

# Un mystérieux parfum de rose

**L'** Il n'existe qu'une centaine d'espèces de rosiers sauvages dans le monde mais plus de 30 000 variétés ont été créées et cultivées par l'homme (figure p. 58-59). D'abord récoltées dans la nature (figure p. 58-59 A), puis récupérées au hasard des mutations naturelles donnant des fleurs semi-doubles\*1 (figures p. 58-59 B et C), des fleurs très odorantes ou d'aspects étranges (figure p. 58-59 P), elles ont ensuite été bouturées et cultivées en champs depuis l'époque antique.

Aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, l'engouement pour la reine des fleurs est tel que certains sélectionneurs ne vivent que de cette production. Ils croisent et sélectionnent des variétés de plus en plus étonnantes : rouges, roses, blanches, semi-doubles, doubles, moussues, à odeur suave, remontantes\*2, florifères, jaunes, sans puceron, à longue tenue en vase, inermes (sans épine)... Certains de ces caractères n'existent pas dans la nature mais sont apparus par mutation spontanée chez des roses cultivées. C'est le cas de la couleur rouge vermillon, obtenue par hasard chez les sélectionneurs mais qui n'a jamais été observée chez des roses sauvages. C'est aussi le cas de la « mousse » sur les tiges et les sépales (1). Cette qualité provient d'une mutation qui fait pousser, presque à l'infini, des glandes sécrétrices à odeur résineuse sur d'autres glandes du même type (figure p. 58-59 Q). Celles-ci existent en petit nombre chez les roses sauvages.

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, les exigences de sélection deviennent de plus en plus contraignantes. Les sélectionneurs tentent de combiner les caractères et d'en obtenir de nouveaux. Malheureusement, les connaissances scientifiques sur cette plante n'augmentent pas autant que celles concernant les végétaux de grandes cultures à visées agro-alimentaires (maïs, blé, riz). Les obtenteurs ne peuvent donc compter que sur leurs propres observations et leurs propres connaissances.

De nos jours, les roses destinées au marché de la fleur coupée sont

**Reine incontestée de l'horticulture, la rose conserve bien des secrets. Son parfum enivrant est le produit d'un métabolisme complexe, encore largement inexpliqué et très spécifique du genre *Rosa*. De grands programmes de recherches préparent l'obtention de sa séquence génomique et le développement d'outils pour son analyse génétique. Une approche biotechnologique pour l'étude et la création des senteurs se prépare ; elle donne de grands espoirs à l'industrie du parfum.**

cultivées en Amérique du Sud et en Afrique, les roses pour la parfumerie en Bulgarie, en Turquie, au Maroc (figure p. 58-59 E) et à Grasse (figure p. 58-59 D) et les rosiers à planter pour l'ornement viennent notamment de France ou d'Angleterre. La Chine développe aussi ses propres cultures à grande échelle (figure p. 58-59 R). Pour l'instant, les sélectionneurs ne disposent pas de marqueurs génétiques suffisamment nombreux pour diriger les croisements et certains traits sont d'une grande complexité et difficiles à suivre. C'est, par exemple, le cas des parfums pour lesquels il est coutume de dire que le croisement de deux roses parfumées ne donne que 10 % de descendants parfumés et pas toujours avec l'odeur attendue. Cette particularité est probablement à l'origine de la perte du parfum chez les roses coupées. En effet, en ne sélectionnant que sur la durée de tenue en vase, la probabilité de ne plus avoir de parfum après plusieurs générations est très élevée. Les obtenteurs cherchent aujourd'hui à créer des variétés présentant des odeurs typiques de rose pour le marché de la fleur coupée car, sur ce terrain, il s'agit de la fleur la plus vendue au monde. Ils cherchent aussi à augmenter les rendements des fleurs à destination de la parfumerie et à diversifier les odeurs de jardin pour les amateurs.

## LE PARFUM, DES MOLECULES BANALES...

Plus d'une centaine de molécules émises par les roses ont été identifiées mais seule une petite dizaine leur donne leur odeur typique. Il s'agit tout d'abord de monoterpènes acycliques comme le géraniol, le nérol, le citronellol et leurs dérivés, isomères, aldéhydes, cétones ou acétates. Ces molécules combinées aux ionones et aux damascénones (des terpènes dérivés des carotènes) donnent à l'huile essentielle une vive odeur de rose, parfois citronnée. D'autres terpènes comme le germacrène D ou le limonène, par

## Les auteurs

Jean-Claude Caissard et Sylvie Baudino

Laboratoire de biotechnologies végétales appliquées aux plantes aromatiques et médicinales EA 3061, Université Jean Monnet, Saint-Étienne

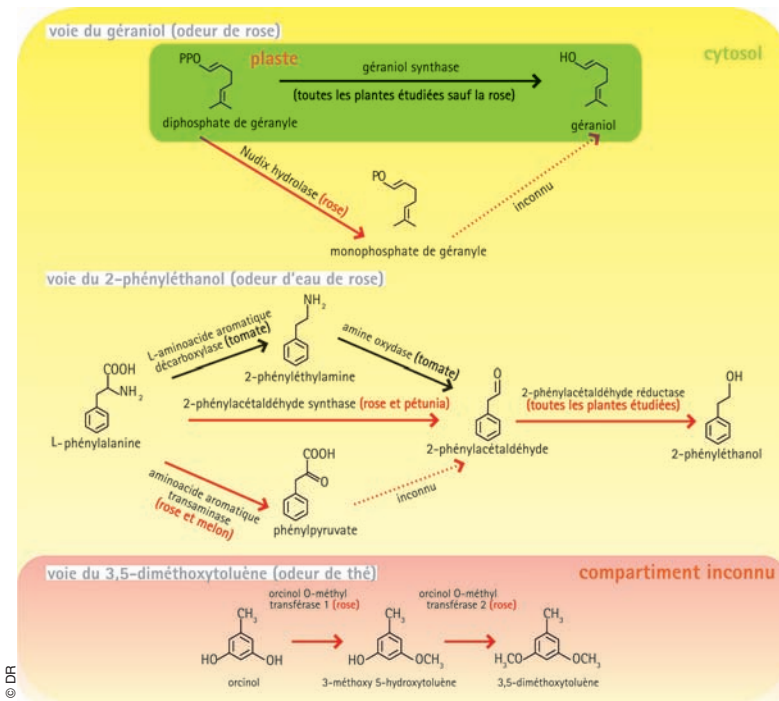
\*1 Le terme « simple » qualifie une rose à cinq pétales, « semi-double » une rose ayant 10 à 20 pétales et « double » une rose possédant 20 à 200 pétales.

\*2 Désigne une rose qui fleurit deux fois dans l'année : au printemps et en automne. Certaines roses sont tellement remontantes qu'elles fleurissent presque en continu d'avril à octobre.

exemple, combinés à des dérivés oxydés d'acides gras, peuvent former une pointe d'odeur « verte » voire résineuse. Il s'agit aussi des phénylpropanoïdes, comme le 2-phényléthanol, responsable de l'odeur de l'eau de rose – obtenue après distillation – ou de l'eugénol donnant une note de clou de girofle au parfum de la rose. L'odeur dite « de thé » est due à des phénols simples, le 3,5-diméthoxytoluène en particulier, mais aussi le 1,3,5-triméthoxybenzène. Cette odeur est caractéristique du groupe des roses de la section *Chinense* (figure p. 58-59 F-K). Néanmoins, l'appellation semble davantage liée au fait qu'elles étaient cultivées dans la pépinière Fa-Ti en Chine qu'à une réelle odeur de thé. À cause des multiples croisements, faits par les sélectionneurs et incluant toujours des roses remontantes et/ou grimpantes de la section *Chinense*, les variétés modernes, souvent nommées hybrides de thé (figure p. 58-59 L-N), contiennent ces molécules mélangées aux molécules à odeur de rose. Le 1,3,5-triméthoxybenzène est une molécule rare chez les autres espèces alors que le 3,5-diméthoxytoluène, les terpènes et les phénylpropanoïdes se trouvent plus fréquemment dans la nature. Ainsi, le 2-phényléthanol est présent dans des levures, la tomate, le melon, le pétunia et dans bien d'autres fruits et fleurs. Le géraniol se retrouve dans le gévrier, la citronnelle, le pelargonium, dans beaucoup d'espèces de plantes à fleurs et même chez des insectes comme l'abeille domestique *Apis mellifera*. De même, le citronellol, le germacrène D, le limonène et leurs isomères sont des molécules fréquentes dans la nature. L'odeur typique de rose dépend essentiellement des proportions de l'ensemble de ces composés même si, individuellement, certaines de ces molécules ont un parfum qui peut parfaitement évoquer celui de la rose.

### ... DES VOIES DE BIOSYNTHESE ORIGINALES...

L'originalité du parfum des roses vient des mécanismes de biosynthèse de plusieurs composés volatils (figure ci-dessus). Si certains composés sont synthétisés par des voies *a priori* conservées chez beaucoup de plantes (germacrène D, eugénol et méthyleugénol), d'autres ne le



© DR

sent pas (2-8). La biosynthèse peut présenter des variations ou être totalement différente. Par exemple, chez la tomate, le 2-phényléthanol est synthétisé à partir de la phénylalanine en trois étapes : décarboxylation, oxydation de l'amine et réduction. Chez le melon et les levures, il y a aussi trois étapes mais elles sont différentes : transamination, décarboxylation et réduction. Cette dernière existe chez les roses mais la voie majeure est la même que celle du pétunia, en deux étapes : synthèse directe du phénylacétaldéhyde à partir de la phénylalanine puis réduction.

La voie du géraniol et de ses dérivés est encore plus étonnante : dans l'état actuel des connaissances, elle semble propre au genre *Rosa*. En effet, toutes les plantes qui produisent du géraniol ou ses dérivés (géraniol, nérol, néral, acétates de géranyle et de néryle) le font directement à partir du diposphate de géranyle grâce à une géraniol synthase. C'est le cas des agrumes, de la citronnelle, de la vigne, de la pervenche de Madagascar, du basilic ou des oliviers. Chez les roses, aucune géraniol synthase n'a encore été découverte. En revanche, une Nudix hydrolase, nommée RhNUDX1, déphosphoryle le diposphate de géranyle en monophosphate de géranyle (9). Le phosphate restant est probablement enlevé par une phosphatase pour donner du géraniol, mais cette dernière enzyme n'est pas encore connue. RhNUDX1 est

originale car sa fonction est différente chez les autres êtres vivants. Chez l'arabette *Arabidopsis thaliana* – plante modèle en biologie végétale –, chez *Escherichia coli* – bactérie modèle en microbiologie et en biologie moléculaire – et chez l'homme, la Nudix hydrolase équivalente transforme le 8-oxo-dGTP en 8-oxo-dGMP (10). Le 8-oxo-dGTP est un nucléotide oxydé qui, lorsqu'il s'intercale dans l'ADN, provoque une mutation. La Nudix hydrolase joue donc un rôle de « détoxification » : sans sa présence, l'ADN accumulerait ce type de mutation. Récemment, il a même été montré que, dans des tumeurs cancéreuses humaines, le gène codant cette enzyme est surexprimé, empêchant ainsi la tumeur d'accumuler des mutations dues au 8-oxo-dGTP et prolongeant ainsi la durée de croissance des cellules cancéreuses (11). Il est donc fascinant de voir le rôle radicalement différent qu'a pris cette protéine chez les roses. C'est un bel exemple de diversification des fonctions enzymatiques au cours de l'évolution.

### ...ET DES MÉCANISMES DE SÉCRETION ENIGMATIQUES

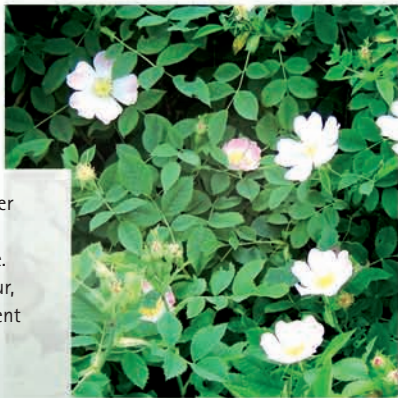
Chez les roses botaniques, les principaux composés volatils sont synthétisés au niveau des étamines et des pétales. Tout comme les couleurs, ces composés servent de guides pour attirer les insectes pollinisateurs. Chez les roses modernes,

### Voies originales de biosynthèse des composés odorants (d'après 3-5,7-9,20)

La biosynthèse du géraniol en deux étapes est propre à la rose. Chez toutes les autres plantes étudiées, la synthèse se fait directement par une géraniol synthase plastidiale. La voie du 2-phényléthanol (odeur d'eau de rose) est propre aux roses et aux pétunias. La rose a aussi une partie de la voie du melon. Chez la tomate, la voie est différente. La voie du 3,5-diméthoxytoluène (odeur de thé des roses chinoises) n'a été résolue que chez les roses.

- (1) Caissard JC et al. (2006) *Ann Bot* 97, 231-38
- (2) Wu S et al. (2003) *J Biosci Bioeng* 96, 119-28
- (3) Guterman I et al. (2002) *Plant Cell* 14, 2325-38
- (4) Kaminaga Y et al. (2006) *J Biol Chem* 281, 23357-66
- (5) Scalliet G et al. (2008) *Proc Natl Acad Sci USA* 105, 5927-32
- (6) Huang FC et al. (2009) *J Exp Bot* 60, 3011-22
- (7) Chen XM et al. (2011) *J Plant Physiol* 168, 88-95
- (8) Hirata H et al. (2012) *J Plant Physiol* 169, 444-51
- (9) Magnard JL et al. (2015) *Science* 349, 81-3
- (10) Mac Lennan AG (2013) *Cell Mol Life Sci* 70, 373-85
- (11) Gad H et al. (2014) *Nature* 508, 215-21
- (12) Bergougnot V et al. (2007) *Planta* 226, 853-66
- (13) Caissard JC et al. (2004) *Rec Res Dev Cell Biol* 2, 1-15
- (14) Caissard JC, Baudino S (2012) in *Chimie des huiles essentielles, tradition et innovation*, Vuibert, Paris, 22-34
- (15) Nagnan-Le Meillour P, Caissard JC (2012) in *Écologie chimique, le langage de la nature*, Cherche Midi, Paris, 28-43
- (16) Smulders MJM et al. (2011) in *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources Plantation and Ornamental Crops*, Springer-Verlag, Berlin, 243-75
- (17) Dubois A et al. (2012) *BMC Genomics* 13, e638
- (18) Spiller M et al. (2011) *Theor Appl Genet* 122, 489-500
- (19) Orlova I et al. (2006) *Plant Cell* 18, 3458-75
- (20) Scalliet G et al. (2002) *FEBS Lett* 523, 113-8

# Une formidable diversité de plantes



**A.** *R. canina* ou églantier est le rosier sauvage le plus connu en France. Pour nombre d'obteneur, il intervient probablement dans la généalogie des roses à parfum.



**B.** *R. gallica* est un rosier sauvage très parfumé. Il est inscrit dans la liste des espèces végétales protégées en France. Son origine se perd dans l'Antiquité et il pourrait même être un hybride naturel et provenir du Moyen-Orient.



**C.** *R. gallica officinalis* est une mutation semi-double de *R. gallica*. Là encore son origine est mystérieuse : Antiquité pour les uns, Moyen-Âge pour les autres. Il a beaucoup été utilisé dans les croisements dès la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, en particulier par les obtenteurs hollandais.



**Q.** *R. x centifolia muscosa* est une mutation spontanée de *R. x centifolia* obtenue dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle a donné naissance à un vaste groupe dit des roses moussues. La mutation réitère le développement de glandes sur les glandes odorantes des parties vertes de la plante ce qui lui donne une forte odeur de résine.



**R.** *R. rugosa* est un rosier d'Extrême-Orient à odeur très agréable de rose. La variété 'Rose à parfum de l'Haÿ', destinée à la parfumerie, n'a jamais eu de succès mais les obtenteurs chinois actuels l'utilisent pour développer une nouvelle rose à parfum.



**P.** *R. viridiflora* est une mutation spontanée de *R. chinensis* 'Old Blush'. Cette rose n'a plus de pétales, ses organes floraux sont tous remplacés par des sépales.



**O.** *R. x polyantha* 'Pâquerette' est la première variété du groupe des Polyantha, rosiers nains obtenus grâce à des semis de *R. multiflora*, un rosier donnant des variétés grimpantes.



**N.** *R. x hybrida* 'Soleil d'Or' est le premier hybride de thé, remontant, de couleur jaune et à odeur agréable. Il a été obtenu en 1900 par croisement avec *R. foetida* 'Persian Yellow'.



**M.** *R. foetida* 'Persian Yellow' est un descendant de *R. foetida*. Elle a été introduite du Moyen-Orient en Angleterre à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Sa franche couleur jaune, très rare dans les jardins de cette époque, fit son succès mais elle n'est pas remontante et son odeur est désagréable.





**D.** *R. x centifolia*, la célèbre rose de Mai cultivée à Grasse pour obtenir des concrètes – extrait végétal obtenu grâce à un bain de solvant puis évaporé – et des absolues – obtenue par une purification de concrète suivie d'une dilution finale dans l'éthanol – entrant dans la composition des parfums de luxe. C'est un hybride que l'on voit apparaître au XVI<sup>e</sup> siècle aux Pays-Bas mais qui provient peut-être de croisements spontanés récupérés dans la nature dès l'Antiquité. Les parents sauvages pourraient être *R. canina*, *R. gallica*, *R. phoenicia* et *R. moschata*.

**E.** *R. x damascena trigintipetala* ou rose 'Kazanlik' est la plus cultivée au monde pour son huile essentielle. Ses principaux champs sont en Turquie et en Bulgarie. Là encore, son origine se perd entre le Moyen-Age et l'Antiquité avec des parents sauvages qui pourraient être *R. gallica*, *R. moschata* et *R. fedtschenkoana*. Cette rose, ainsi que sa forme remontante, *R. x damascena bifera*, a été très utilisée dans les croisements dès le XVIII<sup>e</sup> siècle.



**G.** *R. chinensis spontanea* est aussi une rose de la section *Chinense*. Elle a été découverte à l'état sauvage en Chine vers la fin du XX<sup>e</sup> siècle alors qu'il s'agit certainement d'un des parents de toutes les roses chinoises issues de la pépinière Fa-Ti au XVIII<sup>e</sup> siècle.



**F.** *R. gigantea* est une rose grim-pante de la section *Chinense*. Cette rose prélevée en Chine vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle est un des parents des roses dites à odeur de thé et donc de beaucoup des hybrides actuels.

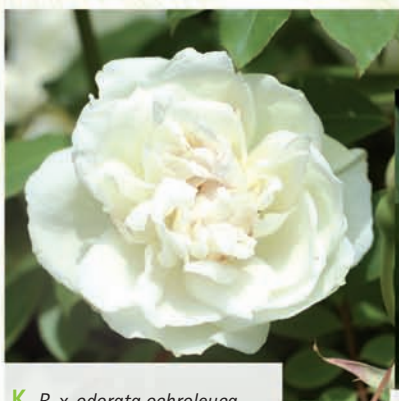


© JC GAISSARD

**H.** *R. chinensis* 'Old Blush' est une variété horticole rapportée de Chine à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et probablement issue d'un croisement entre *R. chinensis spontanea* et *R. gigantea*. Elle a été abondamment utilisée pour créer les roses modernes remontantes.



**L.** *R. x hybrida* 'La France' est la première variété du groupe horticole dit des hybrides de thé, groupe largement représenté parmi les roses modernes.



**K.** *R. x odorata ochroleuca*, ou 'Parks Yellow Tea-scented China', est la seconde rose des pépinières Fa-Ti arrivée en Europe peu après *R. odorata*. Sa couleur jaune, rare à l'époque, et son odeur de thé, ont fait son succès auprès des obtenteurs européens.



**J.** *R. x odorata*, encore nommée 'Hume's Blush Tea-scented China', est aussi une rose issue de la pépinière Fa-Ti au début du XVIII<sup>e</sup> siècle. Elle provient peut-être d'un croisement entre *R. gigantea* et *R. chinensis semperflorens*. Elle est considérée comme une des deux fondatrices des roses du groupe horticole dit à odeur de thé à cause de son odeur caractéristique.



**I.** *R. chinensis semperflorens*, importée aussi de Chine à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, a aussi été énormément utilisée dans les croisements pour sa remontance et sa couleur rose vif.

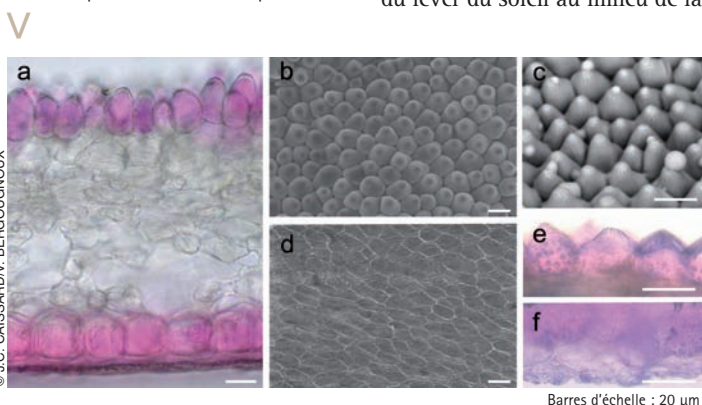


\*3 Plastid sans pigment, contrairement aux chloroplastes contenant de la chlorophylle.

\*4 L'« excrétion des métabolites secondaires » est le terme consacré pour le passage des métabolites secondaires de l'intérieur vers l'extérieur des cellules, « sécrétion » étant réservé aux protéines. On parle pourtant de plus en plus de « sécrétion des métabolites spécialisés » afin de souligner que les métabolites secondaires (non utiles aux fonctions cellulaires primaires) ne sont pas excrétés tels des déchets mais sécrétés activement pour une communication chimique spécialisée avec d'autres êtres vivants (15).

## Le pétale de rose et la sécrétion des terpènes

- a. micrographie photonique d'une coupe transversale de pétale. L'épiderme supérieur présente des cellules coniques alors que l'épiderme inférieur a des cellules plates. Malgré cette différence, les deux épidermes synthétisent et émettent des composés volatils (12).
- b. micrographie électronique à balayage de l'épiderme supérieur à cellules coniques.
- c. la micrographie électronique en pression contrôlée de l'épiderme supérieur à cellules coniques permet de visualiser des gouttelettes de sécrétion des huiles essentielles ;
- d. micrographie électronique à balayage de l'épiderme inférieur à cellules plates ;
- e. micrographie photonique d'une réaction de mise en évidence de terpènes dans l'épiderme supérieur (réaction de Nadi). La coloration violette semble indiquer que les composés volatils sont stockés sous forme de gouttelettes avant d'être émis ;
- f. micrographie photonique d'une réaction de mise en évidence de terpènes dans l'épiderme inférieur (réaction de Nadi). La coloration violette indique bien que l'épiderme inférieur produit aussi des terpènes.



Barres d'échelle : 20 µm

la quantité de pétales est telle que l'odeur globale de la fleur peut leur être entièrement attribuée – certaines variétés ne possèdent même plus d'étamines. L'observation de la surface des pétales montre des cellules papilleuses sur la face supérieure et des cellules plates en face inférieure (figure ci-dessous). Ces deux épidermes synthétisent et émettent les composés immédiatement volatilisés dans l'atmosphère (12).

À l'intérieur des cellules, les voies de biosynthèse sont compartimentées (13,14). Elles peuvent commencer dans un compartiment cellulaire tels les leucoplastes\*3 des cellules papilleuses et se terminer dans le cytosol. Lors de la découverte d'une enzyme, l'activité *in vitro* ne peut donc être qu'indicative. Les énigmes métaboliques sont ainsi nombreuses. C'est le cas de l'identification du compartiment cellulaire de catalyse des *carotenoid cleavage dioxygenases* de type 1 (conduisant aux ionones) et RhNUDX1, qui sont localisées dans le cytosol tandis que leurs substrats respectifs sont synthétisés dans les plastid (caroténoïdes et diphosphate de géranyl). Un autre mystère concerne une *carotenoid cleavage dioxygenase* de type 4 avec le même rôle mais propre aux plastid. Ces observations, et bien d'autres, suggèrent un trafic intracellulaire complexe, dont les modalités sont encore inconnues. De même, une fois les composés volatils synthétisés, il existe probablement un mécanisme hautement régulé qui permet leur excrétion\*4 au travers de la membrane plasmique. Cette hypothèse est étayée par l'ensemble des observations sur les plantes aromatiques : les mêmes composés peuvent être émis à midi ou à minuit, c'est-à-dire lors des pics d'activité des insectes pollinisateurs. Chez les roses, les producteurs récoltent les pétales du lever du soleil au milieu de la

matinée. L'émission des composés volatils n'est donc pas directement dépendante de la température – et donc passive – même si celle-ci a forcément un rôle sur la volatilité chimique. De plus, chez d'autres espèces, ces mêmes composés volatils peuvent être accumulés hors de la cellule, dans des compartiments sous pression (poches, canaux, glandes) et sortir de la cellule grâce à une force dont l'origine est encore inconnue. Ainsi, chez l'arbuste tropical *Bursera schlechtendalii*, la morsure d'un herbivore provoque un jet de terpènes de 15 cm pendant 4 secondes afin de repousser l'agresseur. Pour obtenir une telle force expulsive, il est nécessaire que les cellules excrètent leurs terpènes dans un compartiment extracellulaire sous pression, tel que des poches ou des canaux. Il existe donc des mécanismes de sécrétion cellulaire des composés volatils très actifs. Ces mécanismes sont cependant encore totalement inconnus.

## LES NOUVELLES PISTES D'ÉTUDE DES PARFUMS

Depuis quelques années, un groupe national français et un consortium international de chercheurs travaillant sur les rosiers ont vu le jour (16). Ils se rencontrent régulièrement pour présenter les progrès réalisés sur les connaissances liées aux résistances des rosiers aux maladies, à la remontée de floraison, aux parfums, à l'architecture du rosier, aux conditions de débourement des bourgeons, à la couleur ou au nombre de pétales ou encore à la classification des roses. Leur objectif principal concerne le séquençage du génome du rosier. Cette action est pilotée par le laboratoire de Reproduction et développement des plantes de l'École normale supérieure de Lyon et par l'Institut de recherche en horticulture et semences (IRHS) de l'Inra d'Angers. Ces équipes françaises ont déjà mis à disposition de la communauté internationale une collection de séquences d'ADN sur internet (17).

Prochainement, le consortium international devrait publier le génome de *R. chinensis* 'Old Blush'. Cette avancée scientifique permettra de faire un énorme bond dans les connaissances génétiques des

caractères du rosier et d'envisager des stratégies de suivi des gènes lors des processus de sélection variétale, une méthode communément utilisée dans les plantes de grandes cultures. Des cartes génétiques ont déjà été publiées, comme celles de l'IRHS et de l'Institut de génétique des plantes de l'Université d'Hanovre en Allemagne (18).

Les sélectionneurs et producteurs horticoles s'intéressent aussi à ce type d'approche. Par exemple, le site internet de la plateforme de génotypage à haut débit Gentyane de l'Inra annonce déjà des collaborations avec les Pépinières et rose-raies Georges Delbard, installées à Malicorne (Auvergne), et Florimond Desprez, un semencier basé à Cappelle-en-Pévèle (Nord).

Cet intérêt de la profession horticole, les découvertes sur les gènes responsables de caractères importants, la cartographie génétique et la publication d'une séquence de rosier devraient favoriser les programmes de sélection à long terme. Le caractère multigénique et complexe du parfum ainsi que la difficulté de transformer génétiquement le rosier – liée au faible pourcentage de réussite comme sur beaucoup de ligneux et aux plusieurs années d'attente avant l'apparition des premières fleurs –, obligent en effet à se focaliser sur des schémas de sélection « classiques », s'appuyant davantage sur les connaissances biologiques, biochimiques et génétiques récentes, que sur des approches purement biotechnologiques. Chez le pétunia par exemple – pour lequel il est possible de réaliser un marquage isotopique *in planta* et de produire de multiples mutants dans des délais plus courts que le rosier –, les chercheurs du Department of Horticulture and Landscape Architecture de l'Université de Purdue, aux États-Unis, ont réussi à simuler informatiquement les flux métaboliques des voies de biosynthèse des phénylpropanoïdes (19). Malgré la complexité de ces voies chez le pétunia, les chercheurs arrivent ainsi à prévoir les effets d'une modification enzymatique ou du rythme jour/nuit sur le profil odorant des fleurs. Si de telles simulations informatiques se généralisaient à d'autres plantes, et en particulier à la rose, les bénéfices scientifiques et industriels seraient très importants, voire démultipliés en association avec la séquence du génome du rosier. ■