

Synthèses

Plantes transgéniques: faits et enjeux

A. Gallais, A. Ricroch



éditions
Quæ

Plantes transgéniques: faits et enjeux

Plantes transgéniques : faits et enjeux

A. Gallais et A. Ricroch

Éditions Quæ
c/o Inra, RD 10, 78026 Versailles Cedex

Collection Synthèses

L'agronomie aujourd'hui,
Thierry Doré, Marianne Le Bail, Philippe Martin, Bertrand Ney,
Jean Roger-Estrade, coord.,
2006, 384 p.

Reproduction sexuée des conifères et production de semences
en vergers à graines,
Gwenaël Philippe, Patrick Baldet, Bernard Héois, Christian Ginisty,
2006, 572 p.

La photosynthèse
Processus physiques, moléculaires et physiologiques,
Jack Farineau, Jean-François Morot-Gaudry,
2006, 412 p.

L'armillaire et le pourridié-agaric des végétaux ligneux,
Jean-Jacques Guillaumin, coord.,
2005, 504 p.

*Un organisme génétiquement modifié (OGM)
est un organisme dans le génome duquel on a introduit
un ou plusieurs gènes par des moyens artificiels.
Il peut s'agir de plantes, d'animaux ou de micro-organismes. Dans
cet ouvrage consacré aux plantes, au lieu d'utiliser
le vocable ambigu d'OGM, nous employons le plus souvent
possible celui de plantes ou de variétés transgéniques.*

Remerciements

Nous exprimons tous nos remerciements à ceux qui ont bien voulu relire certains chapitres de cet ouvrage ou nous donner des éléments pour les enrichir, en particulier : Lise Jouanin et Philippe Guerche pour des aspects de biologie moléculaire et de technique de la transgénèse, Claude Gaillardin et Annette Mouranche pour l'utilisation des micro-organismes génétiquement modifiés, Henri Darmency pour la résistance aux herbicides, Anne-Marie Chèvre pour les flux de gènes chez le colza, Régine Delourme pour la modification de la qualité des acides gras chez le colza, Joël Guiard pour les inscriptions au catalogue officiel des variétés transgéniques, Sylvie Bonny, Stéphane Lemarié et Pierre-Benoît Joly pour des aspects économiques et sociétaux. Toute notre reconnaissance va particulièrement à Jean-Claude Mounolou et à Henri Feyt qui ont eu un regard critique sur l'ensemble de l'ouvrage, et nous ont fait de nombreuses suggestions. Merci aussi aux étudiants de l'Ina P-G qui, par leurs questions, nous ont aidé ou stimulé dans nos réflexions.

Table des matières

Avant-propos	1
Notions de génétique et d'amélioration des plantes	5
1. Les OGM sont déjà dans notre vie	9
Importance des plantes transgéniques dans le monde	9
Surfaces totales et pays concernés	9
Répartition par pays	10
Répartition par espèce	12
Le soja	12
Le maïs	13
Le cotonnier	13
Le colza de printemps ou canola	14
Répartition par caractère	14
Répartition par obtenteur	16
Les plantes transgéniques autorisées en France	17
Les produits issus d'OGM déjà dans notre alimentation	20
Produits issus de la transformation industrielle des plantes transgéniques	20
Produits issus d'animaux ayant consommé des plantes transgéniques : la viande, les œufs et le lait	20
Produits faisant appel à des enzymes issues de micro-organismes génétiquement modifiés	20
Les médicaments issus de micro-organismes génétiquement modifiés	23
Conclusion	24
2. L'amélioration des plantes est du génie génétique	25
De la domestication à l'amélioration actuelle des plantes	25
Bases génétiques de la domestication	25
L'évolution des populations cultivées	26
Les ressources génétiques	31
L'évolution des caractères agronomiques	32
Bases génétiques des progrès réalisés	34

Les outils de la sélection « phénotypique ».....	35
La sélection généalogique	35
Le rétrocroisement (ou backcross)	37
La sélection récurrente	40
L'apport des biotechnologies au niveau cellulaire	43
La maîtrise de la reproduction à l'identique	43
La « manipulation » des niveaux de ploïdie	44
Le doublement chromosomique et les croisements interspécifiques	44
L'haplodiploïdisation	45
La maîtrise de la recombinaison et l'utilisation de la variation interspécifique	46
La ré-association des organites cytoplasmiques	47
L'apport des biotechnologies au niveau des gènes et de la recombinaison	49
La mutagenèse	49
Les marqueurs moléculaires	49
Définitions	49
Cartographie génétique et détection de gènes ou de QTL	50
La sélection assistée par marqueurs	50
L'apport de la génomique	53
Conclusion	54
3. Un nouvel outil : la transgénèse	55
Le contexte moléculaire	55
Gènes et génome	55
L'universalité du code génétique	57
Des espèces éloignées ont beaucoup de gènes communs	58
Des gènes fragmentés et de l'ADN non codant	59
Taille des génomes	60
La régulation du fonctionnement des gènes	62
La transgénèse	63
Retour sur la définition	63
Pourquoi la transgénèse ?	64
Construction du transgène	65
Les outils et méthodes à la disposition du généticien	66
Les principaux outils de manipulation de l'ADN	66
Action sur l'expression d'un gène	67
Les méthodes d'isolement d'un gène	67
La multiplication du transgène	68
Les méthodes de transformation	68
La transformation par <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	69
Le transfert direct	72
L'insertion et l'expression du gène	73
Le processus d'intégration	73
Les risques d'une insertion non maîtrisée	73

La notion d'événement de transformation	74
Génétique du transgène	75
L'élimination des gènes marqueurs	75
La transgénèse au niveau du chloroplaste (transplastomique)	78
Conclusion	79
La transgénèse comme outil pour la connaissance	79
Analyse de la fonction d'un gène	79
Analyse de l'expression d'un gène	79
Analyse de l'adressage des protéines	80
Génétique inverse	80
La transgénèse pour la construction de génotypes	80
4. Ce qu'apporte ou peut apporter la transgénèse	83
Des variétés transgéniques pour protéger et régulariser la production agricole	83
Contexte agronomique et économique	83
Importance des pertes de récolte	83
La difficulté d'une analyse économique de l'apport des variétés transgéniques résistantes aux insectes et aux herbicides	85
La résistance aux insectes	86
Éléments généraux	86
Le maïs <i>Bt</i>	88
Le cotonnier <i>Bt</i>	93
La résistance aux herbicides	95
Éléments généraux	95
Le soja résistant aux herbicides	97
Autres espèces	100
Bilan des avantages des variétés transgéniques résistantes aux herbicides	103
Quelques autres travaux en développement	103
L'adaptation au milieu	103
La résistance aux maladies	110
Les plantes transgéniques, un espoir pour une agriculture durable	114
Variétés transgéniques pour le consommateur	115
Variétés transgéniques pour la qualité nutritionnelle	115
Qualité des apports glucidiques	115
Équilibre des acides aminés	115
Qualité des acides gras (des huiles de soja, colza, tournesol...)	117
Teneur en anti-oxydants des légumes ou des fruits	119
Variétés transgéniques pour des fruits de plus longue conservation	120
Autres exemples	120
Variétés transgéniques pour les qualités culinaires	120
Variétés transgéniques pour des fruits sans pépins	120
Variétés transgéniques pour des qualités esthétiques	120

Variétés transgéniques pour la santé	121
Des aliments plus sains	121
Des plantes plus riches en vitamines : exemple du riz doré	121
Des céréales moins allergéniques	123
Moins de mycotoxines	123
Les plantes pharmaceutiques	123
Les plantes productrices de protéines pharmaceutiques	123
Accumulation dans la feuille ou dans la graine ?	124
Les plantes productrices de vaccins	126
Les alicaments	126
Variétés transgéniques pour l'alimentation animale	127
L'amélioration de la qualité protéique pour les animaux monogastriques	127
L'amélioration de la digestibilité de la plante entière	127
La digestibilité du phosphore des graines par les monogastriques	128
Variétés transgéniques pour l'industrie	129
La qualité des amidons pour usage alimentaire ou industriel	129
Des huiles particulières en jouant sur la longueur de la chaîne de synthèse des acides gras	129
Industrie du papier à partir du bois	130
Les biocarburants	131
La fabrication de biomatériaux	131
Variétés transgéniques pour le type de variétés et pour éviter les flux de pollen : la stérilité mâle	131
L'apport possible des variétés transgéniques pour les PVD	135
Évolution de la population mondiale	135
Évolution de la production	135
Le rôle de l'amélioration conventionnelle des plantes et des variétés transgéniques	137
Bilan sur les apports des variétés transgéniques	139
Intérêt pour l'agriculteur	139
Intérêt pour le consommateur et pour l'environnement	140
Intérêt pour la production de substances particulières	141
Conclusion	141
5. Quels sont les risques associés aux plantes transgéniques ?	143
Les risques pour l'environnement	144
La dispersion des transgènes et la probabilité de leur intégration dans le génome des plantes sauvages.....	145
La dispersion du pollen et des graines	145
La probabilité d'intégration du transgène dans le génome des espèces voisines	151
Bilan selon les espèces et les variétés	153
Les risques pour la flore sauvage et les cultures non transgéniques.....	156
La notion de valeur sélective	156
Le risque d'invasivité d'une variété transgénique	157

Les risques pour la flore sauvage	158
Les risques avec les variétés transgéniques résistantes aux herbicides	159
Les risques pour les cultures non transgéniques de la même espèce	161
Les risques par rapport aux populations de parasites	162
Les risques avec les variétés transgéniques résistantes aux maladies	162
Les risques avec les variétés transgéniques résistantes aux insectes	163
Les risques d'échanges d'ADN entre variétés transgéniques et bactéries (transfert horizontal)	169
Toxicité pour l'environnement	171
Risque de pollution du sol	171
Risque de pollution des nappes phréatiques, cas des variétés résistantes aux herbicides	172
Risques pour la biodiversité	172
L'effet des variétés transgéniques sur les populations bactériennes de la rhizosphère	173
L'effet de la culture de variétés transgéniques résistantes aux herbicides sur la faune du champ cultivé	173
Conclusion	175
Les risques pour la santé	175
Le risque allergénique	175
Le soja transformé avec un gène de la noix du Brésil	176
Le maïs StarLink®	176
Le risque de toxicité	177
Les métabolites secondaires de la résistance aux herbicides	177
L'affaire Pusztai et l'effet toxique des plantes transgéniques	178
La valeur alimentaire des plantes <i>Bt</i>	179
Le cas des variétés transgéniques pharmaceutiques	179
Cas de la production de L-tryptophane	180
Risque de développement d'une résistance à certains antibiotiques	181
Conclusion	181
Les risques socio-économiques	181
La dépendance de l'agriculteur	181
Conséquence pour les PVD	182
La diminution des prix agricoles	183
Le brevetage des transgènes et la concentration des entreprises	183
Justification d'une protection	183
Conséquence du brevet sur les transgènes et les variétés	185
Conclusion	187
6. Comment le développement des plantes transgéniques est encadré	189
Le principe de précaution	189

Aspects réglementaires relatifs à l'expérimentation et à la mise sur le marché de plantes transgéniques	191
Le cadre européen de la réglementation	192
Les commissions chargées des études	192
Les études en milieu confiné : la Commission de génie génétique (CGG)	193
Dissémination volontaire et mise sur le marché : la Commission de Génie biomoléculaire (CGB)	193
Pourquoi une réglementation spécifique ?	198
L'évaluation des risques liés à la dissémination volontaire des variétés transgéniques	199
L'évaluation des risques pour la santé	199
L'évaluation du risque allergénique	199
L'évaluation du risque toxique	201
L'évaluation des risques pour l'environnement	202
Les mesures de protection	202
La biovigilance	202
L'information du consommateur	204
L'étiquetage	204
La traçabilité	205
La séparation des filières OGM/non-OGM	207
Coûts et problèmes liés à la coexistence des deux filières OGM/non-OGM	208
Conclusion	214
7. Sur les raisons du refus des plantes transgéniques et ses conséquences	215
Les raisons de la non-acceptation des plantes transgéniques	217
Peu ou pas d'intérêt des variétés transgéniques actuellement commercialisées	218
Les risques et le principe de précaution	220
La perception de la notion de risque	220
Les risques pour la santé	220
Les risques pour l'environnement	221
La méconnaissance de la balance bénéfices/risques et le refus de tout risque	221
Le risque et les innovations	222
La non séparation des filières	222
La gestion sociale de l'innovation	223
Le déficit d'information et de communication	223
Influence des associations opposées aux OGM	223
La gestion politique et le manque de confiance dans les institutions	224
La mauvaise communication sur certains faits	225
Les erreurs de communication des entreprises	226
La méfiance à l'égard de l'innovation « OGM »	226
L'effet nouveauté	226

La peur que l'on touche au vivant, au naturel	226
Il ne faut pas toucher à la nourriture	227
Le manque de confiance envers certains acteurs	227
Les raisons politiques, idéologiques voire éthiques	228
La concentration du pouvoir sur le vivant	228
Un attrait pour le naturel, un choix de vie	229
Risques pour les PVD	230
Conclusion	232
Conséquences et conclusions à tirer du refus des plantes transgéniques	232
Conséquences du blocage du développement des variétés transgéniques	232
La destruction des essais au champ	232
Conséquences pour les recherches en biologie et biotechnologie végétales	234
Conséquences pour les entreprises de sélection végétale	235
Conséquences au niveau européen pour l'agriculture, l'agro-alimentaire et la bio-industrie	235
Quelles conclusions à tirer de l'opposition aux plantes transgéniques d'une grande partie de la société	236
La nécessité d'une nouvelle relation entre science, société et politique	236
Des pistes de recherche d'un nouveau type de relation entre science-société-politique	237
Conclusion	242
 Conclusion générale	 245
Références bibliographiques	249
Glossaire	269
Abréviations	279
Index	281

Avant-propos

L'histoire des plantes transgéniques est tout à fait récente. Au niveau expérimental, la mise au point de la première plante transgénique, un tabac, remonte à 1983 (voir encadré). À partir de ce moment, tout est allé très vite aux États-Unis, avec la commercialisation en 1994 d'une tomate transgénique à mûrissement retardé, et en 1995 avec les premières variétés transgéniques de soja résistant à un herbicide total, de cotonnier et de maïs résistants à certains insectes ravageurs, et la mise au point de bien d'autres plantes transgéniques. Jusqu'à cette époque, l'Europe, qui a joué un rôle important dans les recherches sur la transgénèse, suivait le mouvement et les débats sur les plantes transgéniques étaient seulement d'ordre technique et scientifique, sans interrogations fortes de la part de la communauté scientifique comme de la société. Le débat public a vraiment commencé en 1997. Le 23 janvier 1997, la Communauté européenne autorise l'importation et la mise en culture d'un maïs transgénique de la société Novartis, résistant à la pyrale, mais la France, alors sous le gouvernement Juppé, ne l'autorise qu'à l'importation, et donc à la consommation, mais non à la mise en culture sur son territoire. Le président de la Commission de génie biomoléculaire qui avait conclu à l'absence de risque, heurté par cette décision, démissionne. En novembre 1997, l'autorisation de mise en culture est donnée par le gouvernement Jospin, mais en 1998, suite aux réactions des Verts, un moratoire est décidé pour le colza et la betterave, alors que d'autres autorisations de mise en culture sont données pour le maïs. À partir de cette date, et de cette controverse créée par les politiques, le dossier OGM devient confus. Les plantes transgéniques deviennent alors un sujet de société avec des débats très fréquents, passionnés, polémiques et des prises de positions politiques, de sorte qu'aujourd'hui, il n'est pas toujours facile d'y voir clair pour une personne non informée de toutes les facettes du dossier.

Le développement des plantes transgéniques a ainsi été stoppé, en France, à partir de 1998. Il en est maintenant de même dans la plupart des pays de l'Europe, sauf en Espagne où le maïs transgénique connaît un début de développement. L'expérimentation même sur les plantes transgéniques a pratiquement été arrêtée. Au contraire, en Amérique du Nord (États-Unis, Canada) et Argentine, à travers quatre espèces (soja, maïs, coton, colza) et essentiellement deux types de transgènes (résistance aux insectes et tolérance aux herbicides) les plantes transgéniques sont toujours en pleine expansion ; elles couvrent maintenant plus de 90 millions d'hectares dans le monde. Le blocage des plantes transgéniques en Europe, et en particulier en France, a des origines multiples. Le consommateur-citoyen ne perçoit ni les avantages directs (prix et qualité des produits) ni les bénéfices pour l'agriculture et l'environnement à recourir aux plantes transgéniques. Il manifeste aussi une

inquiétude pour sa santé. Cette inquiétude trouve essentiellement ses racines dans les crises sanitaires traversées par la France (sang contaminé, vache folle). Plus généralement, la réaction contre les plantes transgéniques se nourrit aussi de la dimension symbolique des OGM qui est à la fois d'ordre culturel (artificialisation du vivant, transgression des barrières entre espèces), éthique (appropriation du vivant, injustice Nord/Sud), et d'ordre économique voire politique (mondialisation des échanges, concentration industrielle). Ces différents aspects sont souvent mélangés dans les débats.

Les grandes étapes du développement commercial des variétés transgéniques (1983-2004)

1983 : obtention des premières plantes transgéniques indépendamment par quatre groupes : l'université de Washington à St Louis, Missouri, États-Unis (Framond *et al.*, 1983), la Rijksuniversiteit à Gand, Belgique (Schell *et al.*, 1983), la Société Monsanto à St Louis, Missouri, États-Unis (Fraley *et al.*, 1983), et l'université du Wisconsin, États-Unis (Murai *et al.*, 1983).

1985 : production de la première plante transgénique, un tabac dans le génome duquel a été introduit un gène codant pour une toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, entraînant la résistance aux insectes.

1986 : premiers essais au champ d'un tabac résistant à un antibiotique (aux États-Unis). En France, mise en place de la Commission de génie biomoléculaire (CGB), sous la tutelle du ministère de l'Agriculture.

1988 : plantes transgéniques obtenues chez de nombreuses espèces (soja, betterave à sucre, riz, luzerne, colza, tournesol, peuplier...) ; premières plantes « pharmaceutiques ».

1989 : premières demandes de mise sur le marché de variétés transgéniques.

1994 : première commercialisation aux États-Unis d'une variété de tomate à maturation retardée (Calgene).

1995 : première commercialisation aux États-Unis d'un maïs résistant à un insecte : la pyrale avec l'introduction d'un gène codant pour une toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), (dit maïs *Bt*), du coton *Bt*, du soja résistant à un herbicide, le Roundup®.

1996 : première commercialisation en Grande Bretagne d'une tomate transgénique plus facile à transformer en concentré (Zeneca). Campagne internationale de Greenpeace contre la commercialisation d'OGM dans le domaine de l'alimentation et contre leur dissémination dans l'environnement. Autorisation par la CE de la culture d'un maïs *Bt* (Novartis) et de l'importation du soja résistant à l'herbicide, le Roundup® (Monsanto).

1997 : autorisation par la CE de l'importation et de la culture du maïs *Bt* « Pactol » (Novartis) pour l'alimentation humaine et animale. Accord de la France le 5 février 1997, puis le 12 février retrait de l'autorisation de culture en France par le gouvernement Juppé. Démission du Président de la CGB. Levée de l'interdiction de culture en novembre 1997 par le gouvernement Jospin.

1998 : homologation de plusieurs maïs transgéniques en Europe. Suspension de nouvelles autorisations par la France, l'Italie, la Grèce, le Danemark et le Luxembourg. Étiquetage obligatoire des produits alimentaires contenant des OGM. En France, par l'arrêté du 5 février, inscription au catalogue officiel de 3 variétés de maïs transgénique *Bt* de Novartis (César, Furio, Occitan). Demande d'annulation en

Conseil d'État de la culture du maïs *Bt* par les associations Greenpeace, Europa France, les Amis de la Terre, la Confédération paysanne et quelques particuliers. Suspension de l'arrêté du 5 février et affaire portée devant la Cour de justice de la CE. Les 20-21 juin 1998, première « conférence des citoyens » sur les plantes transgéniques organisée par l'OPECST. Le 3 août 1998 : nouvelles autorisations de mise en culture de variétés transgéniques de maïs. Moratoire pour les variétés transgéniques de colza et de betterave.

1999 : moratoire sur les variétés transgéniques au niveau européen.

2000 : réglementation de l'étiquetage. Obligation pour la France d'autoriser la culture du maïs *Bt* sur son territoire sauf si elle apporte des informations prouvant que l'aliment présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement. Acceptation par le Conseil d'État de la culture du maïs *Bt*. Extension à 10 ans de la durée de l'autorisation de culture par les magistrats européens alors que l'arrêté initial la limitait à 3 ans.

2003 : ratification par au moins 50 pays (sans les États-Unis) du protocole de biosécurité de Carthagène fixant des règles strictes pour les mouvements transfrontaliers des OGM (importation et exportation).

2004 : obligation d'étiquetage dans l'Union européenne, de tous les produits contenant plus de 0,9 % d'OGM, qu'ils soient pour la consommation humaine ou animale. Levée du moratoire sur les variétés transgéniques.

2005 : il y a 90 millions d'ha de variétés transgéniques dans le monde.

Le but de cette synthèse est alors de rassembler dans un même document les informations pour mieux comprendre les objets du débat et donner des références précises sur chacun d'eux. Qu'est-ce que la transgénèse ? Qu'apporte-t-elle ou que peut-elle apporter ? Quels sont les risques éventuels ? Les bases de l'opposition aux plantes transgéniques sont-elles de nature technique, scientifique, éthique, économique ou politique ? Quelles sont les conséquences possibles de leur refus ? Nous souhaitons apporter les éléments permettant de faire une véritable balance bénéfices/risques en citant pour tous les points abordés des références majeures des travaux publiés sur lesquels nous nous sommes appuyés, car la communication sur ce sujet a été essentiellement centrée sur les risques et souvent avec une omission des références, ce qui peut permettre la déformation de certains faits.

Nous examinerons d'abord l'importance économique des variétés transgéniques aujourd'hui dans le monde (chap. 1). Ensuite, nous montrerons dans le chapitre 2 que l'amélioration des plantes fait du génie génétique depuis qu'elle est devenue une discipline s'appuyant sur les lois de la génétique pour transformer de façon plus efficace le génome des plantes afin de réunir le maximum de gènes favorables dans une même population de plantes, la variété. Dans le chapitre 3, nous définirons la transgénèse, ce nouvel outil mis à la disposition du chercheur et du sélectionneur. Dans le chapitre 4, nous présenterons différents exemples pour illustrer ce que les variétés transgéniques apportent ou peuvent apporter au chercheur (pour ses recherches cognitives), à l'agriculteur (pour la protection et la diversification de ses productions), à l'industriel (pour la qualité technologique et la synthèse de différentes substances) et au citoyen (pour la qualité de son alimentation, sa santé et la protection de son environnement). Cependant, comme certaines de ces innovations peuvent présenter des risques pour la santé et l'environnement et avoir un impact sur l'économie, nous examinerons ceux-ci dans le chapitre 5 selon les espèces, les

transgènes et leurs conditions d'utilisation. Nous présenterons alors dans le chapitre 6 les mesures réglementaires qui sont prises pour contrôler les risques éventuels pour la santé et pour l'environnement. Enfin dans le chapitre 7, en guise de conclusion, à la lumière des chapitres précédents, nous discuterons les raisons diverses du blocage des plantes transgéniques et leurs conséquences au niveau de l'agriculture, de la recherche et de l'industrie.

Cet ouvrage s'adresse à tout lecteur s'intéressant aux questions soulevées par le développement des plantes transgéniques :

- aux citoyens, qui s'interrogent sur la balance bénéfiques/risques,
- aux étudiants en biologie végétale et en amélioration des plantes qui auront à gérer plus tard, dans leur activité professionnelle, des innovations en biotechnologies,
- aux enseignants, qui ont la lourde responsabilité de former les étudiants en biologie,
- aux chercheurs, aux ingénieurs et responsables de la sélection végétale qui peuvent se poser des questions sur leur mission et la façon de communiquer sur ce qu'ils font avec la société civile,
- et aux décideurs, dont les politiques qui sur des sujets comme celui des plantes transgéniques, à l'écoute de la société, doivent la protéger, tout en stimulant les innovations source de progrès.

Dans tous les chapitres les principales notions sont redéfinies, permettant au non-biologiste d'en comprendre tous les aspects. Mais, nous avons aussi voulu que cet ouvrage apporte des précisions à ceux qui ont une certaine culture en biologie, d'où l'approfondissement de la présentation de la technique de transgénèse et des exemples qui sont donnés.

N.B. Différentes orthographes du mot transgénèse existent ; transgenèse et transgénèse. La première écriture n'est pas neutre, car elle peut laisser sous-entendre que l'on transgresse les barrières de la genèse, ce qui n'est pas toujours le cas, nous le verrons. La deuxième écriture se réfère plus directement au transfert du gène et recouvre donc toutes les situations de transferts intra ou interspécifiques, voire inter-règnes, c'est pourquoi, à l'instar d'autres généticiens, nous l'avons retenue. D'ailleurs cette écriture est très cohérente avec celle de « mutagénèse ».