

DROIT AU BUT GRÂCE À LA MÉTHODE « FAST-TRACK »



Photo : Agroscope.

L'utilisation de méthodes permettant de réduire le cycle des générations grâce à une culture ciblée (speed breeding), même sans recours au génie génétique, est largement répandue dans le domaine de la sélection végétale depuis de nombreuses décennies. Pour les pommes, le cycle naturel des générations dure de quatre à six ans. Depuis 2008, Agroscope utilise la méthode « Fast-Track » pour croiser des résistances connues provenant de pommes sauvages et de matériel exotique. Cette méthode permet de réduire de moitié le cycle des générations par rapport à la sélection traditionnelle sur le terrain.

En 2008, la méthode « low input Fast-Track » (la plus efficace possible en termes de temps et de coûts) a été introduite chez Agroscope à Wädenswil, s'inspirant du modèle néo-zélandais (« high Input Fast-Breeding », Volz *et al.* 2009). Cette méthode

visait à raccourcir le cycle des générations (de la floraison de l'arbre parent à la floraison des descendants de la génération suivante) par le biais d'une culture ciblée en serre, accélérant ainsi le processus de sélection. Pour croiser des variétés de pommes sauvages et du matériel très éloigné présentant une mauvaise qualité de fruit et d'autres caractéristiques indésirables, il est impératif d'opérer environ cinq rétrocroisements (pBC = « pseudo back cross ») avec différentes variétés de qualité. C'est le seul moyen d'arriver à un résultat dont la qualité des fruits et les propriétés agronomiques soient au niveau d'une variété moderne. Au début, la méthode a été principalement utilisée pour introduire des résistances connues au feu bactérien provenant des sources de résistance *Malus x robusta* 5 (FB_MR5), « Evereste » (Fb_E) (fig. 1) et *Malus fusca* (FB_Mfu10). Les quinze dernières années ont montré que la méthode « Fast-Track » permettait de

réduire le cycle des générations du pommier des quatre à six ans nécessaires dans la sélection classique sur le terrain à environ deux ans et demi. Le protocole a été constamment amélioré au cours des dernières années et son application a été développée grâce à différents projets financés par des fonds tiers.

LA MÉTHODE «FAST-TRACK»

Quelques semaines après le semis, les jeunes plantules de pommier d'une population de croisement sont analysées en laboratoire à l'aide de marqueurs moléculaires de résistances spécifiques. Les plantules porteuses des résistances souhaitées sont sélectionnées. A l'âge d'environ trois mois, elles sont ensuite placées dans une serre chauffée et cultivées sur propres racines dans des pots de 4,5 litres, suivant une gestion des cultures intégrées. Les arbres sont alimentés en eau et en éléments nutritifs par un système d'irrigation goutte à goutte, suffisamment exposés à la lumière et traités avec les produits phytosanitaires nécessaires contre les insectes et les maladies. De plus, pendant la période de végétation, les arbres sont traités tous les mois avec le produit Regalis® Plus de Stähler Suisse SA pour inhiber la biosynthèse de la gibbérelline et raccourcir ainsi les entrenœuds. À la fin des quatre à six mois que dure la période de végétation, la chute naturelle des feuilles est initiée grâce à trois applications de l'hormone de maturation Ethephon de Sintagro AG. Il s'ensuit un repos hivernal artificiel de neuf semaines en moyenne dans une chambre froide à 3-4° C. Ensuite, le processus se répète dans la serre. Les premiers arbres d'une nouvelle génération fleurissent généralement après la deuxième ou troisième période de repos hivernal (environ 2 à 3 ans après le semis). Les ombelles aux fleurs encore fermées sont emballées dans la serre dans des sacs en filet à mailles fines, comme on



Fig. 1 : Pomes du pommier d'ornement «Evereste» utilisé comme source de résistance à Fb_E.

peut le voir sur la photo pour les croisements qui ont eu lieu en février 2024. Si le pollen des fleurs ouvertes doit être utilisé pour réaliser des croisements sur le terrain, les anthères des fleurs sont prélevées, séchées et congelées. Par la suite, les fleurs ainsi castrées sont pollinisées avec du pollen de variétés de qualité sélectionnées ou de matériel de sélection intéressant, et les arbres sont maintenus en serre jusqu'à la maturité des fruits. Environ six mois après la pollinisation, les fruits sont récoltés et les graines de la génération suivante sont prélevées dans les fruits. La qualité des fruits est grossièrement décrite une première fois (arôme, texture), sachant qu'elle est nettement moins bonne en serre en raison des conditions défavorables à la maturation des fruits. Vient ensuite le greffage des arbres



Fig. 2 : Exemple de fruits récoltés au champ provenant d'une lignée issue de la sélection «Fast-Track» et portant la résistance au feu bactérien Fb_E du pommier ornemental «Evereste». De gauche à droite: pommier d'ornement «Evereste» utilisé comme source de résistance, F1'0801_12' (croisé en 2008), pBC'1'1003_37' (croisé en 2010), pBC'2'1301_15' (croisé en 2013), pBC'3'1609_24' (croisé en 2016).

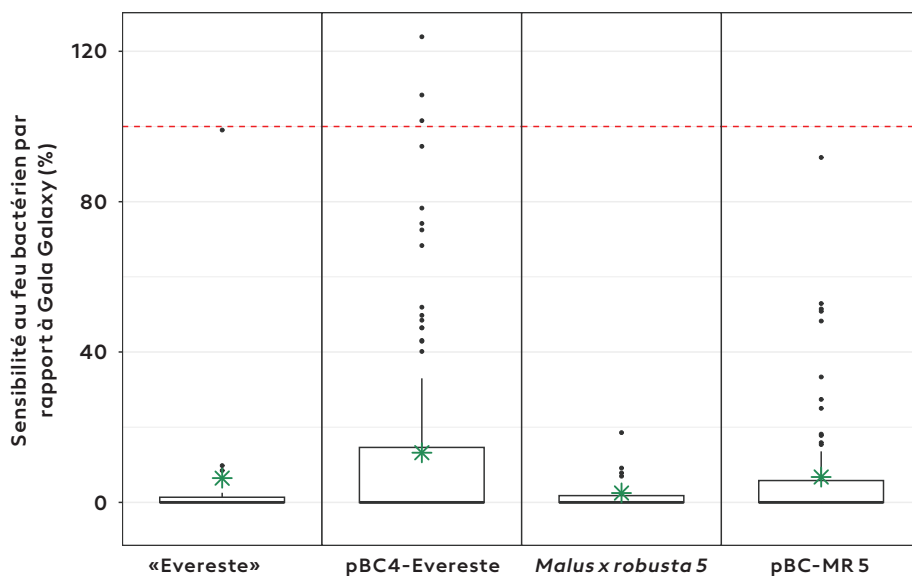


Fig. 3 : Comparaison de la sensibilité au feu bactérien dans le test des pousses entre les sources de résistance «Evereste» et Malus x robusta 5 et la dernière génération du «Fast-Track» (respectivement quatrième et cinquième pseudo-croisement inverse pBC). Les valeurs sont représentées par rapport à la sensibilité de «Gala Galaxy» (100 %, ligne rouge en pointillés). Les boxplots montrent la répartition des données, 75 % des valeurs mesurées se trouvant à chaque fois au niveau de la boîte. Les points indiquent les valeurs jugées aberrantes et le trait horizontal la médiane. De plus, l'astérisque vert représente la valeur moyenne par génotype ou génération. La médiane est également de 0 pour les dernières générations, ce qui signifie que la résistance au feu bactérien est restée élevée au fil des générations.

parents sur un porte-greffe, M9 ou M27 ZV Schneiderapfel, la culture en pépinière et la plantation sur le terrain. Là, la qualité des fruits des arbres «Fast-Track» fait l'objet d'une nouvelle description (arôme, texture, calibre, coloration). Les arbres parents sont en outre testés pour leur résistance au feu bactérien (*Erwinia amylovora*) selon la résistance conférée par le croisement. Celle-ci est évaluée par le biais d'un test artificiel sur de jeunes pousses dans une serre de quarantaine et parfois par une infection artificielle des fleurs dans la parcelle de biosécurité au Centre des fruits à noyau de Breitenhof (Bühlmann-Schütz *et al.* 2023).

QUALITÉ DES FRUITS

La qualité des fruits des sources de résistance présentées dans la figure 1 (pour la Fb_E résistance au feu bactérien provenant de la pomme ornementale «Evereste») n'est pas comparable à la qualité des variétés modernes de pommes de table actuelles. Les très petites pommes «Evereste», dont le poids moyen des fruits est d'environ 4g, ont un goût très acide, amer et sec. C'est pourquoi les descendants des croisements avec «Evereste» ou d'autres pommes ornementales ou sauvages doivent continuer à être croisés pendant plusieurs générations avec différentes variétés modernes ou clones de sélection (pseudo-croisements rétroactifs pBC) présentant une bonne qualité de fruit. L'application de la méthode «Fast-Track» a permis de réduire de moitié le cycle des générations entre les croise-

ments. Dès le premier croisement (F1), on constate une nette augmentation du calibre des fruits par rapport à la pomme «Evereste», source de résistance utilisée en 2008 (fig. 2). Les évaluations ont montré que les premiers descendants avec des calibres de fruits comparables à ceux des variétés modernes peuvent être obtenus dès le deuxième pseudo-rétrocroisement.

TOLÉRANCE AU FEU BACTÉRIEN

Tous les descendants croisés selon la méthode «Fast-Track» portent au moins un des gènes de résistance connus (FB_MR5, Fb_E, FB_Mfu10) selon les marqueurs moléculaires couplés aux résistances. La réaction de défense des plantes, appelée résistance phénotypique à la bactérie du feu bactérien, est testée par l'inoculation artificielle de jeunes pousses dans une serre de quarantaine selon Khan *et al.* (2006). Pour ce faire, les génotypes sont comparés à la variété sensible «Gala Galaxy». La figure 3 montre que la résistance phénotypique se maintient à un niveau très élevé au fil des générations pour les gènes de résistance FB_MR5 issu de *Malus x robusta 5* (MR5) et Fb_E issu d'«Evereste», et ce jusqu'à la quatrième, respectivement la cinquième génération de pseudo-croisement. De plus, en 2018, un descendant de troisième génération de MR5 a pu être testé pour la première fois en inoculation florale dans des conditions de terrain (voir les résultats dans Bühlmann-Schütz *et al.* 2023). La sélection 1124_26 (pBC'2 MR5) s'est révélé-

lée très résistante et ne présentait pratiquement aucun symptôme apparent d'infection. D'autres essais visant à évaluer la résistance des fleurs dans des conditions de terrain sont prévus pour le printemps 2026. Il s'agira de tester des descendants présentant une résistance combinée au feu bactérien (FB_MR5, Fb_E et FB_F7), qui ont été sélectionnés à l'aide de la méthode «Fast-Track».

RÉSISTANCE COMBINÉE

Au fil des ans, la méthode «Fast-Track» a permis de croiser et de recroiser non seulement les trois résistances au feu bactérien (FB_MR5, Fb_E et FB_Mfu10), mais aussi un grand nombre d'autres résistances à la tavelure (*Venturia inaequalis*, gènes de résistance Rvi2, Rvi4 et Rvi6) et à l'oïdium (*Podosphaera leucotricha*, gènes de résistance Pl1 et Pl2). Ainsi, les descendants de la sixième génération de pseudo-croisement, la plus avancée, portent déjà des gènes de résistance combinés contre les trois maladies. En ce qui concerne la résistance au feu bactérien de la pomme sauvage *Malus fusca* (FB_Mfu10), nous en sommes actuellement à la troisième génération de rétrocroisements. Les premières fleurs de la quatrième génération de rétrocroisement sont attendues au plus tôt en 2026. Dans les descendants de la cinquième génération de rétrocroisements, nous combinerons alors la résistance FB_Mfu10 avec les deux autres gènes de résistance au feu bactérien (FB_MR5, Fb_E).

CONCLUSION

Depuis l'introduction de la méthode «Fast-Track» en 2008, six cycles de générations ont été réalisés en 15 ans. Cela a donc permis de réduire d'environ de moitié la durée du cycle de générations par rapport aux croisements classiques sur le terrain. De plus, la sélection ciblée des parents à l'aide de marqueurs moléculaires a permis de combiner jusqu'à six gènes de résistance aux maladies de la tavelure

du pommier, de l'oïdium et du feu bactérien dans un génotype. La qualité des fruits, autrement dit le poids des fruits et l'arôme, a été constamment améliorée au fil des générations. A l'avenir, les nouvelles techniques de sélection génomique seront également intégrées dans la sélection des pommes. Il s'agit d'une estimation de la valeur de sélection qui, outre l'évaluation phénotypique du matériel de sélection, prend également en compte l'ascendance et une analyse génétique de ce matériel. L'avenir montrera si, dans le cas des pommes, une combinaison de la méthode «Fast-Track» et de la sélection génomique pour plusieurs critères permettra d'obtenir des résultats de sélection encore plus rapides.

Remerciements

Le groupe de recherche «Amélioration génétique des espèces fruitières» remercie tous ses anciens collaborateurs et collaboratrices, l'équipe d'arboriculture et de culture maraîchère d'Agroscope Wädenswil ainsi que tous les partenaires nationaux et internationaux qui ont contribué au succès de cette méthode. Le groupe remercie également l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) pour le soutien financier des projets à base de fonds de tiers, liés au développement et à l'utilisation de la méthode «Fast-Track».

Bibliographie

- Volz, R. K., Rikkerink, E., Austin, P., Lawrence, T., & Bus, V. G. M. (2009). «Fast-Breeding» in Apple: A Strategy to Accelerate Introgression of New Traits into Elite Germplasm. 6.
- Khan, M. A., Duffy, B., Gessler, C., & Patocchi, A. (2006). QTL mapping of fire blight resistance in apple. *Molecular Breeding*, 17(4), 299-306. <https://doi.org/10.1007/s11032-006-9000-y>.
- Bühlmann-Schütz S., Hodel M., Dorfmann E., Vonmetz L., Lussi L., Patocchi A. Comparison between artificial fire blight shoot and flower inoculations in apple. *Journal of Plant Pathology*, 105, (4), 2023, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01550-7>.

ANNONCE



Pépinières viticoles

- Grand choix de cépages.
- Divers clones et portes-greffes.
- Production de plants en pots et traditionnels.
- Machine pilotée par GPS, pose la barbe et le tuteur.
- Fournitures: Tuteurs et Piquets.

Pierre Richard
Route de l'Etraz 4
1185 Mont-sur-Rolle
Tél. 021 825 40 33
Fax 021 826 05 06
Natel 079 632 51 69
pepiniere.richard@hispeed.ch

www.pepiniere-richard.ch