



les pommiers transgéniques résistants à la tavelure

analyse systémique d'une plante transgénique
de « seconde génération »

Gaëtan Vanloqueren, Philippe V. Baret

Université catholique de Louvain, faculté d'Ingénierie biologique, agronomique et environnementale, département Biologie appliquée et Productions agricoles, unité de Génétique et Centre de recherche interdisciplinaire CITES (Techniques, Sciences et Sociétés).
Croix du Sud 2, bte 14, 1348 Louvain-la-Neuve (Belgique)
vanloqueren@gena.ucl.ac.be

Jusqu'ici, la régulation publique des plantes transgéniques s'est essentiellement faite dans une logique de contrôle des risques. Les évaluations se faisant au sein des procédures réglementaires, elles prennent principalement en compte les potentiels effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement (critères de biosécurité). Les pouvoirs publics n'évaluent pas la pertinence de l'innovation en elle-même et donc celle d'autoriser, encourager ou de développer de telles innovations. Cette évaluation se fait par la somme des choix individuels des acteurs (agriculteurs, consommateurs...) dans le contexte d'une économie de marché. La pertinence des innovations est donc classiquement évaluée par le succès ou l'échec commercial de celles-ci.

Cette conception classique de l'évaluation nous semble insuffisante pour diverses raisons. En effet, la controverse sans précédent que les OGM ont suscitée parmi le public, l'exigence grandissante d'une évolution de nos modes de production agro-alimentaire vers plus de durabilité et l'existence d'incertitudes scientifiques sur les risques liés aux plantes transgéniques (irréversibilité...) sont trois

facteurs qui pourraient inciter à une régulation plus volontariste des biotechnologies. En ce sens, nous rejoignons les différents scientifiques ou acteurs publics qui ont appelé à un élargissement des modes et critères d'évaluation (Mephram, 2000 ; House of Commons Environmental Audit Committee, 2004). Toute innovation technologique, en agriculture, a en effet des dimensions agronomiques, environnementales mais aussi éthiques et socio-économiques.

Le cas d'un pommier transgénique résistant à la tavelure, principale maladie des vergers, a été choisi pour évaluer l'apport qu'une approche systémique (Checkland, 1981 ; Ison *et al.*, 1997) pouvait avoir pour améliorer notre compréhension de ces multiples enjeux et construire des modes d'évaluation plus adaptés à ceux-ci. Notre objectif est d'évaluer l'ensemble des aspects techniques et socio-économiques qui sont concernés par ces pommiers transgéniques et ainsi de replacer l'innovation technologique dans son contexte. Elle comporte trois étapes : une analyse des raisons de l'échec commercial des variétés résistantes conventionnelles (*alter ego* actuelles des futures variétés transgéniques), une évaluation prospective des atouts et limites des pommiers transgéniques et une approche systémique de l'ensemble des stratégies de lutte contre la tavelure.

Les résultats de nos recherches contribuent à combler une lacune d'expertise scientifique actuelle : l'absence d'évaluation de la pertinence des innovations biotechnologiques aux niveaux agronomique et socio-économique. Nous entendons « pertinence » au sens de la capacité de ces innovations à résoudre les problèmes techniques ou socio-économiques, actuels ou futurs, sans en créer de nouveaux.

Demandes d'autorisation de vergers expérimentaux de pommiers réducteurs de fongicides

Les pommiers étudiés sont le fruit de travaux de Plant Research International, un centre de recherche hollandais actif à la fois dans les biotechnologies et dans l'amélioration de pommiers. Ses chercheurs ont inséré un gène responsable de la production d'hordothionine (une protéine antimicrobienne qu'ils ont découverte dans l'orge) au sein du génome de pommiers de variété Elstar (variétés dont ils sont propriétaires), Gala et Santana. L'objectif déclaré est bien d'accroître la résistance aux maladies fongiques, principalement la tavelure, afin de diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires (Plant Research International, 2001).

Pour tester cette résistance en conditions réelles, des demandes de disséminations expérimentales pour ces pommiers ont été soumises aux autorités fédérales belges et néerlandaises. Les promoteurs du projet ont mis en avant les mérites des nouvelles variétés tandis que des militants anti-OGM ont demandé l'application du principe de précaution face aux incertitudes et risques accompagnant ces plantes modifiées. Refusées aux Pays-Bas, puis en Belgique en 2002, les expérimentations ont finalement été acceptées aux Pays-Bas lors d'une seconde tentative.

La tavelure est une maladie causée par le champignon *Venturia inaequalis*. Elle affecte l'aspect extérieur des fruits (taches brunes), les rendant invendables. Elle peut aussi entraîner la chute des feuilles et affaiblir l'arbre. En conséquence, les producteurs sont forcés de contrôler cette maladie, dont le développement est d'ailleurs rapide. Dix à vingt traitements

Encadré 1

Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure sont une des applications de la transgénèse végétale aux pommiers parmi d'autres. Plusieurs types de transgènes sont d'ailleurs testés pour conférer à différentes variétés une résistance aux maladies. Les transgènes, codant pour des peptides antimicrobiens, proviennent de champignons, d'oignons ou de céréales, comme dans le cas étudié ici. D'autres projets se concentrent sur la résistance aux insectes (expression de toxines), la modification de la date de floraison, du mûrissement, le ralentissement du brunissement ou la création d'arbres à port colonnaire réduisant drastiquement le besoin de taille des arbres (Information Systems for Biotechnology, 2004).

fongiques par an (Lespinasse *et al.*, 1999 ; Sandskar, 2003) sont nécessaires, soit soixante pour cent des traitements appliqués au verger ou l'équivalent de quinze à quarante kilos de matière active par hectare et par an, dans les années 1990 (Populer et Lateur, 1993). Ces fongicides posent un certain nombre de problème d'importance variable : ils sont coûteux, doivent être renouvelés régulièrement et sont suspectés d'être à la source de problèmes environnementaux et de santé humaine (Hour *et al.*, 1998 ; Alavanja *et al.*, 2003 ; Pesticide Action Network, 2003). Ils sont remis en question par un nombre croissant de consommateurs qui souhaitent une agriculture moins intensive en intrants chimiques (Penrose, 1995 ; Collet, 2003). Pourtant, malgré ces inconvénients, les producteurs ne tiennent pas compte de la sensibilité de la variété à la tavelure (et donc de son besoin de protection phytosanitaire) lors des rénovations partielles de vergers.

Le pommier transgénique, en soulevant la question de l'utilisation intensive de fongicides de synthèse et son objectif de diminution du nombre de traitements, est donc susceptible de pouvoir rallier tant les producteurs que les consommateurs.



Pommes tavelées
Photothèque INRA

Une approche systémique du problème de la tavelure du pommier et des variétés résistantes

En l'absence de vergers commerciaux ou expérimentaux, il était impossible de mettre en œuvre une étude agronomique traditionnelle à partir des résultats réels des pommiers transgéniques. De plus, même si de tels vergers expérimentaux existaient, les conditions de production y seraient différentes de celles des vergers commerciaux. Nous avons donc dû innover.

Notre approche systémique (voir encadré n°2) se concentre autant sur le problème pour lequel la plante transgénique a été créée que sur l'innovation transgénique en elle-même. Pour cela, une vingtaine d'acteurs de la filière de la pomme (des producteurs, pépiniéristes, conseillers techniques, chercheurs, directeurs de criées...) ont été sélectionnés (méthode de proche en proche) et interviewés (interviews semi-dirigées). L'enquête s'est essentiellement faite dans les régions fruitières intensives de Belgique (Limbourg...). Les résultats de ces multiples entretiens ont ensuite été combinés avec différentes données sur les pratiques du secteur et avec une revue de la littérature scientifique sur la question. Cette approche systémique partage certains principes avec les méthodologies de l'analyse socio-technique de Callon, Latour et Law (Callon, 1986 ; Amblard *et al.*, 1996). Celles-ci, en sociologie des sciences et techniques, étudient des innovations techniques dans leur environnement complexe (technique et socio-économique). Enfin, si cette étude est centrée sur la région arboricole intensive située en Belgique, la similitude de la configuration du secteur fruitier avec celle d'autres pays permet d'en tirer des résultats valables également ailleurs.

Le problème de la tavelure relève d'un paradoxe. En effet, cette maladie est reconnue par tous pour être « le problème n° 1 » en verger, alors que les actuelles variétés résistantes à cette maladie (conventionnelles, non-transgéniques) sont très peu vendues, ne représentant qu'une infime portion des surfaces plantées.

Nous nous sommes donc d'abord penchés sur ces variétés pour comprendre pourquoi certains chercheurs avaient recours à une technologie si controversée - la transgénèse végétale - pour créer une caractéristique déjà existante dans certaines variétés conventionnelles. Le travail consistait essentiellement à faire une synthèse des éléments de réponse, chaque acteur n'en disposant que d'une partie, et à tirer profit du recul que nous permettait notre non-implication dans la recherche en arboriculture fruitière.

Si la faible qualité gustative des variétés résistantes (Topaz, Initial...) est parfois évoquée par certains pour expliquer leur échec commercial, notre approche systémique a néanmoins permis de corriger cette affirmation. Nous avons relevé treize facteurs de type technique, socio-économique ou historique qui expliquent le non-développement de ces variétés dont les caractéristiques agronomiques devraient pourtant favoriser le succès (tableau I, ci-dessous).

Encadré 2. La systémique

La systémique s'est développée en réaction à la nécessité d'étudier la complexité croissante des ensembles qui nous entourent et à l'inefficacité des préceptes réductionnistes à résoudre les problèmes du monde réel. La « théorie du système général » de Von Bertalanffy a été approfondie par les travaux de Checkland, de Rosnay ou Morin pour n'en citer que quelques-uns. Les approches systémiques ont pour objectif d'étudier les parties d'un système et leurs interactions plutôt que de se concentrer sur une seule partie isolée (Checkland, 1981). Parfois décrite comme un paradigme alternatif d'analyse et d'exploration de la réalité (Bonami *et al.*, 1996), la systémique trouve ses applications dans l'étude des systèmes vivants et sociaux. Appliquée en agronomie, elle intègre les aspects biologiques, sociaux et organisationnels ou institutionnels de l'agriculture, afin de comprendre et d'améliorer le système entier (Ison *et al.*, 1997). Elle se concrétise par une série de principes à mettre en œuvre plutôt que par un protocole précis.

Choix des producteurs (stratégies de lutte et variétés)

Deux raisons directes expliquent la non-plantation de variétés résistantes par les producteurs au moment de la rénovation partielle des vergers, soit tous les quinze ans pour chaque sous-parcelle d'un verger. D'une part, les producteurs ne peuvent pas se permettre de planter des variétés sans avoir la garantie que celles-ci se vendront durant une dizaine d'années. Or, le contexte est actuellement instable. En Belgique par exemple, la Golden, puis la Jonagold ont chacune connu un apogée puis une crise. Aujourd'hui, dans un contexte de crise de variétés, les producteurs ne savent plus quelle variété planter et sont forts dépendants des conseils commerciaux stratégiques des criées pour leurs choix.

Tableau I. Facteurs de non-développement des variétés résistantes à la tavelure

Treize facteurs (techniques, socio-économiques et historiques) expliquent le faible niveau de développement des variétés résistantes non-transgéniques.

<p>Producteurs Choix de stratégie de lutte contre la tavelure Choix de variété</p>	<p>1) L'utilisation intensive de fongicides de synthèse est efficace. Les inconvénients de cette stratégie ne sont pas suffisants pour induire un changement. 2) Le renouvellement des vergers se concentre sur des variétés commerciales non-résistantes, moins risquées sur le plan commercial.</p>
<p>Améliorateurs et histoire de l'amélioration</p>	<p>3) Longue période de sélection en défaveur de la résistance aux maladies et réduction de la diversité de variétés plantées. 4) Longue période de concentration des programmes de création de variétés résistantes sur la résistance monogénique.</p>
<p>Conseil technique et jardins d'essais</p>	<p>5) Les centres de recherche et développement conseillent la plantation de variétés non-résistantes renommées malgré les résultats relativement bons des variétés résistantes.</p>
<p>Marché Criées Clubs Grande distribution Consommateurs Critères de qualité</p>	<p>6) Les objectifs commerciaux des criées et les contraintes imposées par la globalisation des marchés fruitiers incitent à la gestion de six ou sept variétés seulement (frein à la diversité). 7) Les récents clubs variétaux se concentrent sur la promotion de variétés très sensibles (Pink Lady) à grand renfort de marketing. 8) Faible intérêt pour les variétés résistantes. 9) Rationalisation des variétés vendues (quelques variétés vendues toute l'année) et difficulté de lancement de nouvelles variétés (nécessité d'atteindre une masse critique...) 10) Goût formaté par quelques variétés présentes toute l'année. 11) Faible connaissance des conditions de production et faible traduction des valeurs écologiques dans les actes d'achats. 12) Ambiguïté sur l'adéquation des variétés résistantes par rapport aux critères de qualité (gustatifs, techniques, commerciaux). 13) Les critères de qualité sont construits par le marché et par quelques variétés commerciales.</p>

D'autre part, si les producteurs peuvent se permettre de planter ces variétés commerciales très sensibles à la tavelure, c'est justement parce que l'application de fongicides chimiques est actuellement une stratégie de lutte relativement efficace, autorisée et dans laquelle les pouvoirs publics et des acteurs privés ont investi depuis des années. Les fongicides de synthèse ne seraient en effet pas devenus et restés techniquement et économiquement concurrentiels pour les producteurs sans l'investissement privé des firmes, la création du réseau d'avertissement des risques d'infections et les tests de nouveaux produits par les jardins d'essais en collaboration avec les firmes. Bien que les fongicides soient problématiques, ils restent donc une solution globalement satisfaisante pour les producteurs.

Sélection et amélioration

Certains aspects historiques de l'amélioration variétale ont un impact important sur le problème actuel de la tavelure. La sélection des variétés qui a accompagné la professionnalisation de l'arboriculture (dans les années 1930 et après la Seconde Guerre mondiale) s'est en effet faite au détriment de la résistance aux maladies. Les critères de productivité, de présentation et de tenue à la conservation frigorifique ont primé sur les critères de pertinence agronomique, comme la résistance aux maladies,

critères devenus moins importants grâce aux fongicides chimiques (Populer et Lateur, 1993). Ceci explique les progrès de l'amélioration en terme de qualité du fruit mais explique également la très forte sensibilité des variétés commerciales actuelles.

Parallèlement, le nombre de variétés conseillées et commercialisées a progressivement été réduit. En Belgique, le Comité national de pomologie ne reprenait déjà que 36 variétés dans sa liste de variétés recommandables en 1939 (Collet, 2003). Le verger belge s'est trouvé peu à peu majoritairement planté par une seule variété, bien adaptée au marché industriel naissant : la Golden, puis la Jonagold. Cette configuration du verger a créé un environnement favorable au développement du champignon *Venturia inaequalis*, qui s'est progressivement adapté à la variété la plus plantée. La Jonagold est ainsi passée du classement « moyennement sensible » à la tavelure au début de sa commercialisation en Belgique à « très sensible » dans les années 1990, au moment où cette variété était plantée sur plus de 75% des surfaces.

Parallèlement, la résistance est devenue un objectif prioritaire d'un grand nombre de programmes d'amélioration, non suivis de succès commerciaux comme cet article le retrace. Ces programmes se sont d'abord essentiellement concentrés sur une unique source de résistance : *Malus floribundia*, un pommier sauvage découvert dans les années 1940 et possédant un gène conférant une résistance totale à la tavelure (le gène V(f)). Les croisements entre des variétés commerciales - sensibles - et ce pommier ont produit une trentaine de variétés depuis 1970 (Crosby *et al.*, 1992).

En 1993, un événement a ajouté un frein supplémentaire au développement des variétés résistantes. Des chercheurs français prouvent alors l'existence d'une nouvelle souche du champignon *V. inaequalis* capable de contourner partiellement le mécanisme de résistance des variétés « V(f) » (Parisi *et al.*, 1993). Bien que la culture de variétés résistantes permette une diminution de 76% du nombre de traitements (Parisi *et al.*, 1995), il est désormais conseillé de traiter lors des pics d'infection afin d'empêcher l'apparition de souches résistantes. La résistance

n'est donc plus que partielle. Cette adaptation du champignon a renforcé la réorientation des programmes d'amélioration vers la création de variétés à résistance polygénique (résistance basée sur plusieurs gènes sources de résistance). La création de telles variétés, plus difficile à réaliser, avait parfois été écartée car jugée trop complexe par rapport à la stratégie « V(f) ». Les quelques variétés à résistance polygénique obtenues avant 1990 n'ont d'ailleurs pas obtenu plus de succès commercial que les autres. De nouveaux programmes, démarrés dans les années 1990, ont réintégré dans les schémas de sélection des variétés paysannes tolérantes ou résistantes datant de la période pré-industrielle, afin de diversifier les sources de résistance (Lateur et Populer, 1994 ; Lespinasse *et al.*, 1999).



Conseils techniques et jardins d'essais

Toutes les nouvelles variétés sont testées et évaluées comparativement aux autres variétés existantes par des jardins d'essais, structurés en réseau au niveau européen. Techniquement, certaines variétés résistantes atteignent le niveau des variétés non-résistantes. Pourtant, elles ne sont pas encore recommandées par les conseillers techniques pour la plantation. À long terme, il est cependant probable que les essais de centres techniques soient des alliés des variétés résistantes, étant donné que ceux-ci ont lancé des tests particuliers aux programmes de traitements minimaux pour les variétés résistantes. Bien que ces tests soient mis en œuvre dans un souci de soutien à l'arboriculture biologique, les résultats pourront intéresser l'ensemble des producteurs.

Tavelure et marché

Si les facteurs techniques et historiques ont une place importante dans le non-développement des variétés résistantes, il serait incomplet d'arrêter l'analyse à ce stade. Le fonctionnement général du marché des fruits oppose en effet plusieurs « résistances » aux variétés résistantes.

Les criées, en tant qu'organisations de producteurs, devraient logiquement être des partenaires dans le développement des variétés résistantes étant donné que celles-ci ont des avantages économiques dans le verger et le potentiel de séduire des consommateurs à la recherche de produits moins traités. Pourtant, c'est le contraire qui se passe. D'une part, les criées cherchent à rationaliser l'offre de variétés : il leur est plus facile de stocker, promouvoir et vendre six ou sept variétés qu'une vingtaine. En conséquence, elles n'ont cherché à diversifier ni l'offre ni la demande variétale. D'autre part, les criées n'ont actuellement pas de réel intérêt à promouvoir des variétés résistantes : leurs clients, les firmes d'export et la grande distribution, ne s'intéressent pas prioritairement à ces critères environnementaux et de santé.

Le fonctionnement propre de la grande distribution est également un facteur de non-développement des variétés résistantes. En effet, pour que leurs pommes soient vendues dans les étals de la grande distribution, les promoteurs de variétés résistantes devraient pouvoir être en mesure de s'engager à fournir celles-ci durant toute l'année au mieux ou au moins trois à quatre mois, dans des quantités non négligeables. Pour atteindre cette « masse critique », un nombre suffisant de producteurs auraient dû avoir été convaincus trois ans plus tôt de prendre le risque de planter ces variétés sans garantie de succès. Les variétés résistantes sont donc soumises, comme d'autres nouvelles variétés, aux modes de fonctionnement de la grande distribution. En outre, la plupart des variétés introduites dans les supermarchés durant les vingt dernières années possédaient deux caractéristiques qui ont contribué à leur succès : des qualités distinctives (apparence, goût ou texture) qui permettaient une différenciation par rapport aux variétés existantes ; et le fait d'avoir été stratégiquement promues par de puissantes organisations (SARE, 1997).

Une difficulté supplémentaire pour les variétés résistantes est qu'elles sont parfois créées par des centres de recherches qui n'ont pas les moyens d'assurer leur promotion. C'est le cas de la station expérimentale tchèque Střížovice, obtentriche de la variété Topaz (une des seules variétés résistantes obtenant un relatif succès), dont l'équipe est restreinte à deux techniciens et un améliorateur.

Consommateurs et critères de qualité

En arboriculture fruitière, les goûts du consommateur sont traduits à travers une grille de critères de qualité du fruit (texture, goût, qualité, couleur...) qui sont combinés à des critères de qualité de la variété agronomiques (conduite de l'arbre...) et industriels (résistance aux maladies de conservation...). Une grande partie des acteurs de l'arboriculture fruitière cite parfois la faible qualité gustative des variétés résistantes en premier lieu. Les propos sont plus nuancés dès que la question est

approfondie et il est généralement admis que certaines variétés résistantes présentent un réel intérêt au niveau gustatif. Cette ambiguïté à propos de l'influence capitale des critères de goût sur l'échec des variétés « V(f) » est d'ailleurs confirmée par les résultats de plusieurs études scientifiques. Celles-ci établissent que certaines variétés résistantes - Topaz et Ariwa, par exemple - sont acceptées par les consommateurs et peuvent concurrencer les variétés les plus appréciées et les plus connues (Casutt *et al.*, 2001 ; Kühn et Thybo, 2001). Sans nier que certaines variétés résistantes sont de faible qualité gustative, de telles études existent en fait depuis longtemps (Durner *et al.*, 1992), sans toutefois permettre de lever cette ambiguïté et crédibiliser les meilleures variétés résistantes.

Certaines variétés souffrent, par ailleurs, de problèmes techniques divers et parfois majeurs (conduite technique de l'arbre, sensibilité à des insectes, calibre inadéquat, durée de conservation limitée...). Par exemple, certaines variétés résistantes ont l'inconvénient d'une sensibilité élevée à certaines maladies de conservation, un inconvénient majeur dans un système de marché désaisonnalisé où les quelques variétés sélectionnées pour être vendues doivent être présentes dans les rayons toute l'année. Ceci illustre deux nouveaux aspects.

D'une part, le succès de variétés résistantes requiert la création de nouvelles connaissances techniques, tel le développement de traitements thermiques préventifs pour résoudre le problème des maladies de conservation. Les inconvénients techniques des variétés prisées par le marché ont d'ailleurs, dans le passé, été résolus par un investissement de recherche et d'essais afin de pouvoir produire correctement la variété qui se vendait bien. D'autre part, il est utile de rappeler que les critères de qualité ne sont pas naturels ou innés. Ils ne sont pas uniquement liés à la réaction de nos papilles lorsque nous croquons des pommes mais dépendent également de l'organisation du marché et de la distribution des fruits. Les variétés Jonagold, Golden, Elstar, Gala, Braeburn ne sont pas uniquement les variétés préférées des consommateurs : ce sont aussi presque les seules variétés qui sont disponibles douze mois par an dans chaque magasin. Ce sont les variétés auxquelles nous nous sommes habitués, étant donné l'absence d'une plus large gamme.

Variétés résistantes et vente locale

Ce « formatage » du goût par la faible diversité des variétés vendues en grandes surfaces ne se retrouve pas dans d'autres systèmes de vente. Par exemple, lorsque producteurs et consommateurs contournent le fonctionnement du supermarché, en situation de vente directe. Le consommateur peut alors exprimer des préférences bien différentes (préférence pour des pommes croquantes, des molles, des sucrées, des acidulées, des pommes de table, des pommes à compote...). Le producteur peut en conséquence diversifier son verger pour répondre à cette diversité de préférences et vendre en direct le plus longtemps possible. Enfin, il peut assurer lui-même la promotion des nouvelles variétés qu'il choisit de planter en fonction de critères agronomiques et pas uniquement commerciaux. Bien que la vente directe ne représente qu'une faible partie de la commercialisation des pommes, ce sont ces conditions-là qui permettraient de stimuler le développement des variétés résistantes, par exemple dans certaines régions d'Allemagne où la vente directe est davantage développée.

Nos résultats sur l'échec commercial des variétés résistantes rejoignent ceux d'une étude ayant analysé le même problème dans le Nord-Est des États-Unis (SARE, 1997). Actuellement, les variétés résistantes ne sont donc, pour les pépiniéristes, qu'une niche commerciale essentiellement destinée aux producteurs en arboriculture biologique. Les pépiniéristes, bien que conscients de l'évolution à long terme du marché - évolution qui serait favorable aux variétés résistantes - ne font pas tous une priorité du critère de résistance aux maladies dans leurs collaborations à des programmes d'amélioration variétale. L'heure est davantage aux créations de « clubs » (voir encadré 3).

Atouts et limites des pommiers résistants transgéniques

Dans ce contexte, le principal avantage des futures variétés transgéniques n'est pas la résistance en elle-même. Comme nous l'avons vu, cette caractéristique n'est pas neuve. L'atout de telles variétés génétiquement modifiées est en fait de transformer des variétés déjà renommées sur le plan commercial (Gala, Elstar...) pour en faire des variétés résistantes et acceptées par le marché (par la criée, le distributeur, le consommateur). L'avantage comparatif des variétés transgéniques est donc de contourner certains des principaux obstacles aux variétés résistantes conventionnelles, sans que ces obstacles soient nécessairement techniques.

Malgré ce relatif avantage, les pommiers transgéniques de Plant Research International ne seront probablement pas commercialisés prochainement. Si les variétés résistantes non-transgéniques font face à plus d'une dizaine de facteurs freinant ou empêchant leur développement, les variétés transgéniques ont elles aussi différents obstacles à surmonter, bien que différents de ceux des pommiers résistants conventionnels.

Les premiers obstacles concernent la recherche et le développement de l'arbre en lui-même. Les promoteurs de pommiers transgéniques ont un obstacle spécifique à surmonter : la difficulté à obtenir des autorisations pour faire leurs essais en plein champ. Ceux des pommiers résistants à la tavelure ont essuyé deux refus, ceux des Pays-Bas et de la Belgique (Minister van Consumentenzaken, Volksgezondheid en Leefmilieu, 2002) avant d'être finalement acceptés par les Pays-Bas. D'autres essais ont été refusés en Allemagne (*Gentech-News*, 2003). La présence d'un gène de résistance à un antibiotique est un des motifs du refus des autorités. Ce caractère est inutile dans le verger mais nécessaire dans le laboratoire lors d'une étape de la création des pommiers modifiés. L'utilisation d'un tel gène sera interdite après 2006, suite à une décision des autorités européennes de prévenir tout risque de baisse de l'efficacité des antibiotiques dans la médecine humaine (suite à une éventuelle généralisation des antibiotiques dans les aliments). Une nouvelle méthode doit donc être trouvée, et des pommiers recréés à partir de celle-ci.

Enfin, la résistance en elle-même risque d'être également problématique. Celle-ci est en effet partielle et potentiellement non durable. Partielle, car la résistance ne fait que réduire l'incidence de la tavelure, et dans des

Encadré 3. Variétés résistantes et clubs

Les pommiers transgéniques sont une innovation technologique. Ils sont encore loin d'être plantés dans les vergers. La véritable innovation actuelle dans le secteur fruitier n'est pas technique, mais institutionnelle et organisationnelle. En effet, depuis quelques années, des pépiniéristes et différents acteurs du marché fruitier ont créé des « clubs » pour faire face à la difficulté de promouvoir de nouvelles variétés. Le club est un groupement de pépiniéristes, financiers, entreprises de mise sur le marché et producteurs dont l'objectif est la production, la promotion et la vente d'une variété bien précise. Le club contrôle chaque aspect de la filière (surfaces mises en cultures, critères de qualité des fruits qui sont acceptés sous le label du club, prix, etc.). Pour financer la promotion de la variété, le club se rémunère en effectuant un prélèvement sur chaque kilo vendu. Le club le plus connu fait la promotion de la variété Pink Lady et est une structure active à l'échelle internationale. Les producteurs sont pour le moment divisés sur les avantages et les risques liés au développement de ce type de structure.

La Pink Lady est une variété hyper-sensible à la tavelure, un inconvénient technique qui a été gommé par une promotion avec des moyens financiers rarement vus dans le secteur fruitier. Encore plus récemment, un club s'est créé en France avec l'objectif de promouvoir des variétés résistantes aux maladies, suite à un partenariat entre un groupement de pépiniéristes et l'INRA, qui crée ces variétés. Les *Naturianes** font actuellement la promotion de deux variétés résistantes aux maladies, Ariane et Doriane, avec des objectifs de croissance très modestes. Ce club a pourtant choisi de ne pas faire la promotion de ses variétés sur la résistance, leur atout écologique (dans leurs dépliants promotionnels du moins), mais plutôt sur une image de santé et de nature. Est-il impossible d'avouer que ces pommes-là ont recours à moins de fongicides car cela supposerait de rappeler au consommateur que toutes les autres pommes en sont abondamment aspergées ? À court terme, les clubs ne sont donc pas encore de puissants acteurs de la promotion des pratiques arboricoles plus durables. Cette tendance, qui incite un nombre croissant de pépiniéristes à s'intéresser aux programmes d'amélioration de variétés résistantes, peut cependant être un levier à long terme.

* Voir à www.saint-romas.com/naturianes.htm. Doriane et Ariane, obtentions de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), sont protégées par certificat d'obtention végétale.

proportions pas encore aussi importantes que les meilleures variétés non-transgéniques : les essais en serre concluent à une réduction de 50% (PRI, 2001). Non durable, car il est probable que la résistance soit également contournée un jour par une souche s'adaptant au nouveau mécanisme. Ce contournement de la résistance est un des risques potentiels pour les arbres fruitiers transgéniques parmi d'autres : toxicité liée à la production d'une protéine non naturellement présente dans le fruit, effets sur des organismes non-cibles, instabilité de l'expression du transgène, diffusion des transgènes dans l'environnement (Genetic Engineering Newsletter, 2002).

Enfin, les pommiers transgéniques ont un inconvénient prépondérant par rapport au soja ou au maïs génétiquement modifié : le rapport du consommateur à l'aliment est direct, comporte un aspect culturel, tandis que l'ingestion de maïs ou de soja est diffuse dans de nombreux aliments transformés. Il est donc probable que la commercialisation de tels fruits transgéniques cristallise l'opposition des consommateurs et qu'aucun acteur privé ne soit prêt à promouvoir leur commercialisation.

Prospective autour d'un problème technique et des stratégies d'innovation

Étant donné cet éloignement de la commercialisation des pommiers transgéniques résistants, il semble pertinent de compléter notre enquête par deux derniers aspects. Il s'agit d'abord de relever les facteurs qui vont évoluer dans le temps en faveur ou défaveur des variétés résistantes. Ensuite, il convient de recenser les autres stratégies ou innovations qui permettent aujourd'hui ou pourraient permettre demain d'atteindre le même objectif que les pommiers transgéniques, la réduction de l'utilisation de fongicides chimiques.

De l'avis d'une grande partie des acteurs du secteur fruitier, la résistance aux maladies n'est en effet pas « encore » la priorité mais va progressivement prendre une place de plus en plus importante suite à la conjonction de différents facteurs. Sur le long terme, certains facteurs vont en effet jouer en défaveur des fongicides de synthèse ou en faveur des variétés résistantes. Il s'agit, d'une part, de l'évolution des politiques publiques vers une restriction croissante de l'utilisation de produits phytosanitaires par les autorités européennes ou dans les politiques nationales (de plus en plus soucieuses d'une agriculture moins intensive en intrants chimiques). D'autre part, parmi ce qui va favoriser directement le développement des variétés résistantes conventionnelles, on peut citer la qualité croissante des variétés résistantes qui sortent des programmes d'amélioration ou la création de variétés à résistance polygénique, plus efficaces dans le verger (tableau II).

Tableau II. Facteurs de développement potentiel des variétés résistantes à la tavelure

Le contexte technique et socio-économique sera probablement plus favorable aux variétés résistantes que par le passé, sans garantir pleinement leur développement commercial.

Union européenne et États	- interdiction croissante de produits phytosanitaires par l'UE et écologisation des politiques nationales de certains gouvernements.
Amélioration et sélection variétale	- amélioration de la qualité des variétés résistantes (qualité de plus en plus proche de celles des variétés commerciales). - création de variétés à résistance polygénique (plus durable).
Marché	- naissance de structures commerciales faisant la promotion de variétés résistantes.
Consommateurs	- sensibilisation croissante des consommateurs aux conditions de production. - préférences de plus en plus contrastées (demande pour des produits de qualité différenciée).
Conditions de production	- amélioration de la recherche et des essais sur les inconvénients techniques particuliers aux variétés résistantes.

Les facteurs « positifs » recensés ci-dessus sont cependant à comparer avec ceux « négatifs » pour le développement de ces variétés « écologiques », recensés plus haut (tab I.). On ne peut donc pas garantir que les variétés résistantes vont supplanter les variétés sensibles.

« OGM ou fongicides ? »

L'approche systémique pousse à redéfinir le problème

L'approche systémique a donc montré que la question de la résistance à la tavelure dépassait de loin la seule interaction entre le champignon *Venturia inaequalis* et les différentes variétés de *Malus domestica*. Le caractère non complet de la résistance des variétés dites résistantes (transgéniques ou non) et l'adaptation progressive du champignon à certains mécanismes de résistance monogénique montrent que la question soulevée ici n'est pas d'avoir des vergers traités quinze à vingt fois par an ou d'avoir de nouvelles variétés transgéniques, solution finale au problème de la tavelure et des fongicides. Si l'utilisation de variétés résistantes permet de réduire drastiquement l'utilisation de fongicides, certains traitements restent en effet nécessaires lors des pics d'infection pour éviter l'apparition de populations résistantes.

Le problème n'est donc pas binaire : « OGM ou fongicides » et la question essentielle qui pourrait servir de point de départ à une évaluation des innovations pourrait être de comprendre comment réduire au maximum les problèmes de tavelure dans les vergers, pour réduire l'utilisation de fongicides coûteux, risqués et controversés. Cette question-là appelle une étude plus approfondie des multiples stratégies¹ qui ont pour objectif commun d'anéantir ou de réduire la germination des filaments de *V. inaequalis* dans les feuilles et fruits des pommiers. Quelles sont ces autres stratégies, à côté des variétés transgéniques ? Sont-elles concurrentes ou complémentaires ?

Multiplés stratégies de lutte contre la tavelure : complémentarité et concurrence

Les stratégies qui permettent d'atteindre cet objectif ont été recensées et classées en fonction de leur niveau d'action : le champignon, l'arbre, le verger ou le système de commercialisation. Les variétés transgéniques sont une de ces vingt stratégies (tableau III, ci-après). Différentes études ont déjà permis d'identifier et caractériser certaines de ces stratégies (Penrose, 1995 ; SARE, 1997 ; Reganold *et al.*, 2001 ; Lateur, 2002).

Dans un premier temps, il nous a semblé utile de mettre de côté la question de la faisabilité technique, socio-économique et politique de chaque stratégie, très hétérogène. *A priori*, la création de pommiers contenant des gènes de résistance provenant d'une céréale aurait pu sembler difficilement réalisable en termes techniques autant qu'économiques et politiques. Pourtant, c'est une option réelle aujourd'hui. De même, rien ne permet d'affirmer *a priori* que les autres stratégies, séparément ou en synergie, ne permettront pas d'atteindre le même niveau de protection des fruits si des efforts sont mis en œuvre pour en assurer le développement. Nous n'avons en conséquence éliminé aucune stratégie *a priori* : ni celles qui ont un faible potentiel de réduction du problème (par exemple, éviter la surfertilisation) ni celles, non abouties, qui demanderaient des investissements de recherche plus poussés (les agents éliciteurs de résistance systémique induite) ou nécessiteraient une rénovation plus globale de la filière

¹ Le terme « stratégie » est ici utilisé comme terme commun pour les différentes pratiques agricoles (horticoles) présentes et innovations futures de lutte contre la tavelure.

Tableau III. Gamme des stratégies de lutte contre la tavelure

Une vingtaine de stratégies contribuent à différents niveaux (le champignon, l'arbre, le verger et le système commercial) à réduire le problème de la tavelure et de l'utilisation de fongicides de synthèse.

Dessin central : cycle des saisons, par Kajsa Göransson, in Sandskar (2003).

Le champignon (<i>Venturia inaequalis</i>)	L'arbre (<i>Malus domestica</i>)
<p><i>Fongicides de synthèse (améliorer pulvérisateurs)</i></p> <p><i>Fongicides minéraux (solutions de Cu ou de S)</i></p> <p><i>Fongicides organiques (extraits de plantes)</i></p> <p><i>Amélioration des systèmes d'avertissements (prises en compte des facteurs biologiques)</i></p> <p><i>Diminution de l'inoculum : ramassage/broyage des feuilles + urée, comptages en début de saison</i></p> <p><i>Champignons antagonistes</i></p>	<p><i>Variétés résistantes conventionnelles (résistance mono ou polygénique)</i></p> <p><i>Variétés résistantes transgéniques (résistance mono- ou polygénique)</i></p> <p><i>Agents éliciteurs de résistance systémique induite</i></p> <p><i>Fertilisation raisonnée (surfertilisation accroît sensibilité et croissance excessive des repousses)</i></p>
<p><i>Vente directe (accroît la diversification des variétés)</i></p> <p><i>Valorisation d'anciennes variétés tolérantes ou résistantes</i></p> <p><i>Diversification des variétés vendues en grande distribution</i></p> <p><i>Promotion d'une prise en compte de critères écologiques au moment de l'achat du fruit</i></p>	<p><i>Aération (espacement entre les lignes et entre les arbres)</i></p> <p><i>Haies interlignes (barrières contre la dispersion des conidies)</i></p> <p><i>Réduction de la taille des parcelles</i></p> <p><i>Vergers polyvariétaux (pour réduire l'interaction pathogène-hôte)</i></p> <p><i>Vergers polyfruitiers</i></p> <p><i>Prés-vergers hautes-tiges, agro-foresterie</i></p>
Le système de commercialisation des fruits	Le verger

(vergers polyvariétaux mixtes). Le premier objectif est donc uniquement un état des lieux des stratégies agronomiques, sans considérations économiques ou politiques.

Ces stratégies de lutte contre la tavelure, y compris les variétés résistantes, sont à la fois complémentaires et concurrentes. Dans le verger, une combinaison de plusieurs de ces stratégies

alternatives aux fongicides de synthèse pourrait être une option réellement efficace à long terme et s'inscrire dans le cadre de systèmes agro-écologiques (Altieri, 1995) et d'une approche systémique totale pour une gestion durable des pathogènes (Lewis *et al.*, 1997), à condition d'être alliée à des innovations institutionnelles tout au long de la filière (Collet, 2003). L'approche système ne peut pas, pour nous, se restreindre aux aspects techniques : le lien entre innovations techniques et institutionnelles est essentiel dans notre approche systémique.

Au stade de la recherche, en revanche, ces pratiques ou innovations sont en concurrence, étant donné que les budgets de recherche sont des budgets « en enveloppe fermée » (toute recherche sur une stratégie en empêche une autre). Certaines disciplines scientifiques ont mobilisé ou mobilisent toujours davantage les énergies des chercheurs et les programmes de recherche. Pendant longtemps, la chimie de synthèse a reçu les préférences des budgets de recherche publics : des acteurs privés sont aujourd'hui devenus autonomes dans le développement de produits dans ce domaine. Aujourd'hui, la génétique et la biologie moléculaire sont fort valorisées dans les communautés scientifiques et orientent la majeure partie de l'innovation scientifique. Par ailleurs, certaines stratégies sont également plus aptes à attirer l'intérêt des firmes privées, de par leur capacité - ou non - à générer des profits (brevetabilité des produits...). Ceci explique que certaines stratégies évoquées plus haut ont bénéficié de davantage d'efforts de recherche publics et privés que d'autres (celles basées sur les principes de l'agro-écologie, notamment) qui sont en conséquence aujourd'hui moins bien développées.

Conclusions et perspectives pour la recherche et l'action publique

L'intérêt de notre recherche concerne essentiellement la recherche et l'action publique en général, celle-ci n'étant pas restreinte à la régulation des plantes transgéniques.

Les pommiers transgéniques résistants à la tavelure étudiés ici ne sont pas techniquement prêts, ils sont seulement au stade de la recherche. L'Union européenne prédit d'ailleurs le développement de telles plantes transgéniques, la « seconde vague » des OGM, pour 2007-2012 (European Science and Technology Observatory, 2003). En conséquence, rappelons que notre objectif n'était ni de chercher à comprendre si de tels pommiers seraient concurrentiels au plan technique ni d'évaluer leur potentiel commercial. La situation permettait plutôt de prendre du recul par rapport à une actualité (la controverse autour de demandes pour des vergers expérimentaux de pommiers transgéniques en Belgique), à un problème (la tavelure et les fongicides) et aux solutions possibles. Nos résultats aboutissent à trois conclusions.

1) Lien entre plante transgénique, problème technique et environnement socio-économique

L'analyse systémique d'une plante transgénique et de sa pertinence soulève d'abord la question « Comment résoudre un problème technique agronomique ? », ici dans un verger. L'approche systémique permet de mettre au jour les nombreux enjeux d'un problème technique particulier du verger et les multiples pratiques ou innovations qui permettent de résoudre ce problème. Ensuite, notre approche soulève la question « Quels sont nos objectifs en matière d'arboriculture ? ». Dans le cas étudié, cet objectif est clair : une diminution de l'utilisation des fongicides de synthèse. Il est d'ailleurs concrétisé dans de nombreux rapports officiels publics et publications scientifiques (Lespinasse *et al.*, 1999). Les objectifs d'autres plantes transgéniques le sont-ils tout autant ? Ces objectifs sont-ils clairs et en adéquation avec les objectifs de nos politiques publiques ? Une approche systémique des OGM encourage donc à une meilleure définition de ces objectifs.

En décortiquant la question de la résistance à cette maladie, nous avons montré que l'échec d'une innovation (le non-développement commercial actuel des variétés résistantes conventionnelles) n'est

pas uniquement dû à des causes techniques. Le système commercial, l'histoire de la sélection et les orientations et investissements de recherche jouent également un rôle prépondérant. L'analyse des obstacles au développement des variétés résistantes a montré que l'arboriculture fruitière moderne, industrielle, et le marché fruitier laissent peu de place à certaines pratiques et innovations qui présentent pourtant un intérêt pour les producteurs, les consommateurs et l'environnement.

Une enquête détaillée sur les autres cas de pommiers transgéniques permettrait de dégager de manière plus générale les avantages et inconvénients de ces variétés pour avoir une meilleure image de leur pertinence agronomique et socio-économique. Quels sont les enjeux techniques et socio-économiques des pommiers transgéniques à mûrissement retardé, à brunissement retardé, résistants aux insectes ou à port colonnaire ? Participent-ils à résoudre les problèmes de l'arboriculture fruitière ? À créer des modes de production et de consommation plus durables ? Sont-ils l'option technique la plus efficace par rapport aux éventuelles alternatives ?

Le cadre institutionnel actuel de l'expertise des plantes transgéniques, la Commission du génie biomoléculaire en France ou le Conseil de biosécurité en Belgique, ne permet pas de prendre en compte ces dimensions.

2) Multiplicité du progrès scientifique : des choix à évaluer, orienter et assumer

Notre approche systémique, en décelant les pratiques alternatives à la voie transgénique, montre que le progrès scientifique n'est pas unique. Pour régler le problème de la tavelure, on peut chercher à créer des pommiers transgéniques, mais il est également possible de mener des programmes de recherche pour comprendre quels sont les prédateurs naturels de ce champignon (champignons antagonistes), quels sont les produits qui permettent à l'arbre de mieux se défendre (résistance systémique induite), etc.

Il est tout à fait compréhensible que les producteurs professionnels, ayant des contraintes économiques à court terme, ne plantent pas les variétés qui permettent une diminution de l'utilisation de fongicides de synthèse. Par contre, il est utile de s'interroger sur les options privilégiées par le fonctionnement propre à la recherche scientifique. En effet, si le progrès est multiple, cela veut aussi dire que le potentiel de chaque stratégie peut (devrait ?) être suffisamment évalué et exploré : est-ce le cas ? Par qui, à quel moment et avec quelles méthodes ? Parce que l'innovation scientifique est indissociable de son contexte, que chaque stratégie influence et est influencée par celui-ci (*cf* les « obstacles au développement » des variétés résistantes), il nous semble que l'évaluation des nouvelles biotechnologies, en agriculture, doit être systémique. Outre la nécessaire évaluation des risques, elle doit prendre en compte à la fois le contexte, les aspects socio-économiques, et la comparaison avec les stratégies concourant au même objectif. Pour cela, il y aurait lieu de mener une réelle étude comparative, en tenant compte de l'efficacité de chaque méthode, de ses avantages et inconvénients, des progrès accumulés et du potentiel attendu, des obstacles techniques et socio-économiques au développement de chacune et également des efforts de recherche consacrés à chaque stratégie. On pourrait ainsi évaluer la contribution que chaque stratégie peut avoir dans l'objectif général, dans ce cas-ci, de diminution de l'utilisation de fongicides de synthèse.

En effet, la recherche agronomique ne peut pas se restreindre à l'étude des seules stratégies techniques compatibles avec les contraintes techniques ou socio-économiques actuelles. En ayant privilégié une ou deux stratégies dans la lutte contre la tavelure durant longtemps, elle a omis d'explorer d'autres voies qui mériteraient en conséquence aujourd'hui de nouveaux investissements. Il est également probable que des projets de recherche-intervention accompagnant des expériences concrètes de promotion des variétés résistantes, ou un soutien à des partenariats entre producteurs et consommateurs autour de telles initiatives (GAWI et CRRG, 2002) puissent être tout aussi efficaces, relativement à un objectif de diminution des fongicides de synthèse, que le soutien direct au

développement d'innovations techniques. L'apport des sciences humaines à la compréhension de ces enjeux est donc essentiel (Collet et Mormont, 2003).

Cette vision du progrès scientifique « multiple » signifie également que, une fois que les chercheurs ont produit des découvertes scientifiques et donné leur expertise, les parties prenantes (producteurs, consommateurs, autorités, groupements d'intérêt public...) peuvent également prendre part au débat et aux choix collectifs. Par exemple, il est concevable que, s'il existe plusieurs innovations pour résoudre un même problème et qu'il s'avère que l'opinion publique refuse une de ces innovations, les pouvoirs publics puissent décider de stimuler la recherche et le développement des autres innovations. Cela donnerait davantage de crédibilité à l'autorisation des éventuels essais d'une innovation controversée (si ceux-ci n'ont pas de risques de biosécurité) : un premier pas vers des relations plus équilibrées entre science et société, entre chercheurs, producteurs, consommateurs et citoyens.

Les responsables publics qui ont pour objectif de réduire l'utilisation de fongicides de synthèse en arboriculture se trouvent en fait face à plusieurs solutions. La première est d'attendre que les meilleures variétés résistantes conventionnelles surmontent l'ensemble des obstacles identifiés plus haut. La seconde est d'attendre la création de variétés transgéniques résistantes et d'espérer que le consommateur les accepte et que le champignon ne contourne pas la résistance en quelques années. Une troisième solution serait de promouvoir et investir dans une rénovation progressive des vergers, des variétés, du marché et de la recherche agronomique pour favoriser un ensemble plus large de pratiques techniques et socio-économiques qui concourent à la lutte contre la tavelure et dont nous n'avons qu'ébauché certains traits. Cette stratégie, qui semble agronomiquement séduisante, ne peut bien sûr s'envisager qu'à long terme.

C'est dans le cadre de cette troisième stratégie publique que pourrait s'envisager la mise en œuvre d'évaluation de la pertinence des plantes transgéniques. Des groupes d'intérêt public ayant mené des recherches sur cette stratégie à un niveau plus général aboutissent à des conclusions comparables et complémentaires à celle de notre cas particulier (Buffin *et al.*, 2004).

3) Élargir l'évaluation des plantes transgéniques, introduire le critère de pertinence

Si l'on accepte que les plantes transgéniques ne soulèvent pas que des questions techniques telles les risques de biosécurité, il est alors concevable que l'évaluation et la régulation publique des plantes transgéniques puissent prendre en compte d'autres dimensions, telles que les aspects socio-économiques ou la présence d'alternatives. Cette prise en compte est aujourd'hui prévue dans certains pays et a même fait l'objet de textes législatifs. Faute de méthode pour évaluer ces aspects non techniques aussi efficacement que les risques, ces textes ne sont pas réellement appliqués (Ingeborg et Traavik, 2003 ; Karlsson, 2003). L'approche systémique que nous avons mise en œuvre constitue un premier pas pour identifier et évaluer les multiples enjeux liés au développement d'une plante transgénique. Ce premier pas permettrait ensuite de construire une évaluation de la pertinence agronomique et socio-économique des plantes transgéniques, comparativement à d'autres scénarios.

Bien que ce nouveau mode d'évaluation que nous cherchons à concrétiser ne soit pas encore opérationnel, des propositions ont été ébauchées en ce sens ailleurs (Vanloqueren et Baret, 2004). Elles consistent à définir les conditions d'une telle évaluation (définition des scénarios à évaluer, des critères d'évaluation, etc.), ce qui implique de trouver un juste équilibre entre les atouts et les limites de l'expertise scientifique et d'une démarche participative avec les parties prenantes du problème concerné. L'approche multicritère développée par Stirling et Mayer (1999, 2002) donne un cadre intéressant pour une telle approche. Bertrand *et al.* (2002) ont également montré l'intérêt, dans la gestion de l'innovation, de rencontres organisées entre chercheurs et acteurs dans le cadre du projet de vignes transgéniques développées à l'INRA.

Outre qu'il compléterait le mode de régulation public des plantes transgéniques (autorisations ou refus des essais en champs et commercialisation), ce type d'évaluation a une place à trouver à d'autres niveaux de l'action publique, par exemple, au niveau des politiques agricoles ou de recherche et développement (orientations des financements publics). Elle permettrait de donner un outil aux décideurs publics pour faire face à la complexité des problèmes que connaît aujourd'hui l'agriculture et de renforcer l'évaluation comme véritable lien entre science et politique.

Enfin, il est évident que les pommiers transgéniques ne résolvent pas les problèmes centraux de l'arboriculture fruitière, telles que la surproduction en Europe et demain dans le monde (Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, 2000) ; les prix bas et l'instabilité liées aux crises variétales. Ce n'est d'ailleurs pas leur objectif. Il faut donc rendre la place qui leur revient aux innovations « institutionnelles » (innovations économiques et socio-politiques, l'organisation de marché et ses règles, par exemple) et également évaluer la capacité de celles-ci à résoudre durablement ces problèmes cruciaux, en harmonie avec les innovations technologiques ■

Remerciements

À François Mélard (unité Socio-Économie-Environnement-Développement, département Sciences et Gestion de l'environnement de l'université de Liège) et Claude Bragard (unité de Phytopathologie, Université catholique de Louvain) pour leurs commentaires sur l'article, ainsi qu'à l'ensemble des personnes qui ont participé à l'enquête.

Références bibliographiques

- ALAVANJA M.C.R., SAMANIC C., DOSEMECI M., LUBIN J., TARONE R., LYNCH C.F., KNOTT C., THOMAS K., HOPPIN J.A., BARKER J., COBLE J., SANDLER D.P., BLAIR A., 2003. Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the agricultural health study cohort. *American Journal of Epidemiology*, 157, 800-814.
- ALTIERI M., 1995. *Agroecology : the science of sustainable agriculture*. 2^e édition, Westview Press, Boulder, 433 p.
- AMBLARD H., BERNOUX P.H., HERREROS G., LIVIAW Y.F., 1996. *Les nouvelles approches sociologiques des organisations*. Seuil, Paris, 256 p.
- BERTRAND A., MARRIS C., JOLY P.B., 2002. *Co-construction d'un programme de recherche : une expérience pilote sur les vignes transgéniques. Méthodologie pour l'élaboration d'un dispositif de co-construction*. INRA-STEPE, 13 p.
- BONAMI M. et al., 1996. *Management des systèmes complexes. Pensée systémique et intervention dans les organisations*. De Boeck Université, 272 p.
- BUFFIN D., DIAMAND E., MCKENDRY R., WRIGHT L., 2003. *Breaking the pesticide chain. The alternatives to pesticides coming off the european market*. Friends of the Earth and Pesticide Action Network, 28 p.
- CALLON M., 1986. Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'année sociologique*, 36, 169-205.
- CASUTT M., GUGGENBUEHL B., KELLERHALS M., 2001. Consumer reactions on new disease resistant apple cultivars. *DARE newsletter*.
- CHECKLAND P.B., 1981. *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley & sons, New York.
- COLLET E., 2003. *Signification, direction et portée d'une pratique de production intégrée : le cas du Groupement des Arboriculteurs pratiquant en Wallonie les techniques intégrées*. Thèse pour l'obtention de docteur en Sciences de l'Environnement, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 31-79.
- COLLET E., MORMONT M., 2003. Managing pests, consumers, and commitments: the case of apple growers and pear growers in Belgium's Lower Meuse region. *Environment and Planning, A*, 35, 413-427.
- CROSBY J.A., JANICK J., PECKNOLD P.C., KORBAN S.S., OCONNOR P.A., RIES S.M., GOFFREDA J., VOORDECKERS A., 1992. Breeding Apples for Scab Resistance - 1945-1990. *Fruit Varieties Journal*, 46, 145-166.
- DURNER E.F., POLK D.F., GOFFREDA J.C., 1992. Low-input apple production systems: consumer acceptance of disease-resistant cultivars. *HortScience*, 27(2), 177-179.
- EUROPEAN SCIENCE AND TECHNOLOGY OBSERVATORY, 2003. *Review of GMOs under research and development and in the pipeline in UE*. 2003.
- GAWI, CRRG, 2002. *La coopération transfrontalière pour la relance des variétés anciennes de pommes et le développement de la production intégrée. Bilan des activités du programme INTERREG I et II 1993-2001*. Groupement des Arboriculteurs pratiquant en Wallonie les techniques intégrées et Centre Régional de Ressources Génétiques, 16 p.
- GENETIC ENGINEERING NEWSLETTER, 2002. *Transgenic plants in viticulture and fruit growing*. Special Issue 9/10 October 2002. Oko-Institut e.V. - Institute for Applied Ecology. 14 p.
- HOURLY T.C., CHEN L., LIN J.K., 1998. Comparative investigation on the mutagenicities of organophosphate, phthalimide, pyrethroid and carbamate insecticides by the Ames and lactam tests. *Mutagenesis*, 13, 157-166.
- HOUSE OF COMMONS ENVIRONMENTAL AUDIT COMMITTEE, 2004. *GM Foods - Evaluating the Farm Scale Trials*. Second Report of Session, 2003-04, I.

- INFORMATION SYSTEMS FOR BIOTECHNOLOGY, 2004. *Field Test Releases in the U.S.*
www.nbiap.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm, accessed 16/05/2004
- INGEBORG A.M., TRAAVIK T., 2003. Sustainable Development and Norwegian Genetic Engineering Regulations: Applications, Impacts, and Challenges. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16 (4), 317-335.
- ISON R.L., MAITENY P.T., CARR S., 1997. Systems methodologies for sustainable natural resources research and development. *Agricultural Systems*, 55, 257-272.
- KARLSSON M., 2003. Ethics of sustainable development – A study of Swedish regulations for genetically modified organisms. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 16, 51–62.
- KÜHN B.F., THYBO A.K., 2001. Sensory quality of scab-resistant apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 23, 41-50.
- LATEUR M., POPULER C., 1994. Screening Fruit Tree Genetic-Resources in Belgium for Disease Resistance and Other Desirable Characters. *Euphytica*, 77, 147-153.
- LATEUR M., 2002. Perspectives de lutte contre les maladies des arbres fruitiers à pépin au moyen de substances naturelles inductrices d'une résistance systémique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 6(2), 67-77.
- LESPINASSE *et al.*, 1999. DARE, un projet européen coordonné par l'INRA d'Angers. *Phytoma - La défense des Végétaux*, 514, 23-26.
- LEWIS W.J., VAN TEREREN J.C., PHATAK S.C., 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proc. Nat. Aca. Sc.*, 94, 12243-12248.
- MEPHAM B., 2000. A framework for the ethical analysis of novel foods: The ethical matrix. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 12, 165-176.
- MINISTER VAN CONSUMENTENZAKEN, VOLKSGEZONDHEID EN LEEFMILIEU, 2002. Kennisgeving B/BE/O2/V1 – weigering van toelating. *Lettre à F. Krens* (Plant Research International).
- MINISTÈRE DES CLASSES MOYENNES ET DE L'AGRICULTURE, 2000. *Comment notre horticulture peut-elle survivre dans l'évolution galopante actuelle ?*. Administration de la Politique agricole, 20 p.
- PARISI L., LESPINASSE J., GUILLAUMES J., KRÜGER J., 1993. A new race of *Venturia inaequalis* virulent to apples with resistance due to the V(f) gene. *Phytopathology*, 83(5), 533-537.
- PARISI L., ORTS R., RIVENEZ-DAMBOISE M.O., LEFEUVRE M., LAGARDE M.P., 1995. Protection intégrée du verger de pommiers en l'an 2000. Tavelure et oïdium : variétés résistantes et lutte raisonnée. *Arboriculture fruitière*, 486, 25-29.
- PENROSE L.J., 1995. Fungicide Use Reduction in Apple Production - Potentials Or Pipe Dreams. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 53, 231-242.
- PESTICIDE ACTION NETWORK, 2003. *Captane : Fiche technique de synthèse des études scientifiques et des classifications officielles de risques pour l'environnement et la santé humaine*. 3 p.
- PLANT RESEARCH INTERNATIONAL, 2001. Fiche d'information destinée au public. *Essais de pommiers génétiquement modifiés présentant une meilleure résistance aux champignons phytopathogènes*. Note d'identification du dossier d'identification B/BE/02/V1, 10 p.
- POPULER C., LATEUR M., 1993. Sauvegarde et valorisation des ressources génétiques fruitières. *Annales de Gembloux*, 99, 97-107.
- PROKOPY R.J., 2003. Two decades of bottom-up, ecologically based pest management in a small commercial apple orchard in Massachusetts. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 94, 299-309.
- REGANOLD J.P., GLOVER J.D. *et al.*, 2001. Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410, 926-929.
- SANDSKAR B., 2003. *Apple Scab (Venturia inaequalis) and Pests in Organic Orchards*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Crop Science, Alnarp, 39 p.
- SARE Final report, 1997. Sustainable agriculture research and education (SARE). Program and agriculture in concert with the environment (ACE). Final report – Section II. *Development of a sustainable apple production system for the Northeast*, 1-13.
- STIRLING A., MAYER S., 1999. *Rethinking Risk : A Pilot Multi-Criteria Mapping of a Genetically Modified Crop in Agricultural Systems in the UK*. SPRU, University of Sussex, 6 p.
- VANLOQUEREN G., BARET P.V., 2004. Systemic « relevance » assessment of transgenic crops: bridging biotechnology regulations and sustainable development policies. 5th Congress of the European Society for Agricultural and Food Ethics (EurSafe 2004). *Science, Ethics and Society*, Section 2 : Ethics and Environmental policies in agriculture and food industry. Leuven, September 2-4.