



HAL
open science

Les aliments issus de plantes génétiquement modifiées : équivalence, efficacité et sécurité chez les animaux de la ferme

L.A. Aumaître

► **To cite this version:**

L.A. Aumaître. Les aliments issus de plantes génétiquement modifiées : équivalence, efficacité et sécurité chez les animaux de la ferme. *Productions Animales*, 2002, 15 (2), pp.97-108. hal-02682541

HAL Id: hal-02682541

<https://hal.inrae.fr/hal-02682541>

Submitted on 1 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les aliments issus de plantes génétiquement modifiées : équivalence, efficacité et sécurité chez les animaux de ferme

Les plantes génétiquement modifiées entrent déjà de façon massive dans les aliments des animaux dans de nombreux pays. En effet, plus de 50 millions d'hectares de soja, de maïs, de coton et de colza génétiquement modifiés ont été cultivés en 2001 dans le monde. Les états ou les groupes d'états (la Commission Européenne) disposent d'informations précises et d'outils scientifiques adaptés pour l'évaluation des conséquences de leur utilisation pour la santé des animaux et de l'homme. Toutefois, ces informations utilisées pour délivrer les autorisations de diffusion ou de mise en marché des nouvelles plantes sont parfois peu accessibles aux scientifiques et au grand public.

L'homme se préoccupe de son approvisionnement en produits de qualité pour son ali-

Résumé

On affirme, même sans preuve avérée, que les aliments issus de la transformation génétique des plantes présentent des risques pour l'homme et les animaux. On reconnaît seulement les avantages agronomiques des plantes génétiquement modifiées (GM) ayant fait l'objet d'une autorisation de dissémination. L'équivalence en substance (composition chimique), la sécurité et l'innocuité ont pourtant été vérifiées préalablement à leur autorisation. C'est seulement récemment que l'on a démontré chez les animaux de ferme l'équivalence nutritionnelle de ces plantes et de leurs dérivés. Aucun signe de toxicité du soja, du pois, du lupin, du coton, de la pomme de terre chez le rat ou du colza chez le lapin n'ont été observés.

De nombreux travaux sur animaux cibles ont été récemment publiés : ils sont récapitulés et interprétés dans cet article. Ainsi, par exemple, 11 tests combinés de tolérance et de valeur alimentaire ont été effectués sur le poulet de chair et 11 tests sur le porc concernant le maïs grain, ou le soja résistant aux herbicides ou aux insectes. Les fourrages à base de plantes entières, les graines de coton, de soja GM ont fait l'objet de 17 publications de résultats observés sur les ruminants, vaches laitières et bovins à l'engrais, sur des durées allant de 21 à 246 jours. Ces essais montrent l'équivalence alimentaire des plantes GM par rapport aux plantes parentales ; aucun effet n'a été observé sur la composition et les propriétés technologiques du lait.

La recherche de résidus de l'ADN transformant dans les muscles du poulet ou dans le lait des vaches s'est toujours avérée négative. Par ailleurs, la résistance aux insectes chez le maïs s'accompagne d'une réduction substantielle de la teneur en mycotoxines (trichotécènes, fumonisine B1) dans le maïs grain. Enfin, la réduction du taux de phosphore phytique dans le maïs permet de réduire considérablement les rejets de phosphore dans les effluents des élevages d'animaux monogastriques.

mentation depuis bien longtemps. André Castelot rapporte ainsi dans son histoire insolite que, déjà au XII^{ème} siècle en France, "Une fois installé à table, on mange de la viande surtout, beaucoup et de bonne sorte. Le porc tient une grande place, les autres bêtes faute de prairies artificielles et de fourrage suffisant étaient rarement des animaux gras. La basse-cour seconde le porc dans son œuvre nourricière sans toutefois rivaliser avec la sécurité qu'il inspire !..". La viande de porc était-elle aussi saine alors qu'elle disséminait le ténia et la trichine et que les animaux se nourrissaient alors de déchets de toute sorte ? Les problèmes de sécurité des produits alimentaires et plus particulièrement des produits animaux font actuellement l'objet d'une attention particulière qui prend source dans la peur générée et entretenue par les médias sur les risques liés à la contamination des produits végétaux et animaux par les substances toxiques, les pesticides, les microorganismes, et plus spécialement les aliments issus des organismes génétiquement modifiés.

La tâche des agronomes est de contribuer à l'approvisionnement quantitatif du marché, au niveau mondial, en produits alimentaires, par exemple 2 milliards de tonnes de céréales par an (dont 570 millions de maïs et 530 millions de blé), pour nourrir les hommes et les

animaux. Celle des zootechniciens est d'aider à produire 760 millions de tonnes de viande, de lait, et d'œufs de qualité, et même plus si l'on tient compte du déficit en protéines à l'origine de la malnutrition chronique de certaines populations.

Les progrès rapides de la génétique végétale ont permis récemment de protéger les plantes de l'attaque des insectes, d'éviter la contamination de certains produits par des graines d'adventices toxiques, de prévenir le développement de champignons parasites, générateurs de toxines. Or ces nouvelles plantes et leur dérivés sont consommés directement par l'homme ou par les animaux produisant du lait, de la viande, des œufs et il convient de vérifier leur composition chimique (équivalence en substance), leur salubrité (sécurité) et leur valeur alimentaire.

La législation relative aux nouveaux aliments est encore insuffisamment précise, mais elle recommande la constitution de dossiers permettant de vérifier leur sécurité pour l'homme et l'environnement, préalablement à l'autorisation de leur diffusion.

Des tests calqués sur les études de toxicité des additifs alimentaires ou des médicaments sont utilisés. Toutefois, la nécessité de procéder à des tests sur animaux cibles que sont les animaux de ferme est encore discutée, les expérimentations contestées dans leur validité et leur signification. En effet, comment évaluer par une même méthode simple, avec une seule espèce animale, l'intérêt et la sécurité d'une plante génétiquement modifiée (GM) qui produit à la fois des racines, des tiges, des feuilles et des graines destinées à des espèces différant considérablement par leur physiologie digestive et leur métabolisme.

Jusqu'à une période récente, peu de données scientifiques étaient disponibles et publiées dans la littérature scientifique concernant le poulet, le porc, le lapin, la vache laitière, le bœuf, pour permettre de conclure à une équivalence, voire à un bénéfice éventuel de l'utilisation des plantes GM

par les animaux de rente. Les données, longtemps confinées dans les dossiers confidentiels de demande d'autorisation de dissémination soumis par les industries obtentrices, commencent à être publiées dans la littérature comme dans les congrès scientifiques (Clark et Ipharraguerre 2001, Aumaitre *et al* 2002, Faust 2002). Cet article propose de récapituler ces données et de les discuter au regard des bénéfices et des risques éventuels des plantes GM.

1 / Composition chimique et valeur nutritionnelle des plantes GM chez les animaux

1.1 / Equivalence de composition

Le principe de l'équivalence en substance énoncé par l'OCDE (OECD 1996) a été presque unanimement adopté pour tester les nouveaux aliments qui ne pouvaient pas être évalués à l'aide des techniques utilisées pour les substances toxiques, les additifs ou les contaminants (Pascal 1996). Appliquée à une plante comme le maïs, l'analyse chimique des principaux constituants révèle souvent à 90-99 % une similitude de composition. Toutefois, les teneurs en macronutriments comme les protéines peuvent varier avec l'année de culture, le type de sol, la fertilisation, la partie de la plante, les traitements technologiques. Aussi, on a parfois étayé ces résultats par des données sur l'étendue des valeurs observées entre les répétitions expérimentales, voire par celles des tables de composition des aliments (tableau 1).

S'agissant des animaux domestiques, les nutritionnistes recommandent également d'évaluer la biodisponibilité de certains nutriments pour l'animal, qui ne peut être garantie par la seule analyse chimique élémentaire. Par ailleurs, de nouveaux principes toxiques peuvent éventuellement être synthétisés dans la nouvelle plante, ce qui nécessitera des tests

Les résultats concernent surtout des plantes GM de première génération, c'est-à-dire celles dont la modification génétique présente un intérêt cultural, comme la résistance aux attaques d'insectes.

Tableau 1. Exemple d'équivalence de la composition chimique du maïs résistant au glyphosate (GA 21) ou à la pyrale (Bt 176) comparé à un maïs témoin parental⁽¹⁾. Adapté de Sidhu *et al* 2000 et⁽¹⁾ Barrière *et al* 2001.

Année	1996		1997		1998			
	Témoin	GA 21	Témoin	GA 21	Lignées commerciales	Variation (Tables)	Témoin ⁽¹⁾	Bt 176 ⁽¹⁾
Maïs								
Protéines (% MS)								
- plante entière	7,58	7,91	7,45	7,49	7,20	4,8 - 8,4	6,0	6,7 *
- grain	10,05	10,05	10,54	11,05	10,87	9,0 - 13,6	9,3	9,5
NDF (% MS)								
- plante entière	40,8	39,5	38,9	37,9	39,5	39,9 - 46,6	38,5	36,9
- grain	11,7	10,8	9,8	9,3	10,1	8,3 - 11,9	-	-
Lysine (% acides aminés totaux)								
- grain	3,09	3,02	3,02	3,11	2,96	2,0 - 3,8	2,9	2,9
Acide linoléique (% acides gras totaux)								
- grain	58,7	58,6	61,5	61,4	59,2	35 - 70	57,4	57,3

* différence significative intra-expérience.

complémentaires pour s'assurer de leur innocuité. Ces tests ont par exemple été plus particulièrement effectués dans le cas de la graine de soja, connue pour renfermer naturellement de nombreux facteurs anti-nutritionnels.

Les teneurs en facteurs anti-nutritionnels connus (lectines, inhibiteurs de trypsine, iso-flavones) observées dans les graines des nouvelles variétés de soja sont très voisines de celles déterminées dans les produits issus de plantes parentales. On observe également la même teneur en phytates soit 1,92 et 1,82 pour cent respectivement par rapport à la matière sèche. Toutefois, le concept d'équivalence en substance qui s'est révélé satisfait dans le cas de nouvelles variétés de cette plante (Padgett *et al* 1996) ne permet pas de généraliser une liste unique de composés nécessitant un test à appliquer systématiquement à toutes les nouvelles plantes. Encore faut-il également que les méthodes de dosage soient disponibles, suffisamment sensibles et faciles à mettre en œuvre pour une mesure en série. La notion d'équivalence en substance peut encore être mise en défaut par l'identification et le dosage quantitatif des substances actives des plantes GM, absentes des plantes parentales témoins non modifiées. Il convient alors de parler d'équivalence en substance, sauf pour le caractère transféré. Ainsi, la construction génétique (ADN étranger) est généralement présente à des quantités très faibles, correspondant par exemple à 0,1µg d'ADN cry1A (b) par kg de matière sèche de maïs plante entière (Beever et Kemp 2000).

La protéine insecticide correspondante est aussi présente à des taux variables selon le gène inséré et/ou selon les organes de la plante ou encore son stade de végétation (figure 1). En général, les produits des gènes ont fait l'objet de tests préalables de toxicité aiguë après administration orale à des souris pour s'assurer que la construction génétique ou le gène inséré ne codent pas pour des substances délétères. On a également vérifié *in*

vitro leur dégradation par les systèmes enzymatiques simulant les conditions du tube digestif de l'homme et des animaux. Enfin, l'ADN et les protéines peuvent être détruits par la chaleur humide au dessus de 95°C (Beever et Kemp 2000, Faust 2000). La protéine CRY1A (b) peut être totalement (Fearing *et al* 1997) ou seulement partiellement détruite au cours de l'ensilage du maïs plante entière (Faust 2000).

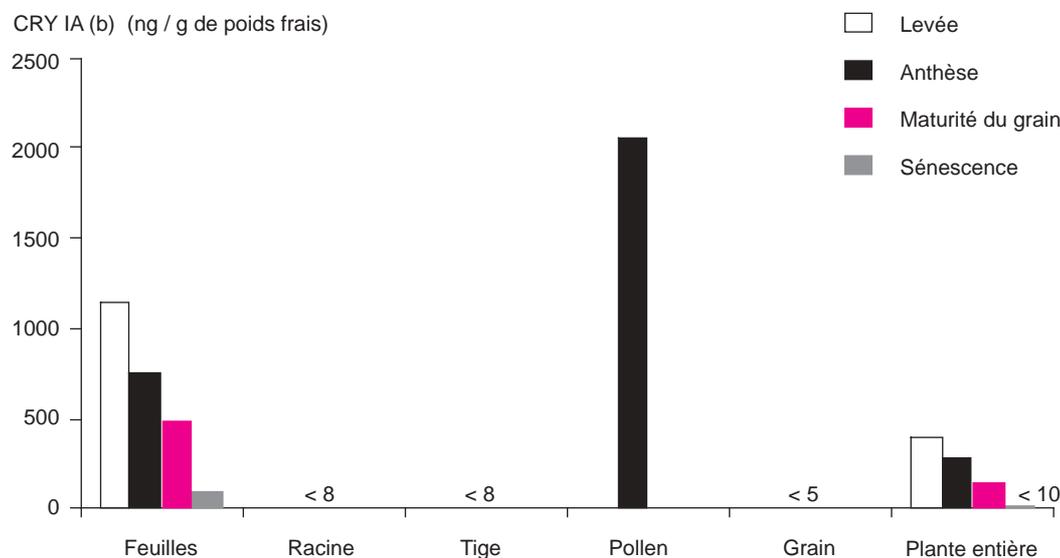
La notion d'équivalence nutritionnelle, mesure plus scientifique, constitue un progrès dans l'évaluation du potentiel des nouvelles plantes, placé en aval des tests de sécurité. Elle tend de plus en plus à compléter ou à se substituer à la notion d'équivalence substantielle dans les publications, et permet en même temps de confirmer l'absence de facteurs toxiques.

1.2 / Equivalence nutritionnelle

Les plantes GM peuvent constituer la majeure partie de la ration alimentaire des animaux. Ainsi, les bovins à l'engrais peuvent consommer pendant la plus grande partie de leur vie un ensilage de maïs constituant jusqu'à 97 % de leur ration journalière. La notion de dose croissante ou de dose/réponse perdent alors toute signification. Les notions de digestibilité des composants (matière organique, azote, énergie, constituants fibreux) constituent une première évaluation de l'équivalence nutritionnelle permettant de déterminer chez les animaux de ferme la teneur en énergie métabolisable et en énergie nette, en comparaison avec celle mesurée sur les plantes parentales témoins. Compte tenu de la très grande diversité des caractéristiques du tube digestif des animaux, depuis le poulet jusqu'au ruminant, de la diversité de composition des aliments (teneur en fibres) qui leur sont destinés et du risque éventuel de toxicité, on peut s'interroger sur la signification de tests préliminaires sur animaux de laboratoire.

Le gène inséré dans une plante GM code pour une protéine dont la concentration est mesurée dans les différents organes de la plante et la toxicité évaluée sur animaux.

Figure 1. Evolution de la teneur en protéine insecticide CRY IA (b) dans le maïs Bt résistant à la pyrale (Fearing *et al* 1997).



a / Equivalence chez les animaux de laboratoire

Un examen bibliographique approfondi fait apparaître un faible nombre de tests pratiqués sur animaux de laboratoire auxquels on a ajouté le lapin. Le plus souvent, ces tests sont conduits dans l'optique d'une recherche de la toxicité. Les principales données résumées au tableau 2 confirment l'absence de toxicité de nombreuses constructions parfois encore au stade expérimental. La toxicité peut essentiellement être exclue dans la comparaison des performances pondérales, des quantités d'aliment consommé, des indices de consommation, des poids des organes, des paramètres sanguins et hépatiques, en nombre variable selon les auteurs et les expériences rapportées.

L'équivalence nutritionnelle entre le produit GM et le produit parental témoin, chez le rat ou le lapin, des plantes oléo-protéagineuses et du riz a toujours été vérifiée sur un temps ne dépassant pas 4 semaines. Une seule expérience de toxicité de longue durée (5 mois) concerne le soja résistant au glyphosate (Tutel'yan *et al* 1999). Elle confirme en tout point l'expérimentation conduite pendant 28 jours sur la graine et le tourteau correspondants (Hammond *et al* 1996). Enfin, les mesures portant sur les caractéristiques du tractus génital des animaux (gonades) ont permis à ces derniers auteurs de vérifier que les isoflavones contenues dans le soja GM n'avaient pas d'effet perturbateur sur la fonction de reproduction chez le rat.

Par ailleurs, dans le cas du lupin enrichi en méthionine, les données comparant à la fois la digestibilité des principaux composés et la

vitesse de croissance des animaux sur une courte période ne sont qu'un indicateur potentiel d'une augmentation de sa valeur nutritionnelle consécutive à la modification génétique. En plus de la courte durée expérimentale, variable selon les auteurs et souvent liée à un faible échantillon de produit disponible, il faut reconnaître une très grande hétérogénéité dans les méthodes utilisées, en ce qui concerne l'âge et le poids des animaux en début d'expérience, le nombre de répétitions et le nombre de mesures effectuées. Concernant le colza GM, la digestibilité et les performances de croissance des lapins sont identiques à celles observées pour le colza témoin. Une meilleure définition et l'harmonisation des méthodes semblent indispensables pour pouvoir utiliser de tels résultats afin de recommander éventuellement des tests permettant de répondre à la législation et d'autoriser la dissémination, donc la production et la commercialisation des nouveaux aliments en toute sécurité. Il conviendrait enfin de définir le type d'animal de laboratoire à choisir en fonction du type de plante ou d'aliment à tester.

b / Equivalence chez les animaux cibles

Les tests mis en œuvre sur animaux cibles ont fait l'objet d'un plus grand nombre d'expérimentations et de publications de la part des chercheurs travaillant dans les Instituts et les Universités (6 sur 11 pour le poulet), parfois en collaboration avec l'industrie obtentriche des plantes concernées.

Chez le poulet, espèce essentiellement granivore, nous avons analysé les résultats de 11 expérimentations publiées, dont 9 ont concerné l'évaluation du maïs grain incorporé

Les tests sur différentes espèces animales ont pour but de déterminer si la valeur nutritionnelle des plantes GM est identique à celle de la plante parentale.

Tableau 2. Résultats de tests de toxicité et d'équivalence nutritionnelle des graines de plantes génétiquement modifiées (GM) sur animaux de laboratoire.

Gly : résistance au glyphosate ; α -Al : α -amylase inhibiteur, résistance aux insectes ; ssa : sunflower seed albumin, enrichissement en méthionine ; Bt : résistance aux insectes ; glycinine de soja ; MS8x RF3 : Mâle Stérile x Restauration de la fertilité.

Paramètre	Poids (g) Age	Durée (j)	Gain de poids (g/j) (témoin / GM)	Autres mesures	Référence
Tests sur rats Soja Gly Graines, 5-10% Tourteau, 25%	190 / 250 8 semaines	28	7,0 / 7,1 (mâles) 3,0 / 3,1 (femelles)	Examens macroscopiques des tissus (40 organes) Foie, pancréas ...	Hammond <i>et al</i> 1996
Pois α -Al, 30%	83 3 semaines	10	7,1 / 7,2	Composition corporelle, métabolisme azoté	Puzstai <i>et al</i> 1999
Lupin ssa méthionine, 26 %	70 ?	8	0,5 / 1,0	Valeur alimentaire, digestibilité azote et énergie	Molvig <i>et al</i> 1997
Coton Bt Graines, 10 %	-	28	identique	Poids des organes, paramètres sanguins	Song <i>et al</i> 1996
Riz glycinine	-	28	identique	Paramètres sanguins, poids des organes, histopathologie	Momma <i>et al</i> 2000
Pomme de terre glycinine	-	28	identique	Poids du foie et des reins, histopathologie	Hashimoto <i>et al</i> 1999
Tests sur lapins Colza MS8 x RF3, 30 %	1600	14	34 / 35	Digestibilité azote et énergie	Maertens <i>et al</i> 1996

à 50-60% de la ration. On observe une identité des performances pondérales, excepté un cas où le maïs modifié permet des performances significativement augmentées. Les quantités d'aliment ingéré et l'indice de consommation ne diffèrent pas significativement ($P < 0,05$) entre le maïs parental et le maïs GM. La digestibilité des principaux éléments nutritifs (énergie, azote) a également été mesurée et on a observé des valeurs similaires pour la teneur en énergie métabolisable corrigée pour un bilan azoté nul (EMN) (Aulrich *et al* 2001, Gaines *et al* 2001a ; tableau 3). De plus, Aulrich *et al* (2001) confirment, pour le même maïs testé chez la poule pondeuse, une même teneur en EMN ainsi que des performances de ponte comparables aux valeurs des poules recevant une ration à base de grain normal. La comparaison de soja GM ou non conduit au même type de résultats chez le poulet (tableau 3). Deux auteurs montrent encore une réduction significative du taux de mycotoxines des grains issus du maïs résistant à la pyrale. Il faut enfin souligner que les expériences sont conduites pour la durée totale de la vie de l'animal jusqu'au stade de l'abattage (38 à 42 jours d'âge) correspondant à la durée classique de production des animaux. Les données de composition corporelle permettent de comparer le poids des différents morceaux (muscle pectoral, cuisse, aile) et l'adiposité estimée à partir du poids de gras viscéral. Des données complémentaires sur la teneur en protéines et en lipides du muscle pectoral renseignent encore sur l'absence d'effet de la consommation de maïs GM sur la qualité des produits (Kan *et al* 2001, Taylor *et al* 2001b).

Tous les auteurs démontrent à la fois l'absence de toxicité des graines de maïs et de soja GM pour l'espèce et ne montrent pas d'effet sur la composition et la qualité des produits (viande et œufs). Ils concluent alors à une équivalence nutritionnelle basée sur

des mesures recommandées par les scientifiques spécialistes de la nutrition des volailles. Les effectifs d'animaux utilisés par traitement sont par ailleurs intéressants à considérer : ils permettent de satisfaire aux conditions des bonnes pratiques de laboratoire (BPL) relativement à l'application des tests statistiques de comparaison des performances moyennes des poulets pendant la période totale de production.

Chez le porc, le même type d'expérimentation a également été entrepris. Les animaux ont reçu divers produits : du maïs sous forme de grain, de la betterave à sucre, du tourteau de soja génétiquement modifié, dans le cadre de 10 publications dans la littérature scientifique. Les performances de croissance et l'indice de consommation des animaux nourris à partir de 6 kg de poids vif (4 semaines d'âge) jusqu'à 117 kg de poids vif, correspondant au poids à l'abattage, ont été mesurées. Les résultats, complétés par des mesures de digestibilité, confirment aussi bien une absence de toxicité des plantes GM qu'une équivalence nutritionnelle par rapport aux plantes parentales témoins (tableau 4). Une série d'expériences effectuées sur le maïs grain génétiquement modifié (Lpa1-1, pour low phytic acid ou pauvre en acide phytique) montrent également une absence de toxicité, une identité de sa valeur nutritionnelle par rapport à un maïs grain parental et une augmentation de la digestibilité du phosphore (voir plus loin).

Les travaux expérimentaux ont été conduits sous la responsabilité d'établissements publics ou universitaires de recherche (11 expériences sur 12). La validité des résultats convergents ne peut donc être suspectée, bien que de nombreuses données soient encore issues de publications partielles lors de communications à des congrès. La durée des essais ainsi que les effectifs d'animaux

Chez le poulet comme chez le porc, les végétaux GM testés ont conduit aux mêmes résultats zootechniques que les témoins et leur innocuité a été montrée.

Tableau 3. Résultats des tests d'évaluation de la sécurité et de la valeur nutritionnelle des graines de plantes génétiquement modifiées (GM) chez le poulet.

Performances et mesures : valeurs identique (=), inférieure (<) ou supérieure (>) de la plante GM par rapport à la plante témoin.

Bt et YG (Yield gard) : résistance aux insectes, Gly : résistance au glyphosate.

	Gain de poids	Aliment ingéré	Indice de consommation	Composition carcasse	Gras viscéral	Equivalence nutritionnelle	Durée (j)	Effectif par traitement	Autres observations
Maïs Bt 176 ⁽¹⁾	=		=	=	=		38	640	Taux de survie, mycotoxines
Maïs Bt 176 ⁽²⁾			=			= D	25	6	EMN, digestibilité
Maïs Bt MON 810 ⁽³⁾	>	=	=				42	72	Fumonisine B1
Maïs MON 810 ⁽⁴⁾	=	=	=			= D	14/8	110/70	EMN
Maïs Gly ⁽⁴⁾	=	=	=			= D	14/8	110/70	2 expériences par événement
Maïs Bt YG ⁽⁵⁾	=	=	=	=	=	=	42	100	
Maïs Bt x Gly ⁽⁵⁾	=	=	=	=	=	=	42	100	
Maïs Gly GA 21 ⁽⁶⁾	=		=		=		39	80	Composition chimique 96/97
Maïs Gly NK 603 ⁽⁷⁾	=	=	=	=	= <	=	42	100	Découpe, composition des muscles
Soja Gly ⁽⁸⁾	=	=	=	=	=	=	42	120	Taux de survie, gonades
Soja Bt ⁽⁹⁾	=	=	=	=	=	=	41	100	Composition des muscles

D : digestibilité, EMN : énergie métabolisable corrigée pour un bilan azoté nul.

⁽¹⁾ Brake et Vlachos 1998, ⁽²⁾ Aulrich *et al* 2001, ⁽³⁾ Piva *et al* 2001b, ⁽⁴⁾ Gaines *et al* 2001a, ⁽⁵⁾ Taylor *et al* 2001a, ⁽⁶⁾ Sidhu *et al* 2000, ⁽⁷⁾ Taylor *et al* 2001b, ⁽⁸⁾ Hammond *et al* 1996, ⁽⁹⁾ Kan *et al* 2001.

Tableau 4. Résultats des tests d'évaluation de la sécurité, de la valeur nutritionnelle et de la digestibilité des graines et des racines de plantes génétiquement modifiées (GM) chez le porc. Performances et mesures : valeurs identique (=), inférieure (<) ou supérieure (>) de la plante GM par rapport à la plante témoin.

Bt : résistance aux insectes, Gly : résistance au glyphosate, Glu : résistance au glufosinate, Lpa1-1 : pauvreté en phosphore phytique (P).

	Gain de poids	Aliment ingéré	Indice de consommation	Composition carcasse	Equivalence nutritionnelle	Durée (j)	Effectif par traitement	Autres observations
Maïs Bt ⁽¹⁾	=	=	=	=		94	60	Adiposité, qualité de la viande
Maïs Bt ⁽²⁾					= D	24	5	Analyse chimique, ED, EM
Maïs Bt MON 810 ⁽³⁾	=	=	=			35	32	Fumonisine B1, désoxynivalénol
Maïs Bt ⁽⁴⁾	=	=	=		= D	91 15	36 6	Digestibilité, EM ADN tissus, en cours
Maïs Bt ⁽⁵⁾					= D	15	5	Energie digestible
Maïs Gly ⁽⁵⁾					= D	15	5	
Maïs GA 21 Gly ⁽⁶⁾	=	=	=	=		53	80	Composition des muscles
Soja Gly ⁽⁷⁾	=	=	=	=		104	50	Composition des muscles, gras intramusculaire
Maïs Pat Glu ⁽⁸⁾					= D	24	5	Analyse chimique : acides aminés, acides gras
Betterave Pat Glu ⁽⁸⁾					= D	24	5	Digestibilité, ED, EM
Maïs Lpa1-1 ⁽⁹⁾	=	=	=	=	= D, P	35 (10)	15 (10)	Bilan de phosphore
Maïs Lpa1-1 ⁽⁹⁾	=	=	=	=	=D, P	97	105+546	Os : solidité, minéraux

D : digestibilité, ED : énergie digestible, EM : énergie métabolisable.

⁽¹⁾ Weber *et al* 2000, ⁽²⁾ Aulrich *et al* 2001, ⁽³⁾ Piva *et al* 2001a, ⁽⁴⁾ Reuter *et al* 2001, ⁽⁵⁾ Gaines *et al* 2001b, ⁽⁶⁾ Stanisiewski *et al* 2001, ⁽⁷⁾ Cromwell *et al* 2001, ⁽⁸⁾ Böhme *et al* 2001, ⁽⁹⁾ Spencer *et al* 2000ab.

concernés remplissent les recommandations des BPL et les calculs statistiques ont toujours montré une absence d'effet significatif sur les performances. Une amélioration significative de la digestibilité du phosphore du maïs Lpa1-1 (Spencer *et al* 2000ab) a été observée, chez le porcelet comme chez le porc en croissance, qui sera discutée plus loin en raison des avantages liés à son impact potentiel sur l'environnement.

Chez la vache laitière, les résultats des tests effectués sont récapitulés à partir des données issues de 8 expériences réalisées selon les BPL et publiées dans des revues scientifiques. Elles concernent de nombreuses plantes : maïs résistant aux insectes et/ou aux herbicides, graine de soja résistant aux herbicides, coton résistant aux herbicides et/ou aux insectes, et enfin betteraves à sucre ou fourragères résistantes aux herbicides. Les expériences concernant le maïs ont été réalisées à partir de plante fraîche (Faust 2000) ou plus généralement de plante ensilée, parfois en association avec du grain (Folmer *et al* 2000) visant à atteindre un maximum du pourcentage de la matière sèche de la ration sous forme de plante GM (40 et 28 % respectivement d'ensilage et de grain de maïs).

Les principaux résultats (tableau 5) concernent le maïs plante entière ensilée. Ils montrent une identité de la production laitière, totale ou corrigée à 35 g ou 40 g de matière grasse par kg suivant les expériences. La production laitière est un critère particulièrement sensible chez les vaches haute productrices et tout particulièrement influençable par les déséquilibres nutritionnels et la présence de facteurs anti-nutritionnels. Elle n'a

jamais été significativement affectée par l'ingestion d'aliments provenant de plantes génétiquement modifiées alors que l'on est souvent capable de mettre en évidence des différences significatives de 3 % pour la production laitière moyenne observée entre les traitements. On pouvait cependant prévoir ce résultat à partir des valeurs identiques trouvées pour la composition chimique des plantes témoins et des plantes GM (Faust et Sprangler 2000). La composition du lait n'est pas non plus affectée. Des mesures de digestibilité *in situ* dans le rumen (Folmer *et al* 2000) ou effectuées sur des béliers adultes (Barrière *et al* 2001) ou encore directement sur la vache laitière en bilan azoté (Hammond *et al* 1996) montrent l'absence d'effets des diverses modifications ainsi testées, à la fois sur le fonctionnement du rumen, l'efficacité de la digestion et la valeur énergétique et protéique de l'ensilage de maïs. De plus quatre expériences (Hammond *et al* 1996, Barrière *et al* 2001, Castillo *et al* 2001a et 2001b) relatent une absence d'effet sur l'état général des animaux mis en expérience au pic de lactation. A l'exception d'une expérience menée sur un effectif élevé d'animaux, et sur une période de plus de trois mois (Barrière *et al* 2001), les expérimentations sur ce type d'animaux, lourdes et coûteuses, ont souvent été limitées en durée et réalisées sur un effectif restreint. L'utilisation d'un schéma en carré latin permettant de comparer successivement les plantes entre elles sur le même animal, ainsi que la cohérence des résultats nous autorisent à conclure, au moins sur les constructions génétiques testées, à l'absence d'effet toxique des nouvelles variétés de plantes ainsi qu'à l'équivalence nutritionnelle pour la vache par rapport aux plantes parentales non modifiées.

Chez les ruminants, les fourrages et graines issus de plantes GM n'ont montré aucun effet du caractère GM, sur le fonctionnement digestif comme sur les performances de production.

Tableau 5. Résultats des tests d'évaluation de la sécurité et de la valeur nutritionnelle des fourrages et des grains de plantes génétiquement modifiées (GM) chez la vache laitière.

Performances et mesures : valeurs identique (=), inférieure (<) ou supérieure (>) de la plante GM par rapport à la plante témoin.

Bt et Cry : résistance aux insectes, Gly : résistance au glyphosate.

	Aliment ingéré (MS)	Production de lait	Composition du lait	Digestion	Durée (j)	Effectif par traitement	Autres observations
Maïs Bt 4242 ⁽¹⁾	=	=	=	NDF (<i>in situ</i>) pH rumen AGV	21	12 (4x4) *	Ensilage + grain (40/28) Efficacité de l'aliment
Maïs Bt 11 ⁽¹⁾	=	=	=		21		
Maïs Bt 176 ⁽²⁾	=	=	=		14	4	Plante fraîche
Maïs Bt 11 ⁽²⁾	=	=	=		14	4	Détection ADN, protéine Bt
Maïs Bt 176 ⁽³⁾	=	=	=	MO, N, E, NDF PDI	91 [5]	24 [6]	Vache laitière : poids, état général, protéines et lipides du lait Digestibilité sur bœlier
Maïs Gly ⁽⁴⁾	=	=	=		28	8	Efficacité de l'aliment, urée du lait, cellules totales
Soja cru Gly ⁽⁵⁾	=	=	=	Bilan azoté, AGV, NH3 du rumen	21	12	Efficacité de l'aliment, métabolisme azoté
Coton Cry1Ac ⁽⁶⁾	=	=	=		28	12	Etat général,
Coton Cry1Ac+2 Ab ⁽⁶⁾	=	=	=		28	12	urée du lait
Coton Gly ⁽⁶⁾	=	=	=		28	12	
Coton Cry 1Ac + Gly ⁽⁷⁾	=	=	=		28	12	Etat général, urée du lait
Betteraves Gly ⁽⁸⁾							
- sucre		=	=	MO, E	35	6	Lait et sang : insuline, GHi activité mitogène
- fourragère		=	=	ADF, NDF	[?]	[7]	Digestibilité sur bœlier
- pulpe		=	=				

* Carré latin, 4 traitements, 4 périodes, 4 semaines.

MO : matière organique, N : azote, E : énergie, PDI : protéines digestibles dans l'intestin.

⁽¹⁾ Folmer *et al* 2000, ⁽²⁾ Faust 2000, ⁽³⁾ Barrière *et al* 2001, ⁽⁴⁾ Donkin *et al* 2000, ⁽⁵⁾ Hammond *et al* 1996, ⁽⁶⁾ Castillo *et al* 2001a, ⁽⁷⁾ Castillo *et al* 2001b, ⁽⁸⁾ Weisberg *et al* 2001.

Des données complémentaires sont issues d'expériences de plus longue durée sur des animaux ruminants. Ainsi des observations ont été effectuées sur des bouvillons sur une durée de 3 à 8 mois concernant la toxicité éventuelle et la valeur nutritionnelle du maïs résistant aux insectes. Les bouvillons sont moins sensibles que les vaches laitières aux déséquilibres nutritionnels ou à la présence de facteurs anti-nutritionnels en raison de besoins alimentaires relativement moins élevés.

Les résultats montrent qu'à l'image de ce qui a été observé chez le poulet ou chez le porc, les performances d'alimentation et de croissance sont identiques. De même, le rendement et la qualité de la carcasse sont similaires. Le seul écart significatif ($P < 0,05$) entre plante témoin et plante GM est une augmentation de l'indice de consommation observé avec un ensilage de maïs résistant à la pyrale. Ceci montre par ailleurs la nécessité d'effectuer plusieurs répétitions du dispositif expérimental avant de conclure à un effet réel (Hendrix *et al* 2000). Par ailleurs, les mêmes auteurs n'observent pas de différence de performances alimentaires ou pondérales chez les bouvillons ou les vaches laitières taries consommant les résidus de cannes de maïs lors de leur alimentation hivernale. Ils concluent également à l'absence de préférence alimentaire des animaux lors de l'exposition simultanée aux deux types de maïs, normal ou génétiquement modifié, qu'ils consomment en quantités égales. Enfin, la digestibilité des principaux constituants de la ration et

la teneur en énergie nette des principaux composants de l'ensilage d'un maïs résistant aux insectes ou des betteraves à sucre ou fourragères résistantes au glufosinate, mesurées sur le bœlier adulte, ne diffèrent pas significativement entre plantes parentales et plantes modifiées (tableau 6).

Il convient alors, ainsi que l'ont proposé Clark et Ipharraguerre (2001), de faire une nouvelle récapitulation des résultats de 7 expériences de courte durée sur les animaux de laboratoire, de 11 expériences sur le poulet, de 12 expériences sur le porc, de 12 expériences sur les animaux ruminants conduites pour tester la toxicité éventuelle et la valeur alimentaire de 41 plantes GM. D'une façon générale, les plantes génétiquement modifiées dites de première génération et comparées à celles des plantes parentales non modifiées :

- ne diffèrent pas dans leur composition chimique concernant les principes nutritionnels et les facteurs anti-nutritionnels habituellement connus ;
- ne diffèrent pas dans leur valeur alimentaire pour les animaux de ferme ;
- ne présentent pas de risque de toxicité.

Toutefois, le faible nombre d'essais et de publications sur les animaux de laboratoire ne peut pas permettre d'affirmer qu'un seul test sur rongeurs est suffisamment puissant, adapté et précis pour conclure à la sécurité des produits issus de plantes génétiquement modifiées, même lorsqu'il s'agit des seules

Tableau 6. Evaluation de la sécurité et de la valeur nutritionnelle des plantes génétiquement modifiées (GM) chez le bovin à l'engrais.

Performances et mesures : valeurs identique (=), inférieure (<) ou supérieure (>) de la plante GM par rapport à la plante témoin.

Bt: résistance aux insectes, Glu : résistance au glufosinate.

	Gain de poids	Aliment ingéré	Indice de consommation	Composition carcasse	Digestibilité	Durée (j)	Effectif par traitement	Autres observations
Maïs Bt César ⁽¹⁾	=	=	=	=	MO, N, E, ENA, EM, ENe	246 [24]	20 [4]	Ensilage à volonté Digestibilité des glucides [moutons]
Maïs Bt ⁽²⁾	=	=	=	=		190	29	Ensilage, rendement carcasse
Maïs Bt ⁽³⁾	=	=	>			85 35-42	28 38	Ensilage à volonté Préférences alimentaires Bt / témoin
Betteraves ⁽⁴⁾ Sucre Glu Collets Glu					MO, N, E, ENA, EM, ENI	[24]	[4]	Digestibilité des glucides, constituants fibreux [mouton]

MO : matière organique, N : azote, E : énergie, ENA : extractif non azoté, EM : énergie métabolisable, EN : énergie nette engraissement (e) ou lait (l).

⁽¹⁾ Aulrich *et al* 2001, ⁽²⁾ Maierhofer *et al* 2000, ⁽³⁾ Hendrix *et al* 2000, ⁽⁴⁾ Böhme *et al* 2001.**Tableau 7.** Réduction de la contamination par les mycotoxines dans les grains de maïs Bt résistants à la pyrale.

Mycotoxine	Désoxynivalénol	Aflatoxine	Zéaralénone	Fumonisine B1
Brake et Vlachos 1998	- 30 fois	- 50 %		
Munkvold et Hellmich 1999				- 50 %
Piva <i>et al</i> 2001ab	- 14 %	= ⁽¹⁾		- 70 %
Cahagnier et Melcion 2000 ⁽²⁾	- 27 % à - 10 fois			0 à - 20 fois
Aulrich et Flachowsky 2001	Diminution		Diminution	

⁽¹⁾ Valeurs faibles ou similaires par rapport au témoin, ⁽²⁾ Réduction du marqueur ergostérol.

graines. Les nombreux résultats récemment publiés vont à l'encontre des conclusions provisoires consécutives aux débats de la Conférence OCDE de Edimbourg (OCDE 2000), doutant de la nécessité de tester les nouveaux aliments sur les animaux cibles. Au contraire, les tests développés sur les animaux cibles à partir de graines, de tourteaux, de plantes entières fraîches ou ensilées apparaissent beaucoup plus complets, plus longs et beaucoup plus fiables que ceux effectués ou publiés sur animaux de laboratoire.

2 / Bénéfices potentiels des plantes GM pour les animaux

La compilation des résultats expérimentaux présentés dans cet article, arrêtée au 30 octobre 2001, fait apparaître peu de bénéfices directs de l'utilisation des plantes GM actuellement disponibles en alimentation animale.

Ainsi, les données sont encore trop fragmentaires pour affirmer que l'incorporation du gène *ssa* (sunflower seed albumin, conduisant à l'enrichissement en méthionine du lupin) est porteuse d'une amélioration de sa valeur alimentaire. En revanche, le maïs résistant à la pyrale est significativement moins contaminé par les mycotoxines, mais de façon variable selon les conditions culturales et la nature des mycotoxines (tableau 7). Ces toxines sont soupçonnées d'effets délétères

INRA Productions Animales, mai 2002

sur la croissance des jeunes porcelets, mais leurs effets physiologiques sont encore insuffisamment documentés (Piva *et al* 2001ab), et variables suivant les années. Ils sont toutefois susceptibles de concerner non seulement les animaux de ferme mais également l'homme. Des recherches complémentaires méritent donc d'être entreprises dans ce domaine pour confirmer les tendances très favorables révélées par l'analyse ou par l'expérimentation sur animaux cibles.

Les avantages d'un maïs génétiquement modifié pour une faible teneur en phosphore phytique, sans réduction notable de la teneur en phosphore total, ont récemment attiré l'attention des nutritionnistes spécialistes du métabolisme du phosphore (Spencer *et al* 2000ab). Une augmentation considérable (de trois fois) de la digestibilité du phosphore total du maïs pauvre en phytates conduit à une réduction de la quantité de phosphore excrété et, partant, à l'hypothèse d'une possible réduction de la quantité de phosphore minéral à ajouter à la ration pour satisfaire les besoins de l'animal lors de sa période de croissance (tableau 8). L'augmentation significative concomitante de la solidité des os et de leur teneur en minéraux confirme une amélioration de la bio-disponibilité du phosphore du maïs grain GM. De tels résultats, qui pourraient être confirmés sur d'autres espèces animales comme le poulet, sont à la fois :

- prometteurs pour l'avenir d'une modification de la composition chimique des aliments

Tableau 8. Avantages d'un maïs génétiquement modifié pour une faible teneur en phosphore phytique (gène *Lpa1-1*) chez le porc (adapté de Spencer et al 2000ab).

Maïs	Témoin		Modifié (<i>Lpa1-1</i>)	
P, phytate (%)	0,20		0,10	
P, autre (%)	0,05		0,18	
P ajouté (%)	0	0,2	0	0,2
P consommé (g / j)	2,52	4,6	3,04	4,20
P excrété (g / j)	2,20	2,64	1,66	2,64
Digestibilité (%)	16,1	46,0	48,4	54,8

Tableau 9. Production et composition du lait chez la vache consommant régulièrement du soja ou du maïs génétiquement modifié (Gly : résistance au glyphosate, Bt : résistance aux insectes).

Aliment (% de la MS)	Graine de soja (10 %)		Maïs (ensilage 62 % + grain 17 %)		Maïs ensilage (70 %)	
Génotype	Témoin	Gly	Témoin	Gly	Témoin	Bt 176
Lait (kg / j)	34,1 ^a	36,6 ^b	29,5	29,4	31,5	31,8
Composition (g/kg)						
Matières grasses	33,7	36,2	36,1	35,5	36,9	36,8
Protéines	32,8	32,9	32,5	32,5	32,0	31,8
Caséines	-	-	-	-	24,9	24,8
Lactose	47,2	47,5	47,2	47,0	-	-
Référence	Hammond <i>et al</i> 1996		Donkin <i>et al</i> 2000		Barrière <i>et al</i> 2001	

a, b = différence significative entre traitements.

destinés aux animaux par des techniques appropriées de génie génétique ;

- indicateurs définitifs de la nécessité de montrer la sécurité (la toxicité éventuelle), les avantages et les inconvénients des plantes génétiquement modifiées sur les espèces animales cibles. En effet, comment interpréter en termes de sécurité alimentaire ou d'équivalence nutritionnelle une augmentation de la solidité des os chez le rat ?

3 / Aliments GM, qualité et sécurité des produits animaux

Les données sur les conséquences de la consommation de plantes ou de graines issues de plantes génétiquement modifiées sont encore peu nombreuses. Les préoccupations actuelles sur la sécurité des aliments conduisent à recommander d'effectuer un minimum de vérifications sur chaque nouvelle construction génétique.

3.1 / Qualité des produits animaux

Il n'existe aucun règlement spécifique dans les instances internationales ou dans la Communauté Européenne concernant les effets possibles de la consommation d'OGM sur la qualité des produits animaux. Toutefois, et d'une façon générale, les caractéristiques des carcasses, des tissus et des viandes n'ont pas été modifiées, comme le laissent prévoir les données de composition chimique et les résultats nutritionnels observés chez les poulets, les porcs et les bovins. La composition des muscles de poulet n'a pas été affectée. D'autres données d'ordre biolo-

gique et physiologique chez la vache laitière garantissent l'absence d'effets métaboliques des betteraves résistantes au glyphosate (Weisberg *et al* 2001).

L'absence de différences de composition chimique et de valeur alimentaire, associée à des quantités identiques d'aliment consommé ne laissent pas augurer de modification significative de la composition corporelle et, partant, de la composition de la viande. Les données de composition du lait de vache permettent une conclusion similaire, sans doute définitive compte tenu de l'homogénéité et de la cohérence des résultats entre les expérimentations publiées sur diverses constructions génétiques (tableau 9).

Ainsi, même dans l'hypothèse d'une augmentation significative et probablement fortuite de la production de lait chez les vaches recevant les graines de soja résistant au glyphosate, les teneurs en matière grasse, protéines et lactose ne sont pas modifiées. Les propriétés technologiques du lait (temps de coagulation, fermeté du caillé) des vaches recevant depuis plusieurs mois du maïs génétiquement modifié n'ont pas non plus été affectées par la nature de l'aliment (Barrière *et al* 2001). De telles hypothèses avaient été formulées dans la revue de Faust (2000) concernant la vache laitière recevant de l'ensilage de maïs Bt 176 ou Bt 11, résistant aux insectes.

3.2 / Sécurité de la construction génétique

La mise en évidence de fragments d'ADN du phage M13 "étranger" dans de nombreux tissus de la souris (foie, rate, lymphocytes)

Les différentes plantes GM testées n'ont pas modifié les caractéristiques des carcasses et des viandes et la composition du lait.

après administration orale a constitué un argument scientifique important à prendre en compte pour l'évaluation de la sécurité des OGM et de leurs produits dérivés (Schubbert *et al* 1997). Ces travaux, qui montrent également la disparition des résidus dans les 24 heures suivant l'arrêt de la distribution, n'éclairent toutefois pas sur la signification biologique de la présence d'ADN étranger dans les tissus. L'absence de fragments d'ADN ainsi que de la protéine CRY 1A (b) d'origine Bt dans le foie et la rate, dans le lait de vache, et encore dans les muscles rouges et des muscles blancs du poulet comme du jaune et du blanc d'œuf de poule a rassuré les expérimentateurs. L'absence d'ADN d'origine végétale dans les tissus et le lait de vache a confirmé ces résultats (Faust 2000). De même l'absence de fragments d'ADN Bt a été récemment rapportée dans le lait de vaches nourries à base de maïs Bt MON 810 (Phipps *et al* 2001). Par ailleurs Glenn (2001), utilisant plusieurs techniques d'amplification, confirme l'absence d'ADN Bt, aussi bien que l'absence de la protéine spécifiquement codée par la modification de la plante, dans les mêmes produits animaux. Ces données ont été récemment complétées par la démonstration de l'absence de résidu d'ADN CP4 EPSPS dans la peau, les muscles, le duodénum et le foie de poulets ayant reçu pendant 7 semaines du soja résistant au glyphosate (Khumnidpetch *et al* 2000). Elles constituent un résultat tout à fait prévisible tenant compte des très faibles quantités d'ADN étranger consommées par jour et par animal, qui représente 100 000 fois moins que la totalité de l'ADN ingéré par la vache (Beever et Kemp 2000).

Toutefois, les résultats peuvent toujours être discutés en tenant compte de la sensibilité et du seuil de détection des méthodes utilisées. Ainsi, les résultats de Einspanier *et al* (2001) montrent encore l'absence de fragments d'ADN Bt (< 200 pb) dans les produits animaux, lait et tissus des principaux organes et des muscles, mais observent leur présence dans les contenus intestinaux. En revanche, quelle que soit la nature du maïs -modifié ou non-distribué aux animaux, on a mis en évidence la présence de fragments d'ADN végétal de maïs, d'origine chloroplastique, dans les excréta ainsi que dans les muscles du poulet et, dans une moindre mesure, dans le lait de vache. Cependant, la signification biologique de la présence de tels produits dans les tissus animaux est encore inconnue, et il n'a jamais été démontré que l'ADN d'origine végétale puisse être incorporé au génome animal alors que les herbivores consomment des plantes et de l'ADN depuis leur apparition sur la terre ! En conséquence, la démonstration de la sécurité alimentaire d'un produit pour les animaux ne saurait se baser sur de telles données.

Conclusions

Sur la base d'une récapitulation et d'une interprétation scrupuleuse des résultats de la littérature scientifique, on peut affirmer que l'équivalence de composition chimique (équivalence en substance) des plantes GM approuvées pour leur diffusion dans l'environnement a toujours été démontrée. Ces

tests peuvent être considérés comme nécessaires mais probablement pas suffisants. Toutefois, on se trouve dans l'incapacité d'appliquer aux aliments les mêmes tests que ceux définis pour évaluer la toxicité des substances chimiques, des médicaments et même de certains additifs alimentaires. Les aliments issus de plantes GM peuvent en effet constituer jusqu'à 90 % de la ration de certains animaux de ferme durant la plus grande partie de leur vie. Il semble donc nécessaire d'effectuer des tests sur de tels animaux, consommateurs primaires des plantes GM. Ces tests permettent d'envisager l'évaluation de la toxicité éventuelle simultanément de l'ADN introduit, de la protéine exprimée et des résidus des traitements des plantes par les pesticides lors de leur vie végétative.

Sur la base des données disponibles dans les publications, il ne nous paraît pas raisonnable de recommander seulement des tests *in vitro*, même complétés par des tests sur animaux de laboratoire dont on aura du mal à définir la durée, les paramètres, le type d'animal à utiliser et, enfin, la signification des résultats pour l'animal de ferme ou pour l'homme.

En amont de l'aliment, il paraît nécessaire de conserver les tests de dégradation enzymatique et les tests de toxicité sur substances pures ou purifiées (protéines, ADN), au titre des vérifications préalables à l'utilisation d'un gène ou d'une construction génétique.

Du point de vue du nutritionniste, les tests sur animaux cibles pendant une durée facile à définir à partir de la durée de vie du poulet, du porc, de la vache laitière ou du bovin à viande, nous paraissent à la fois efficaces et jusqu'à présent d'une très grande cohérence au vu des résultats observés par les différents auteurs. Les nutritionnistes peuvent donc proposer leurs méthodes d'évaluation de la valeur alimentaire des aliments (équilibre en protéines, acides aminés, lipides, acides gras ...), de la disponibilité des nutriments ou de la valeur énergétique, des conséquences sur la composition corporelle, sur la composition des œufs ou du lait. On aboutirait ainsi, à l'appui des tests de composition chimique, à la notion d'équivalence nutritionnelle. Ces tests peuvent alors permettre, en plus de l'évaluation de la toxicité ou plus précisément de la salubrité des plantes GM et de leurs dérivés, de mettre en évidence les avantages ou les inconvénients éventuels des nouvelles constructions génétiques.

Enfin, les méthodes utilisées pour démontrer l'équivalence, l'efficacité et la sécurité des plantes GM des premières générations peuvent être proposées pour tester, chez les animaux de ferme, les plantes GM de deuxième génération dont la composition chimique (augmentation de la teneur en protéines et en acides aminés) sera fortement modifiée.

Cette étude a été réalisée à l'occasion du colloque international OGM et Alimentation, organisé par l'Afssa, Institut Pasteur 17-18 décembre 2001.

Références

- Aulrich K., Flachowsky G., 2001. Assessment of novel feeds in animal nutrition. *J. Anim. Sci.* 79, Suppl. 1,115 (Abs. 477).
- Aulrich K., Böhme H., Daenicke R., Halle I., Flachowsky G., 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition. 1st communication: *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch. Anim. Nutr.*, 54, 183-195.
- Aumaitre A., Aulrich K., Chesson A.C., Flachowsky G., Piva G., 2002. New feeds from genetically modified plants: substantial equivalence, nutritional equivalence, digestibility, and safety for animals and the food chain. *Livest. Prod. Sci.* In press.
- Barrière Y., Vérité R., Brunschwig P., Surault F., Emile J.C., 2001. Feeding value of corn silage estimated with sheep and dairy cows is not altered by genetic incorporation of Bt 176 resistance to *Ostrinia nubilalis*. *J. Dairy Sci.*, 84, 1863-1871.
- Beever D.E., Kemp C.F., 2000. Safety issues associated with the DNA in animal feeds derived from genetically modified crops. A review of scientific and regulatory procedures. *Nutr. Abst. Rev.*, 70, 175-182.
- Böhme H., Aulrich K., Daenicke R., Flachowsky G., 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition: 2nd communication: Glufosinate tolerant sugar beets (Roots and silage) and maize grains for ruminants and pigs. *Arch. Anim. Nutr.*, 54, 197-207.
- Brake J., Vlachos P., 1998. Evaluation of transgenic event 176 "Bt" corn in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 77, 648-653.
- Cahagnier B., Melcion D., 2000. Mycotoxines de *Fusarium* dans les maïs-grains à la récolte: Relation entre la présence d'insectes (pyrale, sésamie) et la teneur en mycotoxines. *Proc. 6th Inter. Feed. Conf. Piacenza*, 27-28 Nov., 237-249.
- Castillo A.R., Gallardo M.R., Maciel M., Giordano J.M., Conti G.A., Gaggitti M.C., Quaino O., Gianni C., Hartnell G.F., 2001a. Effect of feeding dairy cows with either Bollgard, Bollgard II, Roundup Ready or control cottonseeds on feed intake, milk yield and milk composition. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 413 (Abst. 1712).
- Castillo A.R., Gallardo M.R., Maciel M., Giordano J.M., Conti G.A., Gaggitti M.C., Quaino O., Gianni C., Hartnell G.F., 2001b. Effect of feeding dairy cows with cottonseeds containing Bollgard and Roundup Ready genes or control non-transgenic cottonseeds on feed intake, milk yield and milk composition. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 413 (Abst. 1713).
- Clark J.H., Ipharraguerre R., 2001. Livestock performance: Feeding biotech crops. *J. Dairy Sci.*, 84, (Suppl. E), E9-E18.
- Cromwell G., Lindemann M.D., Randolph J.H., Stanisiewski E.P., Hartnell G.F., 2001. Soybean meal from Roundup Ready or conventional soybeans in diets for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 318 (Abst. 1318).
- Donkin S.S., Velez J.C., Stanisiewski E.P., Hartnell G.F., 2000. Effect of feeding Roundup Ready corn silage and grain on feed intake, milk production and milk composition in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 83, Suppl. 1, 273 (Abst. 1144).
- Einspanier R., Klotz A., Kraft J., Aulrich K., Poser R., Schwägle F., Jahrheis, Flachowsky G., 2001. The fate of forage plant DNA in farm animals: A collaborative case-study investigating cattle and chicken fed recombinant plant material. *Eur. Food Res. Techn.*, 212, 129-134.
- Faust M., 2000. Livestock products: composition and detection of transgenic DNA/proteins. *Proc. Symp. Agri. Biotech. Market ADAS ASAS. Ed. Baltimore Md, USA*, 29 p.
- Faust M., 2002. New feeds from genetically modified plants: the US approach to safety for animals and the food chain. *Livest. Prod. Sci.* In press.
- Faust M., Sprangler S.M., 2000. Nutritive value of silage from MON810 Bt and non-Bt near-isogenic corn hybrids. *J. Anim. Sci.*, 78, Suppl. 1, 1184 (Abst. 301).
- Fearing P.L., Brown D., Vlachos D., Meghin M., Privalle L., 1997. Quantitative analysis of CryIA(b) expression in Bt maize plants, tissues, and silage and stability of expression over successive generations. *Molecular Breeding*, 3, 169-176.
- Folmer J.D., Grant R.J., Milton C.T., Beck J.F., 2000. Effect of Bt corn silage on short-term lactational performance and ruminal fermentation in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 83, Suppl. 1, 1182 (Abst. 272).
- Gaines AM., Allee G.L., Ratliff B.W., 2001a. Nutritional evaluation of Bt (MON810) and Roundup Ready corn compared with commercial hybrids in broilers. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 51 (Abst. 214).
- Gaines A.M., Allee G.L., Ratliff B.W., 2001b. Swine digestible energy evaluation of Bt (MON810) and Roundup Ready corn compared with commercial varieties. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl.1, 109 (Abst. 453).
- Glenn K., 2001. Is DNA or protein from feed detected in livestock products?. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl.1, 55 (Abst. 230).
- Hammond B.G., Vicini J.L., Hartnell G.F., Naylor M.W., Knight C.D., Robinson E.H., Fuchs R.L., Padgett S.R., 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.*, 126, 717-727.
- Hashimoto W., Momma K., Yoon H.J., Ozawa Y., Ishige T., Kito M., Utsumi S., Murata K., 1999. Safety assessment of transgenic potatoes with soybean glycinin by feeding studies in rats. *Bioscience Biotech. Biochem.*, 63, 1942-1946.
- Hendrix K.S., Petty A.T., Logfren D.L., 2000. Feeding value of whole plant silage and crop residues from Bt or normal corns. *J. Dairy Sci.*, 83, Suppl. 1, 273 (Abst. 1146).
- Holweg U., Schubert R., Doerfler W., 2000. Fremde DNA überwindet die Darm-Blut- und Plazentaschranke. *Bioforum*, 3/2000, 120-122.
- Kan C.A., Versteegh H.A.J., Uijttenboogaart T.G., Reimert H.G.M., Hartnell G.F., 2001. Comparison of broiler performance and carcass characteristics when fed B.t. parental control or commercial varieties of dehulled soybean meal. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 203 (Abst. 841).
- Khumnirdpetch V., Intrarachote U.Y., Treemanee S., Tragooonroong S., Thumabood S., 2001. Detection of GMOS in the broilers that utilized genetically modified soybeanmeals as a feed ingredient. http://www.inttl-pagtaracts/P08_38html
- Maertens L., Luzi F., Huybrecht L., 1996. Digestibility of non-transgenic and transgenic oilseed rape in rabbits. VI th. World Rabbit Congress, Toulouse, 231-235.
- Maierhofer R., Rutzmoser K., Obermair A., Zeus H.G., Mayer J., 2000. Einsatz von Maisilage aus genetisch veränderten Maissorten in der intensiven Bullenmast. *BL Tierzucht. Grub Gruber Info.*, 3, 43-46.
- Molvig L., Tabe L.M., Eggum B.O., Higgins T.J.V., 1997. Enhanced methionine levels and increasing nutritive value of seeds of transgenic lupins (*Lupinus angustifolius* L.) expressing a sunflower seed albumin gene. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 94, 8393-8398.
- Momma K., Hashimoto W., Yoon H.J., Ozawa S., Fukuda Y., Kawai S., Takaiwa F., Utsumi S., Murata K., 2000. Safety assessment of rice genetically modified with soybean glycinine by feeding studies on rats. *Bioscience Biotech. Biochem.*, 64, 1881-1886.

- Munkvold G.P., Hellmich R.L., 1999. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non transgenic hybrids. *Plant Disease*, 83, 130-138.
- Padgett S.R., Taylor N.B., Nida D.L., Bailey M.R., McDonald J., Holden L.R., Fuchs R.L., 1996. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. *J. Nutr.*, 126, 702-716.
- Pascal G., 1996. Evaluation de la sécurité alimentaire des plantes transgéniques. In : A. Kahn (ed), *Les plantes transgéniques*. John Libbey Eurotext, Rome, Italie, 165 p.
- Phipps R.H., Beever D.E., Tingey A.P., 2001. Detection of transgenic DNA in bovine milk: results for cows receiving a TMR containing maize grain modified for insect protection (MON810). *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 114-115 (Abst. 476).
- Piva G., Morlacchini M., Pietri A., Piva A., Casadei G., 2001a. Performance of weaned piglets fed insect protected (MON810) or near isogenic corn. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 106 (Abst. 441).
- Piva G., Morlacchini M., Pietri A., Rossi F., Prandini A., 2001b. Growth performance of broilers fed insect protected (MON810) or near isogenic control corn. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 320 (Abst. 1324).
- Puzstai A., Grant G., Bardocz S., Alonsio R., Chrispels M.J., Schroeder H.E., Table L.M., Higgins T.J.V., 1999. Expression of the insecticidal bean *amy* gene in transgenic maize has minimal detrimental effect on the nutritional value of peas fed to rats at 30 % of the diet. *J. Nutr.*, 129, 1597-1603.
- OECD, 1996. *Food Safety Evaluation*. OECD Paris, 180 p.
- OECD, 2000. *GM Safety*. Edinburgh Conference 28 Feb- 1st March. Final Proceeding.
- Reuter T., Aulrich K., Berk A., Flachowsky G., 2001. Nutritional evaluation of Bt-corn in pigs. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 260 (Abst. 1073).
- Schubert R., Reuz D., Schmitz B., Doerfler W., 1997. Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leucocytes, spleen and liver via the intestinal wall mucosa and can covalently linked to mouse DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 94, 961-966.
- Sidhu R.S., Hammond B.G., Fuchs R.L., Mutz J.N., Holden L.R., Georg B., Olson T., 2000. Glyphosate-tolerant corn: The composition and feeding value of grain from glyphosate-tolerant corn is equivalent to that of conventional corn (*Zea mays* L.). *J. Agri. Food Chem.*, 48, 2305-2312.
- Song C., JunQi H., Baoliang Z., WanChao N., ZhenLing Z., XinLian S., XingJun X., LiMei G., Sheng L., 1996. A safety assessment of feeding rats and quails with cottonseed meal from Bt-transgenic cotton plants. *Jiangsu J. Agric. Sci.*, 12, 17-22.
- Spencer J.D., Allee G.L., Sauber T.E., 2000. Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. *J. Anim. Sci.*, 78, 675-681.
- Spencer J.D., Allee G.L., Sauber T.E., 2000. Growing finishing performance and carcass characteristics of pigs fed normal and genetically modified low phytate corn. *J. Anim. Sci.*, 78, 1529-1536.
- Stanisiewski E.P., Hartnell G.F., Cook D.R., 2001. Comparison of swine performance when fed diets containing Roundup Ready corn (GA21) parental lines or conventional corn. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 319 (Abst. 1322).
- Taylor M.L., Hartnell G.F., Nemeth M.A., George B., Astwood J.D., 2001a. Comparison of broiler performance when fed Yieldgard corn, Yieldgard and Roundup Ready corn, parental lines, or commercial corn. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl. 1, 319 (Abst. 1321).
- Taylor M.L., Hartnell G.F., Nemeth M.A., George B., Astwood J.D., 2001b. Comparison of broiler performance when fed diets containing Roundup Ready corn event NK603 parental line, or commercial corn. *J. Anim. Sci.*, 79, Suppl.1, 320 (Abst. 1323).
- Tutel'yan V.A., Kravchenko L.V., Lashnera N.V., Avren'eva L.I., Guseva G.V., Sorobina E.Y., Chernysheva O.N., 1999. Medical-biological evaluation of the safety of protein concentrate obtained from genetically modified soybean. *Biochemical investigation*. *Voprosy Pitaniya*, 68, 9-12.
- Weber T.E., Richert B.T., Kendall D.C., Bowers K.A., Herr C.T., 2000. Grower-finisher performance of pigs fed genetically modified "Bt" corn. <http://www.ansc.purdue.edu/swine/swineday/sday00/psd07-2000.html>
- Weibjerg M.R., Hvelplund T., Purup S., Vestergaard M., Sjerksen K., 2001. Genetically modified beets and beet pulp as feeds for ruminants. Experiments with sheep and dairy cattle at Reseach Center Foulum, Denmark. *Inter. Symp Nitra*, Slovak Rep. 19-20 Sept. 2001, 2 p.

Abstract

New feeds from genetically modified plants: substantial equivalence, nutritional equivalence and safety for animals and animal products.

Novel feedstuffs must be rigorously assessed for their safety for farm animals and further for the human food chain. Several publications in the scientific literature have recently reported data from experimental tests performed on laboratory animals, then on poultry, pig and ruminants species.

A review of the most recent results concerning GM maize, soybean, sugar- and fodder beet, peas, cotton, potatoes and lupine has been undertaken. Toxicological studies performed up to 28 days on rats failed to demonstrate any detrimental effects on performance, metabolism and histo-pathological traits.

Complementary data concerning herbicide or insect tolerant GM plants fed to chickens and pigs during their all life have confirmed the nutritional equivalence predicted by chemical analysis. Dairy cows fed whole maize plants and long term-feeding trials conducted on fattening bulls reinforced these results. The composition and the quality of milk and meat was not affected by feeding GM plants.

Appropriate experimental procedures can be proposed to test the safety and the nutritional value of new GM feedstuffs for farm animals.

AUMAITRE L.A., 2002. Les aliments issus de plantes génétiquement modifiées : équivalence, efficacité et sécurité chez les animaux de ferme. *INRA Prod. Anim.*, 15, 97-108.