

BILAN AGRO-ÉCONOMIQUE DES CULTURES TRANSGENIQUES AUX ÉTATS-UNIS: LE CAS DU SOJA TOLERANT A UN HERBICIDE, LE GLYPHOSATE

AGRO-ECONOMIC ASSESSMENT OF TRANSGENIC CROPS IN THE UNITED STATES: THE CASE OF HERBICIDE TOLERANT SOYBEAN

S. BONNY

INRA, UMR d'Économie Publique, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon

RESUME

Les premières cultures transgéniques datant de 1996, l'article cherche à en établir un bilan au niveau agro-économique en prenant le cas du soja tolérant à l'herbicide glyphosate, culture transgénique actuellement la plus répandue dans le monde et aux États-Unis étudiés ici. Le travail a notamment reposé sur l'acquisition, l'examen critique et l'analyse des données disponibles sur les résultats des premières années de production. On a cherché à comparer les cultures transgéniques aux conventionnelles en matière d'intrants utilisés, de rendements, de marges, de contraintes et/ou facilités culturales, de certains aspects environnementaux et de divers avantages et inconvénients. L'analyse fait apparaître une grande variabilité des résultats selon les conditions locales, ainsi qu'une évolution au cours du temps. Pour les agriculteurs américains qui l'utilisent, l'intérêt du soja transgénique ne paraît pas tenir à de seules considérations comptables sur les coûts ou la marge : si, malgré le surcoût des semences, la marge est assez souvent un peu améliorée par de moindres charges en traitements et/ou un rendement légèrement

plus élevé, d'autres facteurs jouent. Il convient ainsi de prendre en compte les interactions entre les activités et les productions au sein des exploitations, les interactions entre techniques, les variations inter annuelles... Par ailleurs, l'analyse doit considérer la dynamique d'évolution d'ensemble, ici par exemple baisse des cours du soja, diminution de prix des autres herbicides, modification d'autres techniques et évolution générale des exploitations et du contexte. L'extension rapide du soja transgénique provient notamment de la plus grande facilité et flexibilité du désherbage qu'il permet (du moins à court terme). Ce travail financé par l'AIP durant une année s'est poursuivi et doit encore se poursuivre en raison du temps pour disposer des nombreuses données indispensables à une analyse suffisamment approfondie. Cette continuation est d'autant plus nécessaire que la situation des cultures transgéniques évolue avec divers processus en cours : problèmes d'acceptabilité influant sur les débouchés à l'exportation, poursuite des controverses, perspectives des applications de la génomique, etc.

SUMMARY

As the first transgenic crops date from 1996, the paper tackles an assessment of them at the agro-economic level. It takes the case of glyphosate-tolerant soybean, which is currently the most widespread transgenic crop in the world as well as in the United States, where it is studied here. Our work is more particularly based on the acquisition, the critical examination and the analysis of the available data on the results of the first production years. We sought to compare the transgenic crops with the conventional ones as regards the inputs used, the yields, the margins, the farming constraints and/or easiness, certain environmental aspects and the various advantages and disadvantages. The analysis reveals a great variability in the results according to local conditions, as well as an evolution in time. For the American farmers who use it, the interest of transgenic soybean does not appear to be based only on accounting considerations about the costs or the margin. Indeed, in spite of the extra cost of the seeds, the margin is quite often improved a little by less expenses on herbicide treatments and/or a slightly higher yield, but other factors

come into play. So, one should also take into account the interactions between farm activities and productions within the farms, the interactions between techniques, the inter-annual variations... In addition, the analysis must take into account the dynamics of the overall evolution, here for example the decrease in soybean prices and in the price of the other herbicides, change in some other techniques and the general evolution of the farms and of the context. The fast growth of transgenic soybean comes in particular from the fact that it allows an easier and more flexible weed control (at least in the short run). This work, funded by the AIP during one year, has continued and must still continue because of the time needed to gather the numerous essential data for a sufficiently thorough analysis. This continuation is all the more necessary as the situation of the transgenic crops is evolving with various ongoing processes: problems of acceptability influencing the outlets for export, continuation of the controversy on this topic, prospects of the applications of genomics, etc.

INTRODUCTION

Les cultures transgéniques ont progressé rapidement aux USA depuis leur introduction en 1996, en particulier pour le soja transgénique qui y occupait en 2001 plus des deux tiers des surfaces de soja. Dans le monde en 2000, il représentait plus de la moitié des superficies totales ensemencées en variétés transgéniques et, si pour les principales productions agricoles, la part de cultivars transgéniques était faible, souvent nulle en 2000, elle était déjà substantielle pour le soja avec 36 % de sa superficie mondiale en transgénique, ainsi que, dans une bien moindre mesure, pour le coton (16 % de transgénique), le colza (11 %) et le maïs (7 %).

Compte tenu de l'importance de cet OGM, il paraît utile de chercher à en faire un bilan en le comparant notamment à sa culture conventionnelle. Globalement, le soja est une culture fort importante aux États-Unis, où il occupe environ 30 Mha en 2001 et représente le premier poste à l'export de l'agriculture. Le soja transgénique tolérant à l'herbicide glyphosate (soja "Roundup Ready®", en abrégé soja RR) a été mis sur le marché en 1996 suite aux accords de licence entre Monsanto, qui fournit le caractère transgénique et divers semenciers produisant les nombreuses variétés où celui-ci est introduit. Sa surface a progressé rapidement aux États-Unis entre 1996 (moins de 0,5 Mha) et 2001 (20,7 Mha). Quels enseignements tirer de ces six premières années de culture ? Après avoir rappelé l'extension des OGM dans le monde et aux USA, on souligne divers problèmes méthodologiques que pose l'établissement d'un bilan. Puis on cherche à en faire un à l'échelle des exploitations en prenant en compte les résultats agro-économiques, les avantages et inconvénients de la culture et enfin divers aspects environnementaux. Dans le cadre de cet article, l'approche restera plutôt d'ordre technique sans entrer dans les considérations éthiques fréquemment associées à ces débats. Mais un tel exercice est difficile (de multiples facteurs interagissent) et risqué car tout propos sur ce sujet est susceptible de donner lieu à des interprétations diverses parfois éloignées du texte d'origine, voire à des déformations...

LES SURFACES EN CULTURES TRANSGENIQUES : UN BREF RAPPEL

Début 2001, il y avait 15 espèces transgéniques d'autorisées dans certains pays avec pour chacune un ou plusieurs types de caractères : tolérance à un herbicide, résistance à certains insectes ou à un virus, etc. Mais la répartition des OGM cultivés reste concentrée en termes d'espèces, de localisation

et surtout de caractères introduits (*Tableau 1*). La progression des surfaces en variétés transgéniques s'est poursuivie en 2001 d'après les premières estimations provisoires : près de 50 millions d'ha dans le monde.

Tableau 1. Répartition des surfaces en cultures transgéniques dans le monde en 2000 (Millions d'ha) (James, 2000).

<i>Par pays</i>	Mio ha	%	<i>Par espèce</i>	Mio ha	%	<i>Par caractère introduit</i>	Mio ha	%
USA	30,3	68	Soja	25,8	58	Tolérance à un herbicide (TH)	32,7	74
Argentine	10,0	23	Maïs	10,3	23	Résistance à des insectes (Bt)	8,3	19
Canada	3,0	7	Coton	5,3	12	<i>Résistance à des insectes et tolérance à un herbicide</i>	3,2	7
Chine	0,5	1	Colza	2,8	7			
Brésil	-	-	Pomme de terre	<0,1	<1	Résistance à un virus ou autre	<0,1	<1
Australie	0,2	<1	Courge	<0,1	<1			
Afrique du Sud	0,2	<1	Papaye					
TOTAL	44,2	100	Total	44,2	100	Total	44,2	100

Aux Etats-Unis les agriculteurs ont adopté rapidement le coton, le soja et le maïs transgéniques. Commercialisés à partir de 1996, ils occupaient déjà une proportion notable des surfaces en 2001 (*Tableau 2*) :

coton : 61 % de la surface était transgénique en 2000 (mais 82 % en Géorgie, 80 % en Louisiane, 78 % dans le Mississippi) et environ 69 % en 2001 (avec même 91 % en Louisiane, 86 % dans le Mississippi, 85 % en Géorgie).

soja : 54 % était transgénique en 2000 (Nebraska : 72 % ; Dakota du Nord : 68 % ; Kansas 66 % ; Indiana : 63 % ; Missouri : 62 %) et environ 68% en 2001 (Kansas : 80% ; Dakota du Sud : 80 %, Indiana : 78 % ; Nebraska 76 %).

maïs : 25 % transgénique en 2000 (Dakota du Sud : 48 % ; Minnesota : 37 % ; Nebraska : 34 % ; Kansas : 33 %) et environ 26 % en 2001 (Dakota du Sud 47 % ; Kansas : 38 % ; Minnesota : 36 % ; Nebraska : 34 %).

À cela s'ajoutent quelques autres cultures sur une surface moindre : colza tolérant à un herbicide, pomme de terre résistante au doryphore, etc. Notons que sont actuellement commercialisées des variétés non transgéniques tolérantes à un herbicide, par exemple du soja tolérant aux sulfonilurées (Synchrony) : on ne peut pas associer systématiquement variétés tolérantes à un désherbant et OGM.

Tableau 2. Proportion et superficie totale des principales cultures transgéniques aux États-Unis, de 1996 à 2001 (Source : USDA-ERS et USDA-NASS).

Cultures	% de leur surface en variétés transgéniques						% culture totale		Surface GM (Mha)	
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Soja RR	7,4	17	44,2	55,8	54	68	54	68	16,3	20,7
Maïs Bt *	1,4	7,6	19,1	25,9	19	19	} 25	} 26	8,1	8,0
Maïs TH*	3,0	4,3	9,0	8,0	7	8				
Coton Bt **	14,6	15	16,8	32,3	35	37	} 61	} 69	3,8	4,5
Coton TH**	2,2	10,5	26,2	42,1	46	56				

TH : tolérant à un herbicide ; **Bt** : variété résistante à certains insectes par la toxine Bt ; **GM** : génétiquement modifié

* une petite part du maïs transgénique (1 % du total en 2000 et 2001) comporte les deux caractères de résistance à la pyrale par la toxine Bt et de tolérance à un herbicide (deux nouveaux gènes ont été introduits). La surface totale (dans les 4 dernières colonnes) exclut les doubles comptes.

** une part du coton transgénique (20 % du total en 2000, 23 % en 2001) est à la fois résistant à certains insectes et tolérant à un herbicide. La surface totale dans les 4 dernières colonnes exclut les doubles comptes.

LES PROBLEMES METHODOLOGIQUES POUR ETABLIR UN BILAN

Pour faire un bilan du soja RR il est nécessaire de le comparer au soja conventionnel car les résultats d'une culture dans l'absolu, sans référence aux autres cultures ou types de culture possibles, ne sont guère parlants, ni pertinents. La mise en regard avec du soja en production biologique n'est pas possible car il ne représentait que 0,1 % du soja cultivé en 1997. Souvent, les comparaisons entre cultures portent sur les coûts de production ou la marge mais cela présente des limites : elles sont très liées aux rapports de prix qui peuvent varier assez nettement, donc leur validité est toujours contingente ; aussi est-il utile de les compléter par une analyse des quantités de moyens de production employés. De plus, une notion ancienne souvent oubliée est à rappeler : il faut considérer l'exploitation comme un système et éviter d'étudier une production isolément. En particulier, établir le coût d'une culture indépendamment des autres productions ou techniques possibles et du fonctionnement de l'ensemble de l'exploitation peut donner une vue erronée car cela néglige les interactions avec l'ensemble du système de production et divers coûts d'opportunité.

L'évaluation des OGM dans les exploitations pose divers problèmes méthodologiques, souvent peu pris en compte dans les controverses sur leurs résultats, mais analysés assez finement par plusieurs agro-économistes qui s'y sont essayés (Heimlich *et al.*, 2000 ; Lemarié, 2000 ; Marra, 2001 ; Lin *et al.*, 2001). Si l'on veut comparer variétés transgéniques et conventionnelles à partir de résultats recueillis par enquêtes dans les exploitations – et non seulement à partir de cultures expérimentales –, les écueils sont nombreux :

- biais éventuel des sources d'information disponibles sur ce sujet comme il est l'objet de vives controverses.
- difficulté méthodologique pour comparer les résultats de deux mêmes cultures, l'une transgénique, l'autre non, même dans le cas où elles sont toutes deux présentes sur la même exploitation. En effet, en général ce ne sont pas les mêmes variétés isogéniques (ayant seulement une différence dans le(s) gène(s) introduit(s) par transgénèse) qui sont utilisées, ni les mêmes itinéraires techniques qui sont suivis. Les agriculteurs cherchent plutôt à utiliser des variétés transgéniques, ou non, selon leurs intérêts relatifs dans les diverses situations. Par ailleurs, pour une même production, un agriculteur utilise souvent 5 ou 6 variétés, certaines pouvant être transgéniques, d'autres non (Barnes, 2000). Il est donc difficile de séparer l'effet "OGM" d'autres effets comme la variété, les pratiques culturales, le contexte agro-pédoclimatique, etc.
- nombreux biais possibles si l'on compare cultures transgéniques et non transgéniques dans des exploitations différentes car de nombreux autres critères que le caractère OGM ou non différencient les résultats. Il existe en effet une grande variabilité des conduites culturales et des résultats selon les caractéristiques socio-économiques des exploitations et les conditions agro-pédoclimatiques. En matière de conduite culturale, de très nombreux facteurs influent sur le rendement et la marge d'une culture ; par exemple, pour le soja : l'espacement des rangs, la date et la densité de semis, le choix d'un travail du sol réduit ou non, la variété (en 2000, plus de 3000 disponibles). Le pourcentage de la surface de soja transgénique varie d'ailleurs assez nettement selon les états américains car leur intérêt y est variable : dans les 14 premiers états producteurs de soja, la part des cultivars transgéniques de soja allait en 2001 de 49 % à 80 %.

A partir, entre autres, d'enquêtes effectuées soit par l'USDA sur de vastes échantillons par tirage au sort de parcelles, soit auprès d'agriculteurs sur des échantillons plus réduits, soit par modélisation, divers travaux économiques américains ont cherché à étudier les résultats des premières cultures transgéniques. Quelques chercheurs ont établi ensuite des synthèses à partir de ces données (CE, 2000 ; Fulponi, 2000 ; Lemarié, 2000 ; Marra, 2001 ; Nelson, 2001 ; CGP, 2001). Nous avons pour notre part utilisé les résultats de ces travaux, les informations provenant de Newsletters et de sites Internet spécialisés (notamment ceux des services de vulgarisation agricole de diverses universités), ainsi que des informations obtenues auprès de personnes ayant séjourné dans des exploitations agricoles américaines. Nous avons ainsi recueilli d'assez nombreuses données sur les résultats des cultures transgéniques comparées aux conventionnelles, puis nous en avons fait une synthèse en cherchant à expliquer les éventuels écarts entre eux. L'objectif était d'effectuer un bilan qui ne soit pas seulement économique, mais aussi agro-économique, et qui intègre diverses dynamiques en jeu dans ce domaine en évolution rapide. Mais cela demeure une esquisse d'évaluation globale qui doit être approfondie et poursuivie.

ESQUISSE DE BILAN AVANTAGES / INCONVENIENTS DU SOJA "ROUNDUP READY®".

En France dans les débats sur les OGM, les plantes tolérantes à un herbicide sont souvent accusées de servir surtout les intérêts des firmes agrochimiques en accroissant leurs ventes. Pour contrôler les adventices – qui peuvent affecter fortement la production – l'agriculteur utilisera en effet la culture tolérante à un herbicide et cet herbicide total qui détruira toutes les autres plantes, au lieu d'employer une variété conventionnelle et divers herbicides sélectifs (d'autres moyens de contrôle comme des techniques culturales, le sarclage, etc. sont aussi employés en complément). Vu de l'extérieur, l'intérêt du soja RR est souvent jugé bien faible. Mais les études menées aux États-Unis montrent qu'une variété TH peut présenter aussi des avantages pour l'agriculteur car cela simplifie le désherbage. Par ailleurs, cela requiert généralement un nombre plus faible de traitements et souvent le remplacement de plusieurs matières actives herbicides par une seule susceptible d'avoir un meilleur profil toxicologique : dans ce cas, il y a possibilité d'un intérêt collectif. Enfin il ne faut pas oublier les répercussions de la concurrence entre produits et entre firmes au sein du secteur agrochimique.

Quel bilan peut-on esquisser des avantages et inconvénients du soja RR ? Le tableau 3 donne une vue d'ensemble en la matière, qui doit être affinée dans chaque situation car tous les aspects positifs ou négatifs ne sont pas présents simultanément. L'un des premiers intérêts du soja RR pour les agriculteurs provient notamment du fait qu'il simplifie, du moins à court terme, le désherbage. Auparavant, les agriculteurs utilisaient plusieurs herbicides et diverses adventices restaient difficiles à contrôler. La culture transgénique permet une gestion plus facile du désherbage car un seul produit peut suffire. Par ailleurs, la période où l'on peut traiter est un peu plus longue, ce qui permet une plus grande flexibilité du travail et diminue le risque d'intervenir trop tard si les conditions météorologiques empêchent de traiter à la période adéquate. L'agriculteur a ainsi une plus grande sécurité économique dans la gestion du désherbage, ce qui est important dans le contexte américain. De plus, les herbicides utilisés naguère étaient pour certains assez rémanents et pouvaient affecter les cultures suivantes et même le soja lui-même (UIUC, 1999 ; Carpenter & Gianessi, 1999, 2000, 2001 ; Bullock & Nitsi, 2001 ; Nelson, 2001).

Avant les variétés transgéniques, en 1995, le soja recevait en moyenne 1,8 traitements herbicides correspondant à 2,7 matières actives différentes (41 % des surfaces recevaient un traitement, 44 % deux traitements, 12 % trois traitements) (USDA-ERS AREI, 2000). Avec le soja transgénique le nombre de traitements a été assez souvent réduit, en particulier dans la région Nord du Midwest (Heimlich *et al.* 2000). Cette réduction est difficile à chiffrer compte tenu de la diversité des pratiques selon les adventices présentes et du fait que le glyphosate est (et était déjà avant 1996) utilisé aussi avec des variétés non transgéniques, notamment en cas de semis sans labour : les statistiques disponibles ne permettent pas de distinguer les divers types d'usage. La diffusion du soja RR a donc entraîné la substitution partielle du glyphosate aux autres désherbants. Pour limiter leurs pertes de marché et rester concurrentielles, les firmes agrochimiques qui les produisaient ont nettement baissé leurs prix à partir de 1996, d'où une réduction globale des coûts des traitements herbicides pour tous les producteurs de soja qu'ils utilisent des variétés transgéniques ou non (Lemarié, 2000 ; Bullock & Nitsi, 2001), mais le cours du soja a aussi diminué entre 1996 et 2000.

Tableau 3. Éléments du bilan des intérêts et limites du soja tolérant au glyphosate

Avantages potentiels	Inconvénients potentiels
<p>1. agro-économiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - diminution assez fréquente du nombre de traitements herbicides - réduction du coût des traitements herbicides, d'où légère augmentation possible de la marge. - moindre risque économique de désherbage raté et plus grande flexibilité du travail (on peut traiter pendant une période un peu plus longue). - <i>gestion du désherbage souvent plus facile (un seul produit)</i> - réduction du temps de travail et d'utilisation du matériel pour les traitements en général. - <i>rotation des cultures plus facile : le glyphosate, non rémanent, ne nuit pas à la culture suivante contrairement à d'autres herbicides.</i> - <i>récolte plus propre (moins de graines d'adventices)</i> - s'associe bien avec les TCS (Techniques Culturelles Simplifiées) - <i>rendement similaire au soja conventionnel.</i> <p>2. environnementaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - glyphosate peu toxique ⇒ diminution de l'impact sur l'environnement des herbicides employés. - réduction (variable) du nombre de passages de tracteurs ou épandeurs. - souvent associé à TCS qui réduit l'érosion du sol. <p>3. sécurité sanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - le glyphosate vient en remplacement d'autres herbicides souvent plus toxiques, d'où réduction des risques. 	<p>1. agro-économiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - surcoût de la semence - marge assez similaire à celle en culture conventionnelle (le prix des autres herbicides ayant diminué) - plus grande dépendance envers les firmes d'agrofourriture si un contrat d'engagement stipule de ne pas réutiliser une part de récolte comme semence, et /ou d'utiliser le glyphosate préconisé et non un générique. - plus grande attention nécessaire envers les rotations et voisinage de chaque parcelle afin d'éviter les problèmes liés aux repousses (ou aux flux de gènes). - risque (faible) de polliniser des cultures de soja voisines, d'où contrainte (sinon responsabilité du producteur) - augmentation de la suspicion de certains consommateurs envers les produits agricoles. - d'où risque de difficulté parfois pour vendre ou exporter. <p>2. environnementaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - la croissance de l'emploi du glyphosate (OGM et TCS) pourrait induire plus tard l'apparition d'adventices résistantes à cet herbicide, d'où perte de la possibilité de l'utiliser alors que ce désherbant est peu toxique. <p>3. sécurité sanitaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - risque potentiel d'accumulation de métabolites de dégradation du glyphosate dans la plante ?

LES RESULTATS ECONOMIQUES DU SOJA RR PAR RAPPORT AU SOJA CONVENTIONNEL

On a cherché à l'analyser à partir des divers éléments entrant en jeu bien qu'il soit difficile de comparer la marge par ha ou les coûts de production des deux types de soja car il n'existe pas de cas moyen mais au contraire de multiples variations selon les situations locales, les années et les itinéraires techniques. En 1997, près de 354 700 exploitations produisaient du soja sur en moyenne plus de 75 ha chacune, une analyse serait donc nécessaire en divers contextes. Les facteurs différenciant les deux types de culture sont notamment :

le surcoût de la semence transgénique ou "technology fee". Il a varié selon les années et dépend aussi de la densité de semis car il est appliqué par sac de semence et est donc d'un montant plus élevé par ha en cas de semis plus dense, donc notamment en semis direct. Il variait en 1998-2000 entre 12,3\$/ha et 30\$/ha, ce qui renchérisait le coût de la semence d'environ 34-35 %. Le surcoût le plus bas (12,3 \$/ha) correspond plutôt à 1997-98 ; ensuite Monsanto a accru le "technology fee" mais baissé le prix du Roundup. En 2002, Monsanto va modifier sa politique de prix : les firmes semencières lui verseront directement le montant de la licence et vendront leurs semences aux farmers aux prix qu'elles souhaitent.

l'écart de coût des herbicides entre le soja RR et le soja conventionnel. Il dépend des adventices présentes, du nombre de traitements effectués et du coût des herbicides utilisés. Pour les conventionnels, la gamme est fort large et le coût variait de 10,9 \$/ha à 111\$/ha en 1998-99, mais les firmes ont beaucoup réduit leur prix depuis 1996. Pour le glyphosate, le coût est également variable selon le nombre d'épandages et selon sa formulation (environ 23,5 à 44,5\$/ha en 1998). Aux États-Unis Monsanto est resté propriétaire du brevet sur le glyphosate jusqu'en septembre 2000 où ce dernier est tombé dans le domaine public (ce qui avait eu lieu en 1991 dans divers autres pays). La firme conseille aux agriculteurs l'emploi de son produit avec le soja RR au lieu d'un générique, en

mettant l'accent notamment sur la nécessité d'avoir des adjuvants bien adaptés pour une bonne pénétration du glyphosate dans les feuilles. Monsanto compte faire face à la concurrence des génériques par la réputation de ses propres formulations, par ses coûts de production assez bas et par une croissance globale des volumes avec celle des cultures TH et des techniques de conservation des sols (TCS, Cf. *infra*).

l'écart du coût des épandages eux-mêmes dû à la diminution de leur nombre avec la formule Roundup Ready. Ces traitements étant effectués par l'agriculteur ou par des entreprises extérieures, l'économie réalisée varie.

l'écart de rendement entre soja RR et soja conventionnel. Des données parfois divergentes existent en la matière. On a parfois observé des rendements plus faibles avec le soja RR ; ailleurs son rendement a été un peu plus élevé. Comment interpréter ces différences qui ont suscité des polémiques (Benbrook, 2001, Elmore, 2001) ? Il semble que les rendements un peu plus faibles observés en divers lieux peuvent provenir du processus de mise au point et de production des semences des diverses variétés RR. Un soja tolérant au glyphosate ne présente d'intérêt que si cette nouvelle caractéristique s'ajoute à un bon cultivar, ce que les semenciers font par rétrocroisement. Mais cette opération peut parfois n'avoir pas été faite sur un nombre suffisant de générations car elle ralentit la mise sur le marché des nouvelles variétés. Aussi les nouvelles variétés RR n'ont quelquefois pas été aussi performantes que l'ensemble des autres cultivars de soja présents sur le marché (Lemarié, 2000 ; Carpenter, 2001 ; CGP, 2001), – qui continuent de leur côté d'être améliorés, avec une centaine de nouvelles variétés proposées chaque année (Barnes, 2000).

l'écart de prix entre soja RR et soja conventionnel. La marge d'une culture dépend fortement du prix du produit agricole. Là aussi, deux aspects antagonistes pourraient jouer : le soja RR pourrait être payé très légèrement plus cher si la récolte contient un peu moins d'impuretés et de graines d'adventices. Mais, à l'opposé, la montée de la demande, surtout extérieure, pour du soja non transgénique a commencé à faire apparaître une filière non OGM ; l'agriculteur s'y engageant peut bénéficier d'une prime mais cela requiert tout au long de la filière des mesures d'isolement et de séparation difficiles (Bullock & Desquilbet, 2001).

Le cas du maïs et du coton Bt

L'intérêt agro-économique des OGM pour les agriculteurs est fort variable selon le contexte économique et agro-pédoclimatique. Ainsi, le maïs Bt ne progresse pas aux États-Unis depuis trois ans. En effet, sa culture n'a d'intérêt économique que si la valeur du gain de rendement qu'elle peut permettre est supérieure au surcoût de la semence transgénique. Il sera donc intéressant d'utiliser du maïs Bt si la probabilité d'attaque par la pyrale et donc également, la perte de rendement, sont suffisamment fortes et le cours du maïs élevé ; sinon il n'est pas rentable de traiter ni d'utiliser une semence OGM. Or, ces pertes varient fortement selon les années et les régions aux États-Unis, mais ne peuvent pas être évaluées à l'avance. A partir d'une modélisation des baisses de rendement dues à la pyrale dans trois grands États entre 1943 et 1997, Bullock et Nitsi (in Nelson, 2001) ont établi que la perte variait de 0,5 % à 18% du rendement, avec une moyenne de 3,53 % (soit pour les années 1994 à 1998 environ 2,95 q/ha, pour un rendement moyen obtenu de 80,4 q/ha). Avant l'introduction du maïs Bt en 1996, seulement 3 à 5 % des surfaces de maïs étaient traitées par un insecticide contre la pyrale aux États-Unis. Les attaques de pyrale ayant été faibles en 1998 et 1999 et les cours du maïs bas en 1999 et 2000, les agriculteurs n'ont pas été incités à utiliser davantage de maïs Bt. Par contre les surfaces en coton Bt sont en forte progression (Tableau 2) car la pression des insectes ravageurs y est forte. Au niveau strictement économique, les cultures transgéniques ne sont adoptées que si une amélioration du produit brut (provenant d'un gain de rendement ou d'un prix de vente plus élevé en cas d'OGM à composition modifiée) et/ou une réduction des autres intrants compense bien le surcoût de la semence. Mais le niveau des dégâts de certains ravageurs étant mal connu à l'avance ainsi que l'évolution des cours, il convient de raisonner en termes de probabilité et de risque. D'autres éléments sont également à prendre en compte comme les débouchés qui influent sur les cours des produits agricoles.

À ces facteurs agissant directement sur la marge de l'agriculteur, s'ajoutent divers **autres effets indirects d'ordre agro-économique, parfois importants** :

la culture de soja RR va souvent de pair avec d'autres techniques comme une culture en rangs plus serrés ou les TCS (Barnes, 2000). Celles-ci se développent en raison de divers programmes

pour limiter l'érosion et préserver les sols : en 2000 près de 56 % du soja était cultivé ainsi (CTIC, 2000). Une enquête conduite auprès de 452 producteurs de soja montre une liaison entre l'adoption des TCS et du soja RR (ASA, 2001).

– **la diminution du risque d'un désherbage raté** : avec le soja RR la période où l'on peut épandre l'herbicide est un peu plus longue, ce qui est intéressant en cas d'intempéries ou de grandes surfaces. Mais un traitement trop tardif nuira au rendement.

la simplification du traitement herbicide et de la gestion du désherbage libère du temps pour d'autres activités. Cet aspect difficilement chiffrable est important car le métier d'agriculteur comporte souvent des pointes de travail et de multiples tâches.

l'impact éventuel de la culture de soja RR sur des cultures voisines de soja conventionnel. Le soja, plante à 99 % autogame, pose peu de risques de pollinisation fortuite de cultures voisines non OGM de même espèce comme cela est le cas pour le colza et le maïs. Mais la vigilance s'impose en ce domaine.

l'engagement par contrat de ne pas réutiliser sa semence la campagne suivante renchérit le coût de la semence de soja RR. Aux Etats-Unis, en 1998, 15 à 20 % des surfaces de soja étaient ensemencées par des graines provenant de la récolte précédente de l'agriculteur et non achetées sur le marché. Dans d'autres pays comme l'Argentine, cette proportion atteignait 25 à 35 % et plus en fait, avec les achats à d'autres agriculteurs hors circuits commerciaux officiels. Mais les firmes ont tenu compte de cet élément dans leur politique de prix des semences OGM : ainsi, pour le soja RR, ces dernières étaient vendues beaucoup moins cher en 1998 en Argentine qu'aux États-Unis. Cela a d'ailleurs entraîné des protestations de la part des producteurs américains s'estimant pénalisés (US GAO, 2000).

Chiffrer l'écart de marge entre soja RR et conventionnel pourrait induire en erreur compte tenu de ces facteurs de variation dans l'espace et le temps. Les prix des semences, des herbicides et du soja ont varié au cours des dernières années ainsi que selon les désherbants employés ; de la sorte les coûts de production du soja ont un peu diminué entre 1995 et 1999 en conventionnel et en moyenne (Bullock & Nitsi 2001 ; Ash, 2001). Approximativement, en 1999-2000, le surcoût de la semence transgénique est compensé par une moindre dépense en herbicides due à un prix un peu plus bas du glyphosate et à un nombre total de traitements moins élevé, d'où assez souvent des coûts de production un peu moindres. Mais l'écart entre soja RR et conventionnel dépend des adventices présentes et des herbicides (ou autres moyens de contrôle) utilisés : en conventionnel l'éventail des possibilités est large ; en transgénique, il existe aussi une certaine gamme – Monsanto proposant plusieurs formulations selon le type d'adjuvants et la concentration. De la sorte le poste "semences + herbicides" est plus faible en soja RR pour une part des surfaces, mais pas toujours (Bullock & Nitsi, 2001). En tout cas, ce coût a diminué chez beaucoup d'agriculteurs entre 1996 et 2000, qu'ils utilisent des variétés transgéniques ou non.

QUELQUES ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

La question des impacts potentiels des OGM sur l'environnement a donné lieu à une abondante littérature. Ici, seuls certains aspects environnementaux du soja transgénique seront abordés. Le développement du soja RR a largement évincé les autres herbicides employés naguère au profit du glyphosate. Ainsi, dans la quinzaine d'États plus gros producteurs de soja, entre 1995 et 2000, la part de la sole de soja recevant du glyphosate est passée de 20 % à 62 % tandis que celle traitée à l'imazéthapyr (Pursuit™ de American Cyanamid) a chuté de 44 à 12 %, celle traitée au pendiméthaline (Prowl™ de BASF) a baissé de 26 à 11 % et celle traitée à la trifluraline (Tréflan™, Dow AgroSciences) de 20 à 14 % (enquête annuelle USDA-NASS "Agricultural Chemical Usage"). Sur la sole totale de soja de ces Etats on est passé en moyenne par ha de 2,74 matières actives herbicides épandues à 1,81 (dont 45 % de glyphosate).

Pour évaluer l'impact de ces changements d'herbicides et du nombre de traitements, on ne peut pas comparer les quantités totales épandues avant et après l'introduction du soja RR à partir de la somme des poids des différentes matières actives comme cela est parfois fait. En effet, à dose identique épandue en grammes/ha, le niveau de toxicité peut varier nettement d'un produit phytosanitaire à l'autre. Il est donc nécessaire de comparer la toxicité du glyphosate épandu avec celle des divers herbicides employés auparavant sur la même culture. Des évaluations toxicologiques et écotoxicologiques existent dans les bases de données spécialisées, mais comme chaque pesticide y est évalué par de nombreux critères concernant ses divers effets possibles au niveau biologique et environnemental, il est utile de disposer d'indicateurs synthétiques intégrant ces divers aspects. Si de tels indicateurs ont été élaborés pour le glyphosate (employé depuis longtemps et ayant fait l'objet de

nombreuses évaluations), ainsi que parfois pour la pendiméthaline et la trifluraline, ce n'est pas le cas pour l'imazéthapyr (désherbant le plus souvent utilisé en 1995 sur le soja) où très peu de données synthétiques sont disponibles. Par ailleurs, les traitements appliqués et leur évolution sont fort variables selon les parcelles. Ainsi, pour établir l'évolution du niveau de toxicité des désherbants épandus, il faut multiplier l'indicateur synthétique de toxicité de chaque herbicide par la quantité utilisée, puis effectuer leur somme pondérée pour avoir un indicateur moyen de toxicité en soja conventionnel et en soja RR. Or, cela soulève des difficultés, notamment pour le choix d'indicateurs, comme le montrent quelques travaux peu nombreux ayant cherché à le faire (Heimlich *et al.*, 2000 ; Hin *et al.*, 2001 ; Nelson & Bullock 2003). Leurs résultats indiquent plutôt une évolution vers l'emploi de désherbants à moindre nocivité pour l'environnement et la santé (Felsot, 2000-2001), mais cet aspect semble insuffisamment étudié et nécessiterait d'autres travaux.

Il convient aussi de considérer les retombées à plus long terme de l'emploi de glyphosate et de plantes transgéniques tolérantes. La consommation de glyphosate augmente rapidement avec la diffusion de celles-ci, mais aussi avec le développement des TCS (Woodburn, 2000). En 1999-2000 le glyphosate était épandu sur environ 70 % des surfaces cultivées avec ces dernières (Verfaillie, 2001). Or les TCS progressent rapidement aux États-Unis, notamment pour diminuer les interventions culturales et les coûts de production et réduire l'érosion (CTIC, 2000, Sandretto, 2001). Depuis 1973, il n'y avait pas eu d'apparition d'adventices résistantes au glyphosate (à deux ou trois exceptions très localisées près), mais ne risquent-elles pas d'apparaître ultérieurement avec la progression rapide de son emploi ? On perdrait alors un désherbant total – souvent utilisé dans les usages non agricoles – considéré comme intéressant du fait de son assez bon profil toxicologique relativement à d'autres molécules. La forte croissance de son emploi doit donc faire l'objet de surveillance.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Effectuer le bilan d'une nouvelle culture est difficile car nombre d'acteurs et d'éléments en interaction jouent, aussi l'analyse risque-t-elle toujours d'être pauvre ou incomplète à côté d'une réalité complexe, multiforme et en évolution rapide. Par ailleurs, il est malaisé de comparer les situations "avant" et "après" son introduction : de nombreux autres facteurs évoluent eux aussi de façon indépendante ou liée et influent fortement sur les situations avant et après. Enfin la prise en compte des multiples effets directs, indirects, induits et externes d'une innovation est très complexe. Les résultats dépendront donc beaucoup des aspects et des critères pris en compte, des méthodes utilisées, des échelles de temps et des secteurs considérés et enfin, des dynamiques autres introduites dans l'analyse car le reste du monde évolue aussi de son côté. Il faut éviter d'imputer à tort les modifications observées ; ainsi la dynamique du système économique dominant est à l'origine de nombre de processus dont on incrimine parfois indûment les OGM ou d'autres facteurs.

L'analyse ébauchée ici sur les cultures transgéniques aux États-Unis, à partir du cas du soja RR – OGM le plus répandu actuellement dans le monde – n'échappe pas à ces difficultés, d'autant plus qu'elle s'est centrée sur une échelle limitée mais cependant importante : les aspects agro-économiques à l'échelle des exploitations. L'intérêt économique d'une culture transgénique par rapport à une culture conventionnelle ou autre (raisonnée, biologique, etc.) dépend du contexte et des évolutions des rapports de prix. De ce fait, les résultats présentés doivent être considérés comme provisoires et les investigations sont à poursuivre, d'autant plus que la variabilité est importante et qu'un nombre insuffisant de travaux publiés fait appel à des enquêtes socio-économiques directes auprès des farmers et livre des résultats suffisamment illustrés. Des évaluations sur une plus longue durée et prenant d'autres aspects en considération sont encore nécessaires.

Si les cultures transgéniques se sont développées rapidement aux États-Unis de 1996 à 2001, cette tendance va-t-elle se poursuivre ? Cela peut varier selon les espèces et cela dépend de nombreux facteurs en interaction, notamment l'évolution scientifique et technologique, l'acceptabilité de ces produits aux USA, leur intérêt agro-économique pour les agriculteurs, les possibilités de débouchés à l'export, etc. Ce dernier facteur a un rôle notable aux États-Unis où les exportations agricoles sont jugées essentielles (Bonny, 2002). Le développement rapide des OGM aux États-Unis ces dernières années y a été favorisé par le contexte économique, institutionnel et culturel : une foi forte dans le progrès, le business et l'innovation, existe aux USA et les biotechnologies ont été considérées en général de façon favorable. La situation américaine se caractérise aussi par un bon niveau de confiance envers les agences chargées de la sécurité sanitaire des aliments et par un rapport à l'alimentation souvent différent de celui des Français. Cette situation pourrait-elle se modifier dans les années à venir chez une proportion substantielle d'Américains ?

D'autres évolutions possibles doivent aussi être prises en compte. L'attention est aujourd'hui fort polarisée sur les quelques variétés génétiquement modifiées actuellement cultivées, tolérantes à des herbicides ou résistantes à des insectes. Or, les applications des biotechnologies en agriculture sont susceptibles d'offrir d'autres possibilités. Même pour les seules plantes transgéniques, nombre d'évolutions sont envisageables ; d'une part, grâce à la progression des connaissances d'autre part, du fait des risques avancés et des critiques exprimées conduisant les acteurs impliqués à chercher des moyens d'y remédier, et surtout, les applications de la génomique pourraient ouvrir de nouvelles perspectives. Ainsi, il semble important de tenir compte qu'une innovation évolue toujours beaucoup entre les tout premiers produits apparus et ceux développés par la suite, en raison des avancées scientifiques et techniques, des évolutions socio-économiques d'ensemble et des réactions des nombreux acteurs impliqués. En permettant de valoriser davantage les possibilités du vivant les biotechnologies peuvent offrir de grandes possibilités et conduire à une plus grande durabilité, mais cela n'est pas acquis d'avance. Tout dépendra comment et dans quels domaines elles seront orientées et utilisées : cette question de la gouvernance des technologies est sans doute une des plus difficiles.

REFERENCES

- ASA (American Soybean Association), 2001. *Conservation Tillage Study*. Saint-Louis (Missouri), 22 p.
- Ash M., 2001. *Soybeans: Background and Issues for Farm Legislation*. USDA-ERS report N° OSC-0701-01, July 2001, 9 p.
- Barnes R.L., 2000. Why the American Soybean Association supports transgenic soybeans. *Pest Management Science*, 56, 580-583.
- Benbrook C.M., 2001. *Troubled Times Amid Commercial Success for Roundup Ready Soybeans*. AgBioTech InfoNet Technical Paper N. 4, Sandpoint (Idaho), May, 69 p. <http://www.biotech-info.net>
- Bonny S., 2002. Le succès des cultures transgéniques aux Etats-Unis : facteurs agro-économiques et perspectives. *Economie Rurale* (267), janvier-février 2002, pp 91-105.
- Bullock D., Desquilbet M., 2001. *Les effets économiques des réglementations différentes en matière d'OGM*. Communication au colloque SFER-CEPII "Agriculture et commerce international", Paris, 6-7/02/01.
- Bullock D., Nitsi E., 2001. Roundup Ready Soybean Technology and Farm Production Costs: Measuring the Incentive to adopt genetically modified seeds. *American Behavioral Scientist*, 44, 1283-1301.
- Carpenter J., 2001. *Case Study in Benefits and Risks of Agricultural Biotechnology: Roundup Ready Soybeans and Bt field corn*. NCFAP (National Center for Food and Agricultural Policy), Washington, Jan 2001, 56 p.
- Carpenter J., Gianessi L., 2001. *Agricultural Biotechnology: Updated Benefit Estimates*. NCFAP, Washington, Jan. 2001, 48 p.
- Carpenter J., Gianessi L., 2000. *Agricultural Biotechnology: Benefits of Transgenic Soybeans*. NCFAP, Washington, April 2000, 105 p.
- Carpenter J., Gianessi L., 1999. Herbicide Tolerant Soybeans: Why Growers are adopting Roundup Ready Varieties. *AgBioForum*, 2, 65-72.
- CE. 2000. *Economic Impacts of Genetically Modified Crops on the Agri-food Sector: A Synthesis*. Commission Européenne, DG Agriculture, Working Document, Bruxelles, 2000, 113 p.
- CGP (Commissariat Général du Plan) 2001. *OGM et agriculture : options pour l'action publique*. Rapport du groupe présidé par B. Chevassus-au-Louis, La Documentation Française, Paris, 393 p.
- CTIC 2000. *National crop residue management survey*. CTIC (conservation technology information center), West Lafayette (Indiana, USA) et USDA-NASS, Washington.
- Elmore, R.W. *et al.*, 2001. Glyphosate-Resistant Soybean Cultivar Yields Compared with Sister Lines. *Agron. J.*, 93, 408-412.
- Felsot A.S., 2000-2001. Herbicide Tolerant Genes. *Agrichemical & Environmental News* (Washington State Univ.), Sep 2000, 173, pp. 8-15 ; Nov 2000, 175, pp. 6-14 ; Dec 2000, 176, pp. 1-7 ; Feb 2001, 178, pp. 1-8.
- Fulponi L., 2000. *Modern biotechnology and agricultural markets: a discussion of selected issues*. OCDE, Paris, 2000. 52 p.
- Heimlich R.E. *et al.* 2000. Genetically Engineered Crops: Has Adoption Reduced Pesticide Use? *Agricultural Outlook*, August pp 13-17.

- Hin CJA, Schenkelaars P., Pak G.A., 2001. *Agronomic and environmental impacts of the commercial cultivation of glyphosate tolerant soybean in the USA*. CLM (Centrum voor Landbouw en Milieu), Utrecht (NL), 59 p.
- James C., 2000. *Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2000*. ISAAA Briefs N 21. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications), Ithaca, New York.
- Lemarié S., 2000. *Analyse économique du développement des cultures à base d'organismes génétiquement modifiés aux Etats-Unis. Volet 1 : Le développement des OGM agronomiques*. INRA-SERD, Grenoble, 42 p.
- Lin W., Price G.K., Fernandez-Cornejo J., 2001. Estimating Farm-level Effects of Adopting Herbicide Tolerant Soybeans. *Oil Crops Situation and Outlook* (USDA-ERS), oct 2001, pp. 25-34
- Marra, M.C. 2001. Agricultural Biotechnology: A Critical Review of the Impact Evidence to Date. Chapter 8 in P. Pardey (ed) *"The Future of Food: Biotechnology Markets and Policies in an International Setting"*. Baltimore, Johns Hopkins Press & Washington, DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute), pp. 155-184.
- Nelson G.C. (ed), 2001. *Genetically Modified Organisms in Agriculture, Economics and Politics*. Academic Press, Londres, 344 p.
- Nelson, G. C., Bullock D. S. 2003. Environmental Effects of Glyphosate-Resistant Soybeans in the United States, in: N. Kalaitzandonakes (ed). "The economic and environmental impacts of agbiotech: a global perspective", Kluwer-Plenum, pp 89-101
- Sandretto C., 2001. Conservation Tillage Firmly Planted in U.S. Agriculture. *Agricultural Outlook*, March, pp 5-6.
- UIUC, 1999. *Illinois Agronomy Handbook 1999-2000*. University of Illinois, Dep. of Crop Sciences. Urbana-Champaign, 245 p.
- US GAO, 2000. *Information on prices of genetically modified seeds in the United States and Argentina*. US General Accounting Office, Washington, 25 p.
- USDA-ERS AREI ,2000. *Agricultural Resources and Environmental Indicators 2000*. USDA-ERS, Washington, site : www.ers.usda.gov/Emphases/Harmony/issues/arei2000.
- Verfaillie H., 2001. *Présentation de Monsanto*. Goldman Sachs Group Fifth Annual AgChemicals-AgBiotechnology Conference, New York, 6 Feb. 2001.
- Woodburn A.T., 2000. Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science*, 56, 309-312.

SIGLES

GM	: Génétiquement modifié
soja RR	: Soja tolérant à l'herbicide glyphosate dit "Roundup Ready®"
TCS	: Techniques culturales simplifiées (techniques de conservation du sol)
TH	: Tolérance à un herbicide
USDA	: United States Department of Agriculture
USDA-ERS	: Economic Research Service de l'USDA
USDA-NASS	: National Agricultural Statistics Service de l'USDA