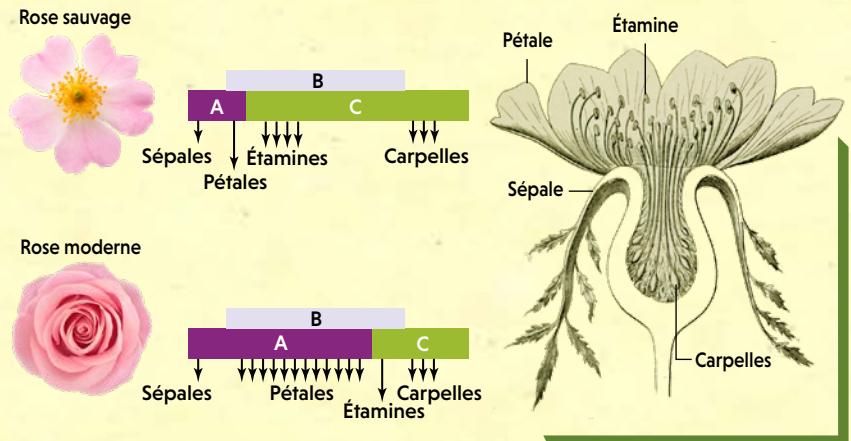
FLORAISON CONTINUE: UNE HISTOIRE DE TRANSPOSONS

Botaniquement, le cultivar La France est un hybride entre un hybride remontant Madame Victor Verdier et un rosier à odeur de thé, lui aussi hybride. Et de fait, son génome s'est révélé une mosaïque complexe de fragments provenant des trois sections *Chinenses*, *Cinnamomeae*, *Synstaleae*, brassés par les diverses hybridations. Or les biologistes de l'évolution savent que l'hybridation provoque souvent un déséquilibre génétique. Le stress ainsi induit favorise la mobilisation de fragments mobiles d'ADN – des transposons – qui s'insèrent de manière aléatoire dans le génome et sont susceptibles de provoquer des bouleversements quand ils atteignent des séquences codantes ou régulatrices.

Recherchant de tels éléments mobiles, l'équipe de Lyon a ainsi, entre autres, mis au jour le mécanisme qui maintient une floraison continue. Elle a montré qu'un transposon a muté le gène *TFL1* (*Terminal Flower 1*), dont le produit, en temps normal, maintient le méristème apical, la zone de croissance de la partie aérienne de la plante, dans un état

COMMENT LA ROSE A MULTIPLIÉ SES PÉTALES

En botanique, le modèle ABC décrit comment l'expression d'un ensemble de trois gènes A, B, C suffit à orchestrer la croissance d'une fleur. Chez la rose sauvage, qui n'a qu'une rangée de pétales, la seule expression du gène A détermine la croissance des sépales, puis celle conjointe des gènes A et B produit les pétales, et celle conjointe des gènes B et C, les étamines. Enfin, la seule expression du gène C donne les carpelles, qui renferment les ovules de la fleur. Le gène A inhibe le gène C et ainsi détermine la frontière à partir de laquelle les étamines se forment. Dans le modèle ABC de la fleur double, l'expression du gène C est très faible, car son territoire est envahi par l'expression du gène A. La nouvelle frontière se trouve décalée, et ainsi on obtient des pétales là où l'on attend des étamines. Chez la rose moderne, cette dérégulation serait due à l'insertion d'un élément mobile dans le gène *RC3G0243000*, qui joue le rôle du gène A.



Hervé Le Guyader a récemment publié: **L'Aventure de la biodiversité**, (Belin, 2018).

BIBLIOGRAPHIE

O. Raymond et al., **The Rosa genome provides new insights into the domestication of modern roses**, *Nat. Genet.*, vol. 50, pp. 772-777, 2018.

L. Hilbrand Saint-Oyant et al., **A high-quality genome sequence of Rosa chinensis to elucidate ornamental traits**, *Nat. Plants*, vol. 4, pp. 473-484, 2018.

A. Bombarely, **Roses for Darwin**, *Nat. Plants*, vol. 4, pp. 406-407, 2018.

M. Fougère-Danezan et al., **Phylogeny and biogeography of wild roses with specific attention to polyploids**, *Ann. Bot.*, vol. 115, pp. 275-291, 2015.

indéterminé (floral ou végétatif). Après mutation, le méristème reste continuellement floral.

Le groupe de Fabien Foucher a, lui, analysé le gène *RC3G0243000*, un homologue du gène *APETALA2*, décrit par ailleurs chez d'autres fleurs et qui joue un rôle essentiel dans la détermination de l'identité des pièces florales (sépales, pétales, étamines, pistils) durant l'embryogenèse de la fleur (voir l'encadré ci-dessus). Or dans une région non codante du gène (un intron), on détecte aussi l'insertion d'un transposon. Il est vraisemblable que cet accident génomique ait entraîné, par le changement de régulation de l'expression du gène, le phénotype «fleur double», caractérisé par de très nombreux pétales.

Ainsi, sans le savoir, les rosiéristes ont utilisé un mécanisme clé de l'évolution – la mobilisation des transposons – lors des hybridations qu'ils ont produites. Et les transposons ne sont qu'un exemple des mécanismes évolutifs mis au jour dans la domestication de la rose. On le voit, il est tout aussi instructif d'étudier le résultat d'une sélection artificielle que naturelle pour détailler et comprendre les mécanismes moléculaires et cellulaires impliqués dans l'évolution... ■

DURÉE LIBRE

FORMULE INTÉGRALE

L'accès aux archives numériques depuis 1996

8,20 €
PAR MOIS

43 %
de réduction*

Pour la Science – Service abonnements – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email: pourlascience@abopress.fr

PAG19STD

8,20€
PAR MOIS
-43 %

IPV8E20

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

Partie réservée au service abonnement Ne rien inscrire

L'AUTEUR



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

LA COULEUR DES LIMONADES

Une limonade qui contient de la pulpe de citron s'éclaircit. Pourquoi? La question intéresse l'industrie des teintures.



Contrairement aux apparences publicitaires, la pulpe de citron affadit la couleur de la limonade.

Nous avons des idées fausses sur la couleur des aliments... parce que nous nous contentons de les regarder naïvement. Par exemple, un blanc d'œuf battu en neige est-il vraiment blanc? Le blanc d'œuf est en réalité un liquide jaune, tirant vers le vert, et c'est la réflexion d'une lumière blanche sur la surface des bulles qui fait apparaître blanche une telle mousse; éclairée par de la lumière bleue, la mousse est bleue. Ou encore, le jus de tomate, qui semble rouge, n'a cette couleur que temporairement, pendant le temps où les fragments de peau ou de pulpe sont en suspension dans le liquide; après sédimentation ou centrifugation, on le voit jaune, légèrement ambré.

Il est ainsi passionnant de bien regarder les aliments. Le sirop de menthe? Cuire des feuilles de menthe dans de l'eau avec du sucre fait un produit clair, qui n'a certainement pas la couleur verte que nous attendons; cela conduit l'industrie des sirops à ajouter des colorants alimentaires, en l'occurrence soit des chlorophyllines, soit un mélange de divers colorants, par exemple le caramel (E150b) et le bleu brillant (E133).

La limonade? Elle semble devoir être d'un beau jaune. Mais si l'on se contente de cuire des zestes de citron avec des feuilles de menthe, de l'eau, du sucre, puis d'ajouter le jus de citron à la décoction, on obtient une légère couleur jaune-vert. Et la couleur sera encore moins soutenue si l'on supprime la menthe de la préparation, ce qui aura toutefois l'inconvénient de réduire le goût frais apporté par les feuilles de cette plante.

Surtout, un phénomène mystérieux apparaît si l'on utilise une autre recette, qui consiste à laisser les demi-citrons pressés (la pulpe, donc, et pas seulement le zeste) entiers dans le liquide que l'on

prépare: la couleur disparaît, et la limonade devient incolore!

Pourquoi cette décoloration? Certains pourraient penser que l'effet s'apparente à celui observé quand on ajoute du jus de citron à du thé. Il est exact que, quand les polyphénols du thé se retrouvent dans un milieu plus acide, ils changent de couleur. Ces polyphénols s'apparentent aux pigments des fruits ou des fleurs, qui furent les premiers indicateurs colorés en chimie: par exemple, les «sirops de violette» étaient utilisés par les chimistes jusqu'au XVIII^e siècle comme indicateurs colorés.

On fera ainsi l'intéressante expérience d'ajouter de la soude caustique à des framboises bien rouges: naturellement acides, elles virent alors au vert (surtout ne pas les manger ainsi!). Et quand on réacidifie, elles reprennent leur couleur rouge initiale.

COMMENT LA PULPE AGIT-ELLE?

Mais ce phénomène n'explique pas la décoloration des limonades, car c'est le jus qui est acide, et non la pulpe. Et cette dernière ne change pas l'acidité. Alors?

Alors on n'en sait rien à ce jour, même si l'industrie alimentaire sait valoriser des résidus végétaux de la préparation des aliments industriels pour extraire des pigments utiles pour décolorer. D'ailleurs, l'industrie textile est également concernée, et elle s'est intéressée à l'utilisation

de billes de cellulose, ou à des résidus de l'extraction des betteraves ou des cannes à sucre.

L'hypothèse d'une fixation des matières colorantes de la limonade par la pulpe de citron devra toutefois tenir compte de la présence de l'acide citrique, abondant dans la boisson: l'industrie des teintures découvre qu'ajouter ce composé au bain de teinture des cotons (de la cellulose presque pure, très semblable chimiquement à la pulpe des citrons) permet d'obtenir en une étape la coloration et la fixation des couleurs. ■



RECETTE D'UNE BOISSON D'HIVER

- 1 Dans une casserole, mettre un litre d'eau froide et le zeste de trois citrons.
- 2 Porter à ébullition, jeter l'eau.
- 3 Puis ajouter un litre d'eau froide, porter à ébullition et jeter l'eau de nouveau.
- 4 Aux zestes «blanchis», ajouter le jus des trois citrons, un litre d'eau, 200 grammes de sucre, une cuillerée à café d'acide citrique et quelques feuilles de menthe, un tour de moulin de poivre blanc ou un peu de piment.
- 5 Donner un coup de mixeur pour dissoudre le sucre et broyer les zestes.
- 6 Stocker dans des bouteilles. Pour servir, mettre du sirop dans un verre, quelques glaçons et, au dernier moment, ajouter une pincée de bicarbonate de sodium, qui fera une délicate effervescence.