

La tomate, les défis du goût

Comment retrouver le plaisir simple de manger des fruits et légumes savoureux ? Loin d'être triviale, cette question rejoint les objectifs du Programme National Nutrition Santé. Dans cette quête qui mène de la sensation à la consommation, la tomate tient un rôle à part. Il va bien au-delà de son importance dans notre régime alimentaire. Pour la communauté scientifique internationale, elle est en effet devenue le modèle d'étude qui sert à comprendre les bases biologiques très complexes des caractères de qualité aussi bien chez ses espèces cousines que pour tous les fruits charnus. Cette importance scientifique est reflétée par l'ampleur du dispositif pluridisciplinaire consacré par l'Inra à la qualité sensorielle de la tomate. Du génome de la plante à nos papilles gustatives en passant par les linéaires de la grande distribution, ce dossier donne un aperçu des nombreuses recherches qui visent à ramener du plaisir dans nos assiettes.



© Popolon

1 A l'écoute des papilles

Cœur de bœuf ou cerise ? Croquante ou fondante ? Sucrée ou acide ? Vous l'aimez comment votre tomate ? La question suscite des réponses aussi variées que tranchées. Elle illustre bien une des difficultés majeures de l'amélioration de la qualité sensorielle (ou organoleptique) des fruits et légumes : comprendre, en parallèle du fonctionnement de la plante, les perceptions et les attentes des consommateurs afin d'orienter les pistes de recherches.

L'histoire de la tomate est celle d'un succès. Elle est loin l'époque de son arrivée en Europe au XVI^e siècle où la tomate, encore parée d'une robe couleur or, était considérée comme un ornement voire un aphrodisiaque un peu magique. Elle pâtissait alors de la réputation sulfureuse de ses proches cousines de la famille des Solanacées : la mandragore ou la belladone. A présent, la tomate est devenue le premier fruit produit dans le monde et le deuxième légume juste derrière la pomme de terre, autre membre éminent de la même famille.

En France, la tomate se taille également la part du lion. En à peine un siècle, elle est passée du statut de quasi-inconnue des assiettes au pre-

mier légume frais consommé dans l'hexagone avec 14 kg par personne et par an. Même si nous sommes encore loin des Grecs qui devorent chaque année 56 kg de tomates fraîches, son importance dans notre régime alimentaire n'est plus à démontrer. Nous en consommons tellement qu'elle est devenue le premier apport en vitamine C de notre organisme (loin devant l'orange). Comme pour tout fruit et légume, son faible contenu calorique et ses nombreux micronutriments participent à une alimentation équilibrée qui prévient l'obésité. Sa composition originale en antioxydants laisse à penser qu'elle pourrait également avoir des propriétés protectrices contre les maladies cardiovasculai-

res et peut-être contre certains cancers (cf. encadré Lycocard).

Au détriment du goût

Peu à peu, elle a réussi à s'imposer dans notre quotidien et nous désirons maintenant toute l'année celle qui est longtemps restée la reine de l'été. Mais cette victoire a eu un prix. Pour satisfaire nos envies hors saison, il a fallu adapter la production aux climats moins ensoleillés et aux jours plus courts. La culture sous abri en hors-sol représente désormais 60 % des volumes. Les Hollandais ont été des pionniers en la matière. Autre solution, faire venir les tomates de régions plus lointaines au climat adapté. Ce qui a entraîné de nouvelles contraintes en matière de fermeté des fruits.

Contraintes encore renforcées par les impératifs de conservation de la grande distribution. Les sélectionneurs ont trouvé la solution au début des années 90 à la faveur d'une mutation génétique naturelle qui ralentit la maturation du fruit. C'est grâce à elle qu'ont été créées les variétés dites « long life » pouvant se conserver trois semaines, dont la fameuse « Daniela » qui a rapidement colonisé les étals. Or, ces tomates souffraient d'un péché originel. Déjà peu favorable à l'expression des arômes et à une bonne texture, cette mutation inhibitrice de la maturation a été introduite dans des variétés aux qualités gustatives médiocres. Résultat : fadeur d'une partie croissante de la production et baisse du sentiment de naturalité due à la culture sous serre en hors-sol ont peu à peu dégradé l'image de la tomate dans la population. Phénomène auquel s'est ajoutée la banalisation d'un produit présent toute l'année qui ne crée donc plus la même envie que lorsqu'il se faisait attendre huit mois.

Une bonne tomate c'est quoi ?

Il faut donc redonner du plaisir à la dégustation des tomates ! Mais la notion de plaisir est très complexe à caractériser et c'est bien aux préférences des consommateurs qu'il s'agit de répondre.

En France, la qualité organoleptique de la tomate est scrutée depuis une dizaine d'années par le CTIFL (1). Depuis peu, elle l'est aussi au niveau européen avec le projet EU-SOL, fort de 56 partenaires venant de quinze pays, qui s'intéresse aux deux Solanacées vedettes : la tomate et la pomme de terre. Son but est d'établir les préférences des consommateurs à l'échelle européenne, de distinguer les caractères à améliorer et d'identifier leurs bases génétiques et moléculaires.

Mathilde Causse de l'unité Inra Génétique et amélioration des fruits et légumes (GAFL) dirige le module consacré aux bases biologiques de la qualité et à leurs perceptions par les consommateurs. « *Pour la tomate, nous avons réalisé une cartographie des préférences dans trois pays, l'Italie, la Hollande et la France. Il est apparu que la saveur, principalement le ratio sucre-acide, et la texture sont très importantes. D'autre part, l'apparence influence aussi la satisfaction générale. Des résultats surprenants nous ont conduits à conclure qu'il y avait moins d'écart de préférences entre les pays qu'entre les classes de consommateurs de ces mêmes pays* » explique la chercheuse. En effet, quatre catégories de consommateurs se retrouvent dans chaque pays. Ainsi, on distingue les « gourmets », plus nombreux, qui aiment les tomates gus-

tatives et juteuses, les « traditionalistes », sensibles à la texture fondante et aux arômes des tomates côtelées anciennes, les « classiques » qui prisent les tomates fermes, rondes mais sucrées et enfin, les « indifférents » qui n'ont pas d'avis marqué et ont tendance à rejeter les nouveautés.

Les experts de la dégustation

La qualité organoleptique de la tomate fait référence à tous les sens qu'elle met en éveil. En plus de l'aspect extérieur, elle est définie par les saveurs perçues au niveau de la langue (acide, sucré, salé, amer), les arômes perçus par voie rétronasale (citron, bonbon, tomate verte, pharmaceutique...) et la texture (peau croquante, fruit ferme, fondant, juteux...).

Malgré des avancées sur les mécanismes de la perception du goût et de la qualité organoleptique en général, c'est encore son expression par l'homme lui-même qui reste le meilleur outil pour les évaluer. Depuis des années les chercheurs, les centres techniques et les sélectionneurs peaufinent les techniques de l'analyse sensorielle afin d'objectiver les caractéristiques d'un produit aussi bien qualitativement que quantitativement. La tâche n'est pas facile. En effet, comme des sportifs de haut niveau, les jurys experts chargés de décrire un produit doivent s'entraîner

Segmentation : une réponse adaptée aux enjeux ?

Afin de soutenir la demande globale de tomate, les producteurs et les distributeurs ont décidé de segmenter l'offre présente sur le marché. Il s'agit de proposer de nouvelles variétés qui soient facilement identifiables par leur aspect tout en répondant à des usages précis censés donner d'autres occasions de consommation. C'est ainsi que sont apparues au milieu des années 90 d'abord les tomates en grappe et les tomates cerise puis des variétés anciennes remises au goût du jour comme la « Marmande » ou la « cœur de bœuf ». L'offre est aujourd'hui pléthorique en termes de taille, de forme et de couleur. Cette stratégie a-t-elle permis de stimuler la demande de tomate ? Alors que l'on estime à 60 % le nombre d'individus ayant un niveau de consommation de fruits et légumes inférieur aux recommandations des nutritionnistes, la question revêt un intérêt majeur en terme de santé publique.

Afin d'y répondre, des chercheurs de l'UMR GREMAQ (1) ont examiné le comportement des consommateurs vis-à-vis des innovations introduites sur le marché. En se basant sur des données couvrant la période 1990-2008, ils ont pu modéliser l'impact de l'apparition des tomates grappe et cerise sur les prix et les volumes consommés. Premier constat : les nouvelles variétés n'ont pas dynamisé la demande globale. Au contraire, on assiste même à une baisse depuis 1996. Que s'est-il passé ? En fait, les tomates grappe, bénéficiant d'une image de plus grande naturalité, se sont simplement substituées aux tomates rondes sans donner d'autres occasions de consommation. Les chercheurs parlent de cannibalisme entre deux produits dont les usages sont trop proches. Les tomates cerise, par contre, sont plus à même d'augmenter la demande car elles se différencient par leur goût plus sucré et des utilisations ciblées comme le grignotage. Néanmoins, leur prix élevé les cantonne au statut de produit de niche. Au final, la segmentation a surtout eu le mérite d'enrayer la baisse des chiffres d'affaires dans la filière en servant de support à des augmentations de prix. Elle a aussi permis de rendre la consommation de tomates fraîches moins sensible aux baisses de prix d'autres produits, notamment les légumes transformés.



© Marcel Pickett

1. Groupe de recherche en économie mathématique et quantitative. Centre Inra de Toulouse.

➤ assidûment. La capacité à reconnaître certains arômes ou saveurs ne s'improvise pas. Par exemple, afin d'évaluer l'aspect sucré, les experts dégustent des solutions diluées plus ou moins sucrées et doivent les remettre dans l'ordre.

Au vu du nombre de paramètres qui entrent en jeu dans la description d'un produit, on comprend que la technique est longue et coûteuse. C'est pourquoi, les chercheurs tentent en parallèle de mettre au point des outils d'analyse physico-chimique qui permettent de prédire les résultats d'une analyse sensorielle avec une bonne corrélation.

Une fois les caractéristiques organoleptiques décrites, il faut ensuite découvrir leur place dans les préférences des consommateurs. C'est le rôle des tests hédoniques. Les panels sont constitués de plusieurs centaines de consommateurs représentatifs. Ces derniers goûtent plusieurs types de tomates et donnent une note de satisfaction générale sur une échelle de 1 à 10. Des études

statistiques permettent ensuite de développer une « carte des préférences » qui va dévoiler des classes de consommateurs adeptes de tel ou tel produit.

En ce qui concerne les fruits et légumes, il s'agit là de la base de futurs programmes de sélection qui prendront la qualité organoleptique en compte.

Pour les chercheurs et les sélectionneurs, l'existence de ces catégories est plutôt une bonne nouvelle car elle permettra de rendre économiquement possible la construction d'idéotypes variétaux à même de satisfaire le plus grand nombre.

(1) Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.



www.lycocard.com/
www.eu-sol.net

LYCOCARD : COMMENT LA TOMATE NOUS PROTÈGE-T-ELLE ?

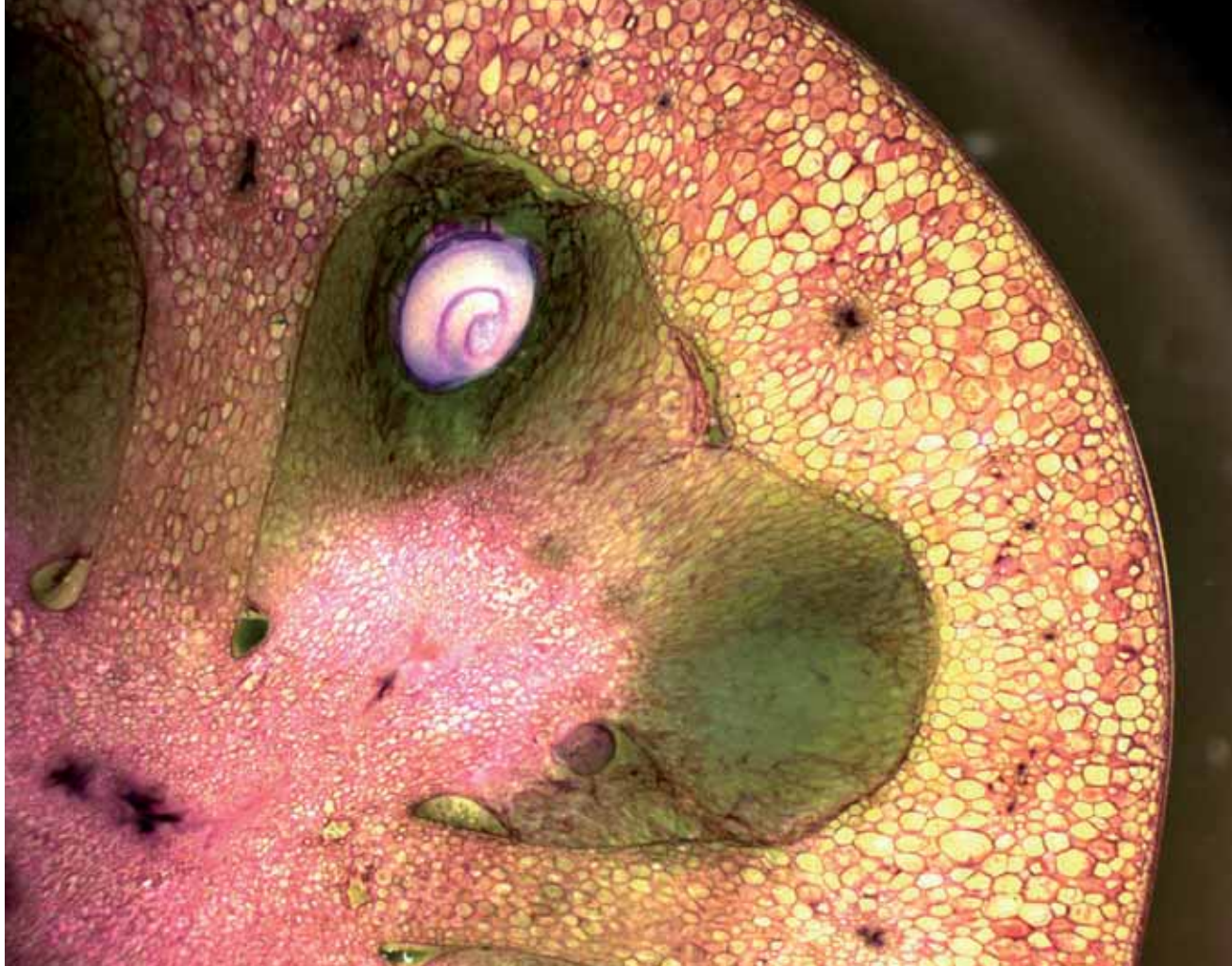
Les maladies cardiovasculaires et les cancers sont les premières causes de mortalité dans les pays développés. Or, de nombreuses études épidémiologiques font ressortir une relation inverse entre l'incidence de certaines de ces pathologies et la consommation d'antioxydants contenus dans les fruits et légumes, en particulier la tomate. Cependant, les mécanismes en question ne sont pas encore assez documentés pour améliorer les recommandations nutritionnelles ou concevoir des aliments plus protecteurs. Le sujet est complexe et les nombreuses molécules à analyser nécessitent un gros effort de recherche.

Depuis quatre ans, le projet européen Lycocard s'attache à comprendre et quantifier les effets protecteurs du lycopène, le pigment qui donne sa couleur rouge intense à la tomate, contre les maladies cardiovasculaires. Regroupant quinze partenaires parmi lesquels des scientifiques de plusieurs disciplines, des industriels transformateurs et une association de patients, ce consortium développe l'approche globale qui a fait défaut jusqu'ici pour comprendre les effets biologiques de ce puissant antioxydant. Deux unités de l'Inra y participent. L'UMR Nutrition lipidique et prévention des maladies métaboliques de Marseille réalise des études *in vitro* et *in vivo* sur l'activité biologique du lycopène ainsi que des études cliniques. A Avignon, l'UMR Sécurité et qualité des produits d'origine végétale (SQPOV) se focalise sur les propriétés physico-chimiques de la molécule et de ses dérivés.

Les objectifs du programme sont doubles. Au niveau fondamental, il s'agit de comprendre le métabolisme et les mécanismes moléculaires impliqués dans les effets protecteurs du lycopène. Ces résultats donneront ensuite des applications finalisées. Un transfert de ces résultats vers les industriels permettra de produire des aliments à la valeur santé améliorée tandis que les pouvoirs publics et les associations de patients accéderont à des recommandations nutritionnelles plus précises et fondées scientifiquement.

D'ores et déjà, Lycocard a permis de nettes avancées. Ainsi, l'équipe de Catherine Caris-Veyrat de l'unité SQPOV a pu synthétiser et purifier de nombreux dérivés du lycopène qui diffèrent par leur structure chimique. Ils ont ensuite été testés sur différents modèles expérimentaux afin d'établir une relation entre la structure des molécules et leur activité antioxydante mais aussi leur capacité à modifier l'expression des gènes de certains tissus. De son côté, l'équipe de Marseille, placée sous la direction de Patrick Borel, a permis de mieux comprendre la biodisponibilité du lycopène. Les chercheurs ont démontré qu'un transporteur intestinal intervenait dans le transport jusqu'au sang des antioxydants. Par la suite ils ont observé un lien entre la concentration en antioxydant dans le sang et les variations du gène codant pour ces transporteurs. Cela pourrait expliquer les différences de capacité d'absorption entre individus et ouvrir la voie à des conseils nutritionnels plus ciblés. Par ailleurs, les effets de la transformation des tomates (sauces, conserves, plats cuisinés) sur les teneurs et la biodisponibilité du lycopène sont également analysés par des partenaires de Lycocard. La molécule est en effet plus facilement absorbée sous forme de purée ou de sauce que depuis une tomate fraîche. Une plateforme industrielle de transfert de connaissance a vu le jour et déjà trois produits aux qualités nutritionnelles améliorées sont en cours de test épidémiologique à Marseille.

Les pistes de recherches à explorer sont encore nombreuses. Ainsi, en plus de son activité antioxydante, le lycopène a également des effets sur la capacité des cellules à communiquer entre elles. Ce qui pourrait être un autre mécanisme biologique important dans son rôle protecteur.



FRUIT DE TOMATE coloré et observé sous loupe binoculaire. La taille et l'agencement des cellules font partie des éléments régulant la texture.

2 La science de la saveur

Les amateurs de tomate ont de la chance. Leur fruit préféré a été choisi comme modèle pour étudier les bases biologiques de la qualité organoleptique et nutritionnelle des fruits charnus. Deux caractères particulièrement difficiles à analyser impliquant le fonctionnement global de systèmes aussi complexes que la cellule, le fruit ou la plante, le tout placé sous l'influence du génome et de l'environnement. Heureusement, les scientifiques possèdent à présent des outils puissants pour y parvenir.

Une bonne tomate ? Un sujet effroyablement compliqué ! Goût, forme, texture, teneur en vitamine C... Voilà quelques-uns des critères qui doivent être pris en compte simultanément par les chercheurs pour définir de façon exhaustive la qualité du fruit de tomate. Ces critères résultent de nombreux processus biologiques complexes, parfois antagonistes, qui dépendent eux-mêmes de variations génétiques (variétés) ou environnementales (conditions de cultures, climat...). Ces processus interagissent également entre eux et

évoluent au cours du développement du fruit. Leur compréhension fine est longtemps apparue comme un défi hors de portée.

Les progrès de la génomique à haut débit ont permis de le relever. La génomique fonctionnelle a été la révolution attendue : pour chaque cellule ou tissu observé, les chercheurs ont désormais accès à l'ensemble des ARN messagers effectivement transcrits à partir du génome (le transcriptome) ainsi qu'aux protéines traduites (le protéome) mais aussi aux produits des réactions métaboliques qui en résultent (le métabo-

lome). Ces informations varient dans le temps en fonction de l'environnement de l'organisme. Il devient donc possible d'identifier les fonctions biologiques des protéines, leur régulation et de suivre leur interaction tout au long du développement du fruit.

Une recherche nécessairement intégrée

L'Inra a déployé, depuis une quinzaine d'années, un important dispositif de recherche interdisciplinaire capable de prendre en charge tous les aspects de la qualité du fruit de tomate. Les collaborations y sont

nombreuses : généticiens, physiologistes, spécialistes des biopolymères, de la maturation du fruit ou de la chimie des antioxydants...

Deux approches sont privilégiées. La première consiste à décrire l'élaboration de la qualité dans le fruit au cours de son développement. Il s'agit de modéliser les flux d'eau et de carbone ainsi que l'accumulation des sucres et des minéraux en fonction du génome, de l'environnement et des conditions de culture. La deuxième approche se concentre sur le déterminisme génétique des différentes composantes de la qualité (texture, forme, teneur en sucres...). Ces dernières dépendent souvent d'un grand nombre de gènes et de plusieurs régions chromosomiques. Le but est de quantifier leur importance respective dans la variation du caractère étudié. Grâce aux deux mille variétés de tomates sauvages ou cultivées conservées par l'unité GAFL (1), les généticiens pourront ensuite explorer la variabilité naturelle de l'espèce à la recherche d'allèles permettant d'améliorer la propriété en question. *In fine*, l'objectif est d'intégrer toutes ces données dans des modèles qui permettront de maîtriser la qualité aussi bien par la sélection variétale que par les pratiques culturales ou la

A toutes les sauces

L'intensité des efforts de recherche sur la tomate à l'échelle internationale n'est pas seulement la conséquence de son fort intérêt économique. Quand la génomique fonctionnelle a permis de s'intéresser de plus près à des caractères aussi complexes que la qualité des fruits charnus, c'est vers la tomate que les chercheurs se sont tournés pour choisir leur modèle. Car elle a des atouts certains. Tout d'abord, un passé glorieux qui avait déjà vu fleurir une grande quantité d'études sur sa physiologie, son métabolisme ou encore sur sa maturation. Avant son séquençage complet, sa carte génétique était déjà assez dense et nombre de ses gènes déjà séquencés. Elle bénéficie enfin d'une biologie très pratique : cycles de développement assez courts avec plusieurs cultures possibles par an et un génome assez petit et manipulable qui facilite les études fonctionnelles.

Mais son caractère de fruit modèle ne s'arrête pas là. En tant que baie, la tomate peut également apporter, par exemple, des éléments de compréhension sur le fonctionnement du raisin. D'autre part, son génome est très proche d'autres Solanacées économiquement importantes comme la pomme de terre, l'aubergine, le piment ou le tabac. Elle est aussi génétiquement assez proche du café. Autant d'espèces pour lesquelles les gènes ou les régions chromosomiques intéressantes chez la tomate pourraient être mises à profit.

gestion post-récolte. Il s'agit d'une nouvelle démarche scientifique : la biologie intégrative.

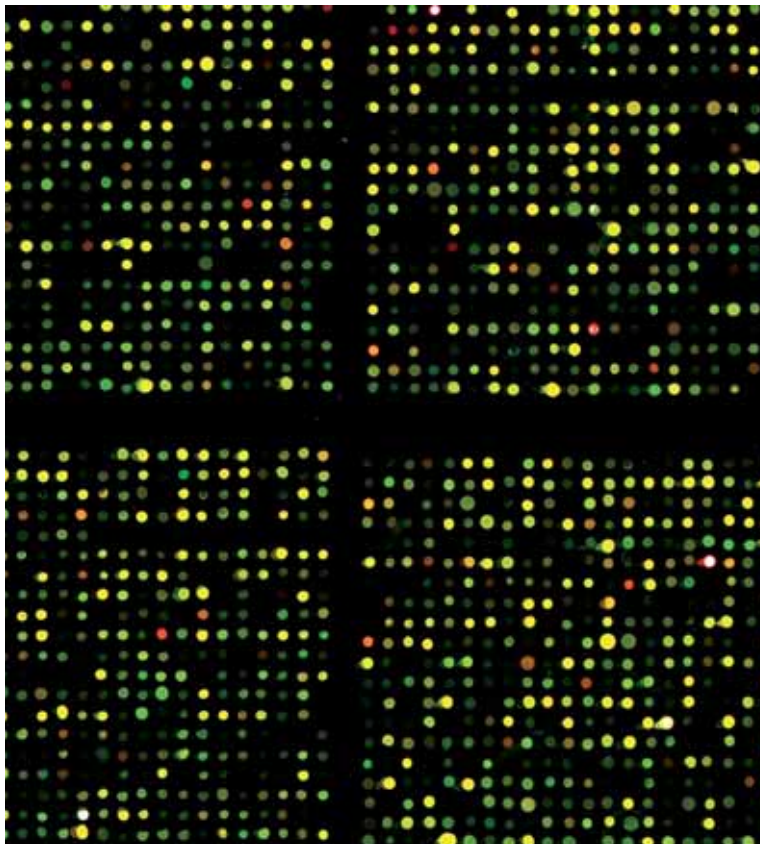
La mobilisation dépasse les frontières. Les recherches de régions chromosomiques intéressantes se font à partir de

banques de données internationales. Le récent séquençage du génome de la tomate qui implique un consortium de plusieurs pays (voir encadré) ainsi que le programme européen Eu-Sol dédié à la qualité des Solanacées en témoignent également.

Au niveau national aussi, la famille des chercheurs s'intéressant à la qualité de la tomate s'agrandit. Ces dernières années, de nombreux travaux de l'Inra sur cette thématique ont été réalisés dans le Cadre du programme ANR « Qualitomfil » qui faisait partie de l'appel à projet PNRA (2). Placé sous la direction de Mathilde Causse de l'unité GAFL, il a intégré des représentants de tous les acteurs de la filière et a permis d'ouvrir le domaine de la qualité aux économistes. « *C'est la première fois que des généticiens dialoguaient avec des économistes* », souligne la chercheuse « *ce qui n'a pas été sans poser quelques problèmes de vocabulaire et d'interprétation au début* ».

Dans un premier temps, ce programme interdisciplinaire a apporté une meilleure connaissance du fonctionnement du marché de la tomate et des attentes des consommateurs en terme de qualité sensorielle. Il a aussi permis d'identifier les verrous organisationnels qui freinent la valorisation de cette qualité dans la filière : méthodes de stockage qui pénalisent les arômes et la texture, manque de

PUCE À ADN. Elle a permis de comparer l'expression des gènes transcrits dans un fruit vert (points verts) et un fruit mûr (points rouges) et d'identifier ainsi un gène intervenant dans la synthèse du lycopène.



© Inra / Johann Peiff

répères ou de signes de qualité pour les consommateurs... Des avancées scientifiques au niveau fondamental ouvrent également des perspectives pour l'amélioration variétale et la conception d'outils d'évaluation de la qualité à la fois rapides et peu coûteux. Au final, le programme Qualitomfil constitue une étape supplémentaire pour répondre à la demande des consommateurs de produits de qualité. Dans un contexte économique particulièrement difficile, la filière pourrait aussi tirer un grand profit d'une nouvelle segmentation basée sur le goût.

Des prototypes variétaux savoureux

Les recherches s'orientent aussi vers la création de nouvelles variétés plus savoureuses. Dès 2002, les chercheurs du GAFL d'Avignon avaient identifié plusieurs QTL (régions chromosomiques ayant un effet partiel sur un caractère) de qualité chez une tomate cerise possédant un goût et des arômes remarquables. A l'aide de marqueurs moléculaires, ils ont pu suivre la présence de ces régions au gré des croisements avec une variété à gros fruit et évaluer les caractéristiques des hybrides les plus intéressants. Ce programme de sélection assistée par marqueurs a produit des fruits aux qualités organoleptiques améliorées. Malheureusement, ceux-ci présentaient un trop petit calibre pour une exploitation commerciale. Ils constituent néanmoins des prototypes qui serviront de supports aux sélectionneurs pour des améliorations futures. Plus récemment, une collaboration entre chercheurs et sélectionneurs privés dans le cadre du programme Qualitomfil a permis de franchir un cap vers des variétés commercialisables. Les partenaires ont ainsi visé des caractéristiques adaptées aux circuits courts ou aux jardins d'amateurs : culture en pleine terre, en champ ou sous abri, récolte à maturité, pas de conservation au froid. Dans ce cadre-là, des prototypes cumulant qualités agronomiques (résistance aux maladies) et organoleptiques ont pu être obtenus. Les évaluations physico-chimiques ont démontré leurs apports pour des critères nutritionnels et sensoriels. Les analyses hédoniques sont également sans appel. L'un des prototypes, développés par l'Inra, se place en tête des préférences du panel de consommateurs et devrait être proposé à l'inscription au

INTERVIEW



Christophe Rothan,
directeur de recherche à l'UMR biologie du fruit à Bordeaux. Spécialiste de la génomique fonctionnelle du développement du fruit, il est à l'origine de la création du laboratoire commun entre l'université de Tsukuba (Japon) et l'Inra.

Votre laboratoire travaille beaucoup sur le développement précoce du fruit. Quelle est l'importance de cette étape dans la qualité ?

Christophe Rothan : La phase qui précède la maturation est essentielle. Pour le calibre des fruits par exemple. Il dépend à la fois du nombre de cellules, qui est fixé dans les premiers jours qui suivent la fécondation, et de leur taille qui n'évolue plus dès que la maturation commence. Le goût et les arômes aussi sont très influencés par cette phase car elle conditionne l'accumulation des sucres et des acides organiques mais aussi de certains précurseurs d'arômes. Nous travaillons sur les mécanismes biochimiques et moléculaires qui régissent ces phénomènes. Parallèlement, nous identifions aussi des gènes qui interviennent dans la transition fleur-fruit et dans la croissance du fruit, très liée à la division cellulaire. La tomate a la capacité de faire grossir ses cellules en continuant à y synthétiser de l'ADN tout en bloquant leur division. Certaines d'entre elles peuvent avoir des milliers de fois leur taille initiale.

Comment est venue l'idée d'un rapprochement avec l'université japonaise ?

C. R. : Notre laboratoire possède de nombreux points communs avec le « Gene Research Center » de l'université de Tsukuba. Nous avons en particulier développé séparément deux collections originales de mutants de la même variété de tomate destinées à une activité de TILLING (Targeting Induced Local Lesions IN Genomes). Il s'agit d'une puissante méthode de génétique inverse, donc du gène vers le phénotype, que nous avons adaptée à la tomate en partenariat avec Abdelhafid Bendahmane de l'URGV (1) d'Evry. Elle permet l'analyse fonctionnelle systématique des grandes quantités de gènes candidats fournies par la génomique à haut débit. La technique repose sur l'observation des effets d'une variabilité génétique artificielle introduite dans la plante. Plus cette variabilité est grande plus la méthode est efficace, c'est pourquoi nous avons mis nos deux collections en commun. D'autre part, notre unité a été à l'origine de la création à Bordeaux de plusieurs plateformes de génomique fonctionnelle commune avec le CNRS et l'université. Nos collègues japonais ont apprécié de pouvoir trouver tous ces outils de pointe regroupés sur le site de l'Inra. Nous accueillons déjà un chercheur japonais au sein de notre équipe, une thèse en co-tutelle est en cours et plusieurs vont commencer. L'initiative se poursuit en partenariat étroit avec l'université de Bordeaux, qui met en place des échanges de masters et travaille à la mise en place d'un master commun dans le domaine végétal avec Tsukuba

1. Unité de recherche en génomique végétale. Evry

www.bordeaux.inra.fr/umr619

catalogue. Cette variété pourrait se retrouver dans nos assiettes d'ici quelques années.

Métabolites secondaires mais importance de premier plan

La vitamine C, les polyphénols, les flavonoïdes ou le lycopène... Les métabolites secondaires jouissent d'une grande attention de la part des chercheurs. Ces molécules sont qualifiées de secondaires, uniquement parce qu'elles ne font pas partie du métabolisme primaire vital de la plante : production des protéines, des lipides, des glucides ou des acides aminés. Elles

présentent un double intérêt. La plante les sécrète pour se défendre contre de nombreux facteurs de stress (hydrique, lumineuse, carence azotée, parasite...) ; elles interviennent donc dans la protection des cultures. Elles présentent aussi un intérêt nutritionnel majeur car beaucoup de ces métabolites secondaires ont des propriétés antioxydantes qui peuvent également protéger l'être humain.

Au vu de son importance avérée pour la santé humaine, la vitamine C est la plus étudiée. Dans le cadre du programme dédié à la biologie intégrative AgroBI, le projet VTC fruit a ➔

Séquençage du génome de la tomate : l'Inra a joué un rôle crucial

Après quatre années d'effort, le consortium international Solanaceae Genomic Network (SGN), qui regroupe des équipes de dix pays, a dévoilé la première version de la séquence complète du génome de la tomate le 12 Janvier 2010. Cette séquence va augmenter l'efficacité de la génomique fonctionnelle. D'autre part, elle ouvre de nouvelles perspectives pour comprendre les bases génétiques de la diversité morphologique et physiologique des plantes ainsi que leurs mécanismes évolutifs.

Parmi les pays impliqués dans le projet, la France a eu la responsabilité du septième des douze chromosomes de la tomate. Le travail a été piloté par Mondher Bouzayen du laboratoire génomique et biotechnologies des fruits de Toulouse en collaboration avec le Centre national de ressources génomiques végétales (CNRGV). En plus de sa contribution au séquençage, l'équipe française a apporté de nouveaux outils et méthodologies aux différents partenaires.

En effet, des technologies de séquençage nouvelle génération, beaucoup plus rapides, sont apparues en cours de projet. Elles imposent de subdiviser le génome en très petits sous-ensembles. Le défi résidait donc dans l'obtention de méthodes d'assemblage et de finitions capables de fournir une séquence finale de haute qualité. Ces méthodes ont largement bénéficié des mises au point et des validations de la plateforme bioinformatique de l'Inra de Toulouse. Il s'agit de la première réussite d'assemblage d'un génome complexe obtenu par séquençage nouvelle génération.

De son côté, le CNRGV a enrichi ses collections de plusieurs banques de fragments génomiques. Des pools tridimensionnels d'ADN ont notamment été produits afin d'obtenir un criblage plus rapide. La diffusion de cette ressource unique pour la tomate auprès des partenaires du SGN a permis au centre français de renforcer sa visibilité au sein de la communauté scientifique internationale travaillant sur les Solanacées.

<http://solgenomics.net> - <http://gbf.ensat.fr> - <http://cncrgv.toulouse.inra.fr/fr>

➤ regroupé de nombreuses unités (BF (3), GAFL, SQPOV (4), BIA (5)). Ils ont pu confirmer le rôle majeur d'une enzyme dans la biosynthèse de la vitamine C. La teneur en vitamine C est apparue très liée à la résistance au froid, elle-même associée à la texture du fruit. Le « stress froid » entraîne en effet une perte de la fermeté du fruit. Or la vitamine C, en influant sur la nature des molécules qui forment les parois des cellules du fruit, permet de limiter ce phénomène. En plus de l'aspect nutritionnel, le contrôle génétique de cette vitamine devient donc aussi un enjeu pour la filière qui conserve souvent les fruits à des températures susceptibles d'affecter leur fermeté.

Cultiver la qualité

Les unités LAE (6) et PSH (7) travaillent aussi sur les polyphénols, connus pour leurs effets bénéfiques sur la santé. Les chercheurs ont analysé la production de ces molécules dans des conditions de carence azotée. « *Nos résultats sur les parties végétatives conduisent à penser que, pour augmenter la teneur en polyphénols, le stress azoté peut conduire aux mêmes résultats que l'ingénierie métabolique par transgénèse* », explique Frédéric Burgaud, directeur du LAE. « *A l'avenir nous pensons appliquer des carences brèves et ciblées à certains stades de dévelop-*

pement afin de pénaliser le moins possible les rendements ». Ces résultats pourraient avoir des applications à la fois en matière de production intégrée des cultures et de fruits à la valeur santé améliorée.

Pour décrire les effets de l'environnement sur la qualité de la tomate, les chercheurs de l'unité PSH ont

effectué des expériences de conduites de cultures sous serre en hors-sol dans des conditions très précises et pour des génotypes finement décrits au niveau moléculaire. Ils ont ainsi pu développer un modèle de croissance du fruit qui décrit les interactions génotype-environnement pour de nombreux critères dont certains



CULTURE DE TOMATES TRANSGÉNIQUES en milieu confiné. Ces plants altérés à des fins de recherche ont permis de découvrir un lien entre la résistance des fruits au froid et le taux de vitamine C.

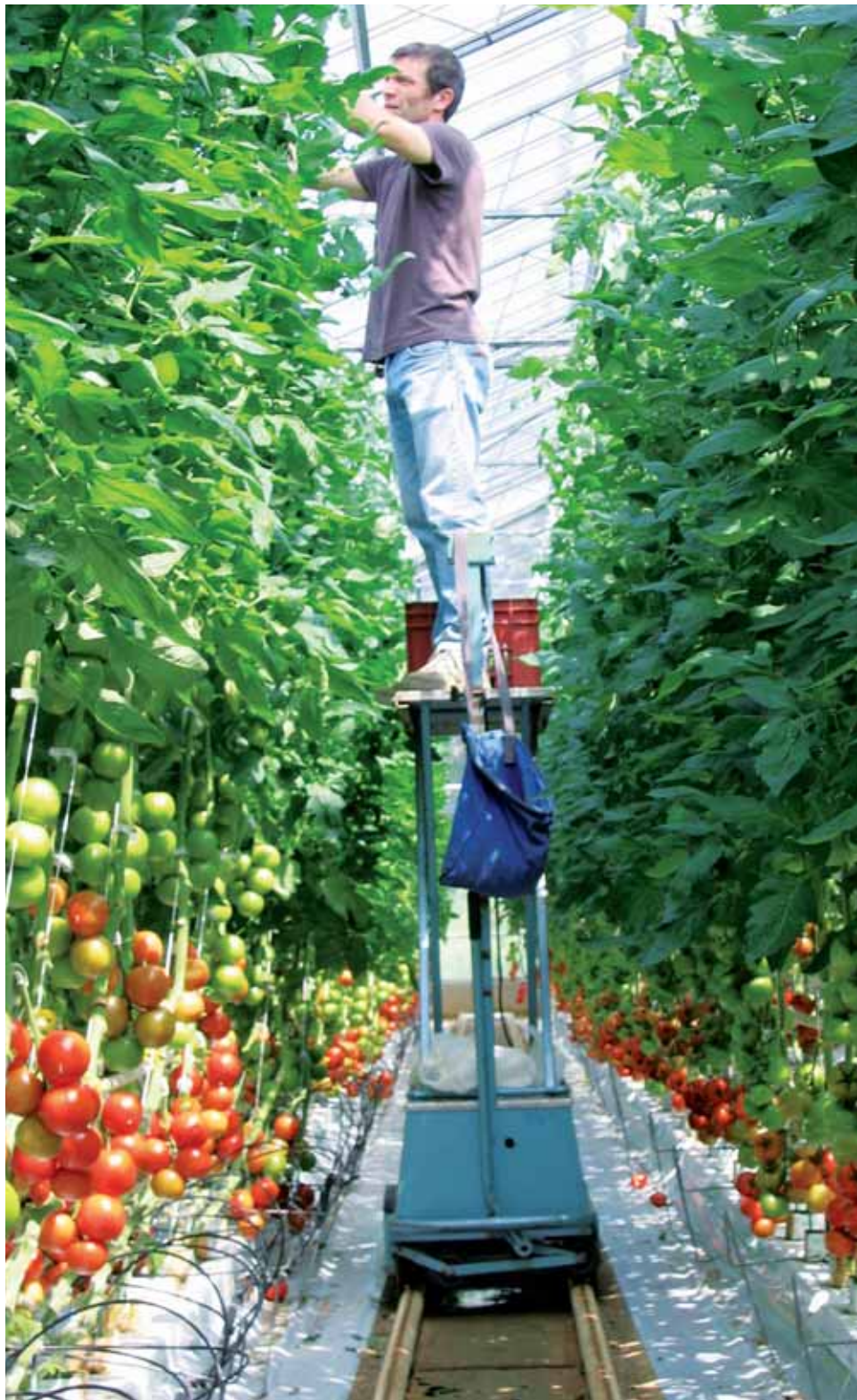
sont liés à la qualité : composition en sucre soluble, taille des fruits, teneur en matières sèches.

Ce modèle permettra, à l'avenir, de mieux cibler les essais de recherches et les expérimentations appliquées. Ces dernières ont d'ailleurs fait l'objet d'une deuxième approche à travers des essais représentatifs des conditions de cultures retrouvées dans les exploitations agricoles. Plusieurs paramètres ont permis de moduler les qualités organoleptiques et nutritionnelles du fruit. Ainsi, l'effeuillage des parties basses de la plante augmente le rayonnement lumineux intercepté par le fruit, ce qui a pour conséquence d'accélérer la maturation et d'augmenter la teneur en antioxydants. Une plus faible densité de plantation ou une charge en fruit réduite permettent d'obtenir des fruits plus sucrés et riches en vitamine C. Toutefois, ces améliorations se font au prix d'un rendement inférieur. Cet antagonisme entre rendement et qualité se retrouve également lorsque l'on agit sur l'irrigation de la plante. Des solutions nutritives à forte salinité conduisent ainsi à augmenter la teneur en sucres et en vitamine C mais elles réduisent fortement la taille des fruits. L'effet étant très différent suivant les variétés étudiées, l'impact de ce stress salin a mis en lumière l'importance des interactions génotype-environnement.

Bonnes ou rentables ?

Au-delà des pratiques culturales, l'effet « saison » a été également quantifié en caractérisant, à conduite égale, la qualité des fruits à deux périodes de récoltes différentes. Les fruits apparaissent plus sucrés en été qu'en hiver. L'effet est plus contrasté pour la teneur en antioxydants. Alors que la teneur en vitamine C augmente en été, le taux de lycopène est, lui, plus faible. Des problèmes de coloration peuvent même apparaître en cas de fortes températures.

Tous ces résultats jettent les bases techniques du nécessaire compromis entre rendement et qualités gustatives ou nutritionnelles. Ils permettent, par exemple, d'envisager une gestion différentielle suivant la saison de récolte. Néanmoins, l'amélioration variétale et l'optimisation des conduites de cultures ne constituent qu'une première étape dans la recherche de ce compromis. La capacité de la filière à valoriser les critères de qualité dans ses pratiques commerciales et legis-



PALISSAGE DES PLANTS DE TOMATES. Les techniques culturales permettent d'améliorer la saveur des fruits.

tiques sera aussi déterminante. C'est pourquoi les recherches de l'Inra visent également à donner aux différents acteurs des outils efficaces pour relever le défi de la satisfaction des consommateurs.

1. Génétique et amélioration des fruits et légumes, Inra Avignon.
2. Programme national de recherche en alimentation et nutrition humaine.
3. Biologie du fruit, Inra Bordeaux.
4. Sécurité et qualité des produits d'origine végétale, Inra Avignon.
5. Biopolymères, interactions et assemblages, Inra Nantes.
6. Laboratoire agronomie et environnement, Inra Nancy.
7. Plantes et systèmes horticoles, Inra Avignon.



© William Beaucardet

3 Filières : le prix de la qualité

Dans un contexte économique morose, la recherche explore les outils à apporter aux filières (1) longues et courtes pour que le goût devienne une plus-value.

Au fil des ans, la production maraîchère s'est structurée pour fournir des tomates adaptées aux circuits longs, comportant deux intermédiaires ou plus (centrale d'achat, semi-grossiste) entre le producteur et le consommateur. Ces circuits atteignent parfois des dimensions internationales, très souvent européennes. Les tomates sont produites pour les supermarchés, « taillées pour résister à la route », mais elles y ont peu à peu laissé leur goût. Parallèlement, on assiste à une timide percée de la production de tomates pour les circuits

courts (un intermédiaire au maximum entre le producteur et le consommateur) qui aspire entre autres à restituer leur goût.

Circuits longs, courts en bouche

Partant de l'hypothèse qu'une demande, encore latente, pour des tomates « qui ont du goût » existe chez des consommateurs prêts à y mettre le prix, une partie du programme Quali-TomFil a étudié comment la qualité organoleptique est prise en compte dans l'offre proposée au consommateur et comment l'améliorer.

Cette étude qualitative a été menée auprès de tous les acteurs de la filière. Premier constat, la qualité organoleptique n'est pas perçue de la même manière selon que l'on est sélectionneur, acheteur (distributeur ou grossiste) ou consommateur. Les premiers la réduisent à la qualité commerciale (couleur, aspect, fermeté) réglementée (2) et qui fait consensus. Seuls les consommateurs, en bout de chaîne, s'intéressent à la qualité gustative. Des entretiens confirment qu'au niveau de la production, la qualité gustative n'est jamais prise en compte pour rémunérer les producteurs.

Chez le distributeur, le manque de goût ne peut être un motif de refus de la marchandise. Ces étapes clés freinent le reste de la filière pour trouver des adaptations qui garantiraient une meilleure qualité gustative.

En gardant les variétés actuelles, plusieurs points clés dans la logistique existante pourraient être améliorés pour préserver la qualité des tomates. Par exemple, en compartimentant l'espace des frigos et des entrepôts des centrales d'achat. Actuellement, tomates et laitues sont conservées ensemble à la température de conservation de la deuxième (8°C). Or, après récolte, les tomates conservées à moins de 12°C deviennent farineuses, moins sucrées et perdent 20 à 30 % de leur potentiel en vitamine C. « *La logistique a une importance cruciale*, note Jean-Claude Montigaud, retraité de l'Inra qui a travaillé cette question. *Pour améliorer la qualité des produits, les acteurs de l'aval de la filière se démènent pour économiser les kilomètres à parcourir et réduire les émissions de CO₂ : plates-formes de groupage et d'éclatement pour optimiser le chargement sur les camions, contrôle des températures, logiciels permettant de gérer les produits du point de*

départ au point d'arrivée, etc. Par ailleurs, le transport maritime par containers se développe. Port-Vendres (3) connaît déjà une forte activité d'importation de melons et de tomates en provenance du Maroc. » En magasin, la qualité organoleptique des tomates baisse quand la durée de conservation s'allonge et que les manipulations se multiplient. Favoriser les petits conditionnements permet de renouveler plus fréquemment les stocks et diminue le temps de stockage en rayon.

Pour un Label Rouge « tomate »

Pour le consommateur, l'aspect visuel reste le principal indicateur pour jauger de la qualité de la tomate. Comment rendre pertinente une signalisation du goût ? Les chercheurs multiplient les propositions : conditionnement et emballage, campagne de sensibilisation aux variétés gustatives, création de logo, recourt à un signe officiel de qualité comme le Label Rouge (4) ou à une marque commune. Ce qui implique à toutes les étapes de la filière de s'entendre sur les critères gustatifs minimums des tomates comme l'ont fait les filiè-

res pomme, poire ou melon. Cela permettra de limiter les différences de qualité gustative d'un groupement de producteurs à l'autre et de rassurer le consommateur. Une telle démarche a déjà été initiée pour la charte qualité « Tomates de France » mise au point par l'Association d'organisations de producteurs nationale « Tomates et concombres de France ». Aujourd'hui près de 70 % de la production française est produite conformément à ces règles (5) malheureusement encore incomplètes du point de vue du goût. « *La filière devra trouver les moyens organisationnels de gérer ce bien collectif qu'est la qualité gustative* » observe l'économiste Emmanuel Raynaud (6), spécialiste de la gouvernance des filières agroalimentaires à l'Inra.

Le plus court chemin vers la qualité

Un circuit court compte au maximum un intermédiaire entre le producteur et les consommateurs. Il se développe peu à peu : 10 % des légumes sont vendus selon ce mode de distribution et 43 % des exploitations légumières françaises sont concernées. Pour certaines, les circuits courts constituent une opportunité intéressante en s'affranchissant des marges pratiquées par les intermédiaires des circuits longs (près de 51 % du prix final du produit) et des frais de transport (près de 7 %). Dans ce cas, les tomates bénéficient d'une image très positive. Leurs qualités attendues, d'après une étude de l'unité expérimentale Inra d'Alénya-Roussillon, combinent à la fois des critères liés au produit (aspect, fraîcheur, nutrition, sanitaire et saveur) mais aussi une dimension sociale (contact avec le producteur, éthique du mode de production) et environnementale. Selon la méthode d'analyse du cycle de vie, l'impact sur l'environnement d'une tomate produite en circuit court, en pleine terre et en saison, est deux à cinq fois moindre que celle d'une tomate cultivée toute l'année, en hors-sol, sous serre chauffée. Les produits en vente directe sont issus d'exploitations de petite taille (4 ha), avec rotation de légumes de saison en production en sol, non chauffée, assez extensive, où les producteurs sont moins souvent regroupés en organisation de producteurs. En moyenne, dix-neuf espèces sont produites. Une diversification qui exige des compétences techniques poussées (opérations manuelles nombreuses, savoir-faire approfondis...) ➔

Qui produit en circuit court ?

« *On méconnaît les exploitations tournées vers la vente directe*, explique Yuna Chiffolleau, sociologue de l'Inra*. *Partant de ce constat, nous avons enquêté et dressé une typologie en cinq trajectoires de producteurs en circuits courts :*

- *les pragmatiques, qui combinent circuits longs et circuits courts dans une optique de rentabilité. Adhérent à des organisations de production, ils sont autorisés à valoriser 25 % de leur production en vente directe ;*
- *les innovateurs. Les difficultés en circuits longs les ont poussés à aller vers les circuits courts. Leurs cultures sont très diversifiées (plus de 20 sur l'année) et valorisées à travers des activités complémentaires (transformation, agritourisme, actions pédagogiques...)* ;
- *les hédonistes efficaces cherchent à allier rentabilité et qualité de vie. Ils prônent des pratiques culturelles naturelles ou même biologiques et pratiquent une diversification moyenne ;*
- *les spécialistes engagés. Souvent pionniers de la vente directe et par panier, leurs systèmes de culture sont extensifs, souvent en agriculture biologique ou en très bas intrants, la surface utilisée de petite taille (4 ha), les cultures très diversifiées (plus de 10 par saison) ;*
- *les idéalistes, veulent un « retour à la terre » mais ne sont pas très intéressés par l'activité de commercialisation.*

Les données rassemblées ont permis de mieux comprendre le fonctionnement des exploitations ainsi que les pratiques commerciales, les motivations et les réseaux des exploitants. »

* Laboratoire « Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire » (Inra, Cirad et SupAgro Montpellier)

- tout en complexifiant l'organisation des exploitations (exigeantes en main-d'œuvre, planification des récoltes, etc). Les producteurs récoltent notamment à maturité (une tomate cueillie plus tôt sera plus fade et moins riche en vitamine C, carotène et lycopène) et limitent le stockage en frigo. La qualité gustative peut justifier des prix plus élevés, ce qui permet de valoriser une production autrement que par son seul rendement.

Des variétés adaptées

Vendre des tomates avec du goût à prix accessible nécessite d'améliorer la production, ce qui reste difficile en l'absence de références agronomiques sur les variétés potentiellement intéressantes. Beaucoup de producteurs se sont en effet tournés vers des variétés anciennes, manquant de fermeté mais réputées gustatives, parfois consommées dans la première moitié du XX^e siècle et dont les caractéristiques sont peu connues. « *On sait aussi que, selon le mode de culture, la variété n'exprimera pas son potentiel gustatif de la même façon. Il est donc nécessaire d'avancer dans la connaissance de ces interactions*, explique Frédérique Bressoud, agronome de l'Inra à Alénia. Son unité a ainsi comparé 43 variétés anciennes ou hybrides plus récentes et évalué leur comportement agronomique (rendement, défauts apparents, échelonnement des récoltes, sensibilité aux maladies, etc) et leur qualité gustative dans différentes conditions de restrictions d'intrants (eau, azote). Résultat : la qualité s'améliore avec la baisse des rendements (de 15 à 45 %). Cette relation s'exprime cependant de manière contrastée d'une variété à l'autre. Ainsi, certaines tomates anciennes réputées peu productives peuvent produire plus que des hybrides. A l'inverse, selon les conditions de culture, certaines d'entre elles ne sont pas meilleures que les hybrides les plus goûteux.

L'équipe d'Alénia travaille aussi sur les modes de conduite à définir pour obtenir un rendement intéressant, en déterminant les rotations de cultures les plus appropriées aux différentes situations pédo-climatiques et en fonction des risques de maladie. Car l'apparition de maladies liées au sol (corky root, fusariose...) est favorisée par la répétition des mêmes cultures sur les parcelles. Ces travaux s'inscrivent dans un programme de lutte contre ces maladies telluriques, repo-



© Inra / Christophe Maitre

sant sur diverses techniques : rotation des cultures, solarisation, apport de matière organique au sol pour tuer les micro-organismes pathogènes. ●

+ d'infos

■ web :

Dossier : www.inra.fr/la_sciences_et_vous/tomate
 quiz : www.inra.fr/quiz_tomate

■ références :

- Produire des tomates pour des circuits courts, vers de nouveaux critères d'évaluation variétale, Frédérique Bressoud, FaçSADe, Inra-SAD, n°2009/29.

- *Le temps de Syal, techniques, vivres et territoires*, coordination éditoriale de José Muchnik, Christine de Sainte-Marie, éditions Quae, janvier 2010.

- Les Cahiers de l'Observatoire Coxinel : <http://psdr-coxinel.fr/spip.php>

- Mesure des changements de consommation à la suite d'une segmentation de l'offre : l'exemple de la tomate fraîche. D.Hassan, M. Monier-Dilhan, *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 90 (3), 309-326.

- *Les maladies de la tomate - Identifier, connaître, maîtriser*. Dominique Blancard avec Henri Laterrot, Georges Marchoux, Thierry Candresse, éditions Quae, décembre 2009.

(1) La filière regroupe les activités imbriquées et liées par l'appartenance à un même produit, dont la finalité consiste à satisfaire le consommateur.

(2) Par les normes européennes de commercialisation.

(3) Dans les Pyrénées-Orientales à 30 km de Perpignan.

(4) Attribué par l'Etat, ce label agricole atteste de la qualité supérieure d'un produit alimentaire.

(5) Les règles incluent la protection biologique intégrée de cultures ; la cueillette à maturité ; des conditions de transport à une température comprise entre 12 et 18°C ; un écoulement de la marchandise de 48 h entre la cueillette et le point de vente ; des contrôles qualité lors du tri et du conditionnement.

(6) Du laboratoire Sciences pour l'action et le développement : activités, produits, territoires, SADAPT (Inra et AgroParisTech).

Dossier rédigé par **Géraud Chabriet** et **Magali Sarazin**

Responsable scientifique : **Mathilde Causse** (Inra, Avignon)