LES SEMENCES
ÉVOLUTION AU COURS DES 50 DERNIÈRES ANNÉES

SEEDS
EVOLUTION OF THE PAST 50 YEARS

par Bernard **Le Buanec**[1] et Joël **Léchappé**[2]

(*note présentée par* Bernard Le Buanec)

RÉSUMÉ

Les semences sont indissociables des variétés végétales qu'elles représentent et traiter des semences sans parler de l'amélioration des plants est quelque peu réducteur. Lors de la même séance de l'Académie d'Agriculture les trois thèmes semences, variétés végétales et protection de la propriété intellectuelle sont développés et le présent article se concentre donc sur les semences en privilégiant trois aspects : les acteurs commerciaux, la production et la réglementation.

L'évolution des acteurs commerciaux est marquée par une concentration des entreprises, la part du commerce mondial des 5 entreprises de tête représentant 8% du marché en 1985, 13% en 1996 et 28% en 2004. Cette concentration au niveau mondial se retrouve également au niveau français. Cette évolution s'est faite par la disparition d'acteurs centenaires et l'arrivée de nouveaux entrants. Il faut cependant noter que le taux de concentration reste faible comparé par exemple à celui de l'industrie phytosanitaire où les 5 premiers acteurs représentent 90% du marché.

L'évolution de la production est caractérisée essentiellement par trois aspects : les progrès réalisés sur la compréhension du développement de la qualité lors de la production au champ, la spécialisation des zones de production et le développement des traitements de semences.

[1] Membre de l'Académie d'Agriculture, membre de l'Académie des Technologies, secrétaire général de l'International Seed Federation (ISF), chemin du Reposoir, 7, CH-1260 Nyon, Suisse.
Courriel : b.lebuanec@worldssed.org
[2] Directeur de la Station nationale d'essais des semences, rue Georges Morel, B.P. 24, 49071 Beaucouzé Cedex.
Courriel : joel.lechappe@geves.fr
C.R. Acad. Agric. Fr., 2006, 92, n°3. Séance du 5 avril 2006.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 5 avril 2006.

La connaissance des mécanismes impliqués dans le déterminisme de la qualité permet des conseils pratiques aux agriculteurs multiplicateurs en vue d'une amélioration constante de la qualité des semences produites. La spécialisation des zones de production a provoqué un accroissement des échanges internationaux atteignant 16% de la valeur totale du marché. La généralisation des traitements fait de la semence le vecteur de toute une série de technologies allant de la prégermination à la protection contre les parasites en passant par les apports de micro-éléments et d'inoculum de micro-organismes favorables.

En ce qui concerne la réglementation deux aspects méritent plus particulièrement l'attention : l'évolution de la réglementation et les évolutions techniques de l'analyse qualité. L'évolution de la certification de l'identité variétale s'est traduite par le transfert de l'activité technique aux entreprises semencières, les gouvernements se réservant les actions amont de définition des règles et aval de contrôle. De nouvelles règlementations pour les semences dites biologiques et pour la présence fortuite d'OGM ont également vu le jour au cours des cinq dernières années. L'analyse des semences a connu des évolutions remarquables liées au développement des nouvelles techniques telles que l'analyse d'image, l'automation des procédés, les progrès en biologie moléculaire. Les progrès ont porté à la fois sur l'analyse proprement dite de la pureté spécifique, de la qualité physiologique et de l'état sanitaire des lots de semences et sur la compréhension des mécanismes biologiques et physiologiques influant sur la qualité physiologique des semences.

SUMMARY

Seeds are not separable from plant varieties and speaking of seeds without speaking of varieties is somewhat simplistic. During the same meeting of the Academy of Agriculture the three topics - seeds, plant varieties and protection of intellectual property - are presented and this paper, therefore, focuses on seeds and, in particular, on three aspects: trade, production and regulations.

The trade evolution is characterized by a concentration of seed companies, the share of the top five companies rising from 8% of the global market in 1985 to 13% in 1996 and 28% in 2004. That concentration, at global level, is also found in France. This evolution has been caused by the disappearance of old companies and the arrival of newcomers. However, it must be noted that the level of concentration remains low compared, for example, to the one of the phytosanitary industry where the top five companies represent 90% of the market.

The evolution of the production is mainly characterized by three aspects: progress made on the understanding of the development of quality during production in the field, specialization of the regions of production and development of seed treatments. The better knowledge of mechanisms involved in the making of quality allows giving practical advice to seed producers to constantly improve the quality of the seed produced. The specialization of the regions of production has caused an increase of transboundary movements of seeds, which now reach 16% of the value of the global market. The general practice of seed treatment has made the seed a vector of several technologies from priming to protection against pests, but also addition of micronutrients and inoculation of favourable microorganisms.

As regards regulations, two aspects deserve specific attention : the evolution of the regulation itself and the technical evolution of the analysis of the quality. The evolution of variety identity certification has resulted in the transfer of the technical work to the seed companies, governments keeping the upstream work of the definition of the rules and the downstream work of monitoring. New regulations for organic seed and for the adventitious presence of GMO have also been promulgated during the past five years. Seed testing has been faced with outstanding evolution linked to the development of new technologies such as image analysis, automation and progress in molecular biology. This progress has influenced both seed testing itself for specific purity, physiological quality and seed health of the seed lots and the understanding of biological and physiological mechanisms influencing the physiological quality of the seed.

Le comité d'organisation de cette réunion nous a demandé de présenter l'évolution au cours des cinquante dernières années des technologies, des marchés et de l'organisation des semences. Comme ni Joël Léchappé ni moi-même n'avons cinquante ans d'expérience dans le domaine nous avons décidé de ne pas être exhaustifs et de présenter ce qui nous semble être les grands changements qui ont pu se produire au cours des dernières décennies mais sans nous tenir de façon stricte au dernier demi-siècle.

Une autre difficulté de l'exercice est la division entre les exposés techniques de cette réunion : semences, variétés et protection. Il y a de toute évidence continuum mais aussi recouvrement entre ces trois thèmes, l'évolution variétale et la propriété intellectuelle ayant des conséquences sur celle des semences, des changements fondamentaux provenant en particulier du développement des hybrides et des OGM. Cet ensemble est souvent représenté de façon résumée comme «l'industrie des semences ».

Nous aborderons trois aspects différents dans cette présentation :

- l'évolution des acteurs commerciaux et des marchés,
- l'évolution de la production,
- l'évolution réglementaire.

1. L'évolution des acteurs commerciaux et des marchés

Nous n'avons pas de données exhaustives sur la structure de l'industrie des semences avant le milieu des années 1980 mais on peut dire que la concentration a commencé de façon significative tant au niveau national qu'international avec l'arrivée de nouveaux acteurs de la pharmacie et de la pétrochimie à la fin des années 1960.

1968 : rachat d'Asgrow par Upjohn
1970 : prise de participation de Shell dans Nickerson
1974 : rachat de Funk par Ciba-Geigy
1974 : rachat de Rogers Brothers par Sandoz
1976 : rachat de Northrup King par Sandoz
1979 : rachat de Zaadunie par Sandoz.

Une deuxième vague d'acquisitions a eu lieu au milieu des années 1980 par les entreprises

ICI, Lubrizol, Orsan et Volvo et une troisième vague, essentiellement du fait de l'entreprise Monsanto au cours de la dernière décennie. Certains groupes semenciers traditionnels comme Pioneer, Limagrain et KWS ont aussi progressé de façon significative soit par croissance interne, soit par acquisition ou par ces deux formes de croissance.

Le tableau suivant donne une représentation de cette évolution au cours des vingt dernières années.

Tableau No. 1

(Chiffre d'affaires en millions de $ US)							
1985			**1996**			**2004**	
Pioneer	735		Pioneer	1500		Monsanto	2803
Sandoz	290		Novartis	900		DuPont	2600
Dekalb	201		Limagrain	650		Syngenta	1239
Upjohn-Asgrow	200		Advanta	460		Limagrain	1044
Limagrain	180		Seminis	375		KWS	622
Shell Nickerson	175		Takii	320		Land O'Lakes	538
Takii	175		Sakata	300		Sakata	416
Ciba Geigy	152		KWS	255		Bayer CropScience	387
VanderHave	150		Dekalb	250		Takii	366
CACBA	130		Cargill	250		DLF	320
Sakata	120		Pau Euralis	175		Delta and Pine	315
Orsan	115		Monsanto	170		Dow	225
Cargill	115		Sigma	160		Barenbrug	195
Lubrizol	110		Saaten Union	155		Desprez	155
Volvo	97		RAGT	140		Saaten Union	150
ICT	90		Svalöf Weibull	140		Svalöf Weibull	142
Royal Sluis	80		Cebeco	140		RAGT	134
Cebeco	80		DLF	135		InVivo	110
KWS	75		Barenbrug	133			

Pour un marché mondial évalué aujourd'hui à 30 millions de dollars US, l'évolution des niveaux de concentration en pourcentage de ce marché est la suivante :

Tableau No. 2

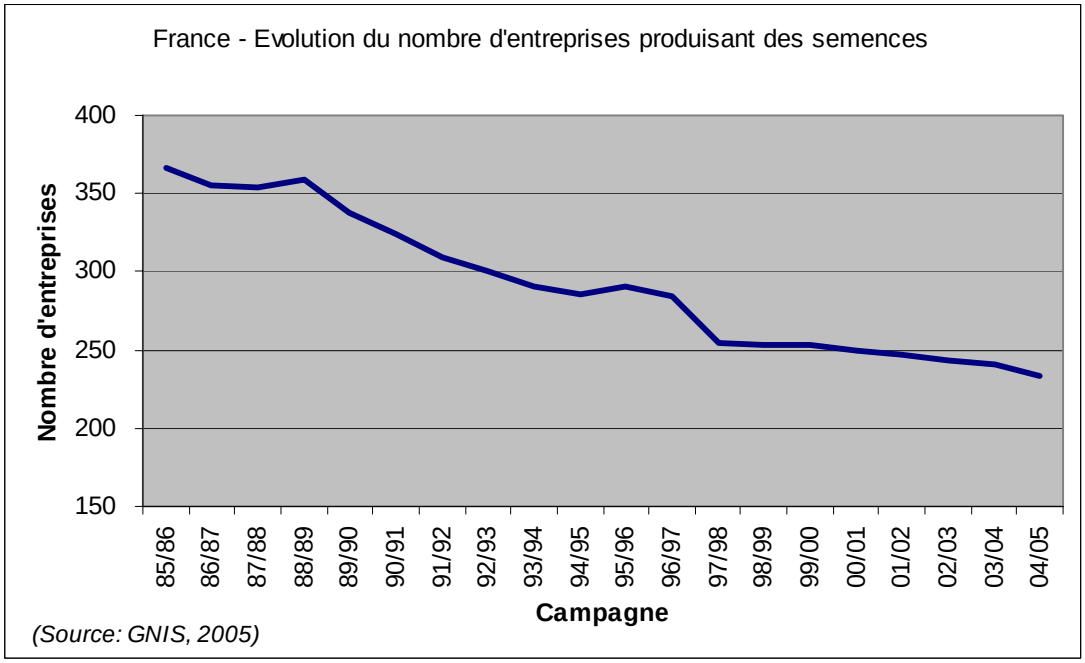
	1985	**1996**	**2004**
C5 [(1)]	8,0	12,9	27,7
C10	11,9	14,2	34,5
C15	14,7	20,2	38,0

[(1)] C5 représente le pourcentage du chiffre d'affaires des cinq premières entreprises, C10 des dix premières et C15 des quinze premières par rapport au chiffre d'affaires mondial.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 5 avril 2006.

Il est difficile de faire une analyse comparable au niveau français car les chiffres d'affaires des entreprises comprennent en général les exportations. Sans que l'on puisse la chiffrer aisément la concentration est certainement également importante. Une autre approche permet de s'en rendre compte : en 1985/86 le nombre d'entreprises en France produisant des semences étaient de 367; il n'était plus que de 233 en 2004/05 soient une diminution de 36 % en vingt ans.

Graphique No. 1



Cette concentration, tant au niveau national qu'international, est certainement liée à plusieurs facteurs :

- l'évolution des technologies de plus en plus lourdes requérant des investissements de recherches et de production toujours croissants,
- une exigence croissante de rapidité dans tous les domaines faisant perdre l'identité de certains métiers et favorisant une intégration verticale,
- les pressions multiples liées à une compétition croissante facilitée par la mondialisation.

2. L'évolution de la production

Dans cette partie de l'exposé nous entendons production au sens large, depuis le semis de la semence de base jusqu'à l'obtention de la semence commerciale mise à disposition de l'agriculteur. Au cours des cinquante dernières années il y a eu un certain nombre de points fixes,

tels que les règles d'isolement des cultures, des évolutions parallèles à celles observées dans d'autres secteurs de l'agriculture en particulier l'accroissement de la mécanisation à tous les niveaux du champ à l'usine et certaines autres évolutions très spécifiques à l'industrie des semences que nous développerons ici :

- les progrès réalisés sur la compréhension du développement de la qualité lors de la production au champ,
- la spécialisation des zones géographiques de production,
- le développement des traitements de semences au sens large.

2.1 La qualité de la production au champ

L'agriculteur dans *Regain* de Giono ne se reconnaîtrait pas aujourd'hui dans le métier d'agriculteur producteur de semences. La multiplication des semences est devenue en quelques décennies un métier hautement spécialisé.

La qualité au champ se gère autour de 4 composantes principales : la pureté variétale, la pureté spécifique, la qualité germinative dont l'aptitude à la conservation et l'état sanitaire.

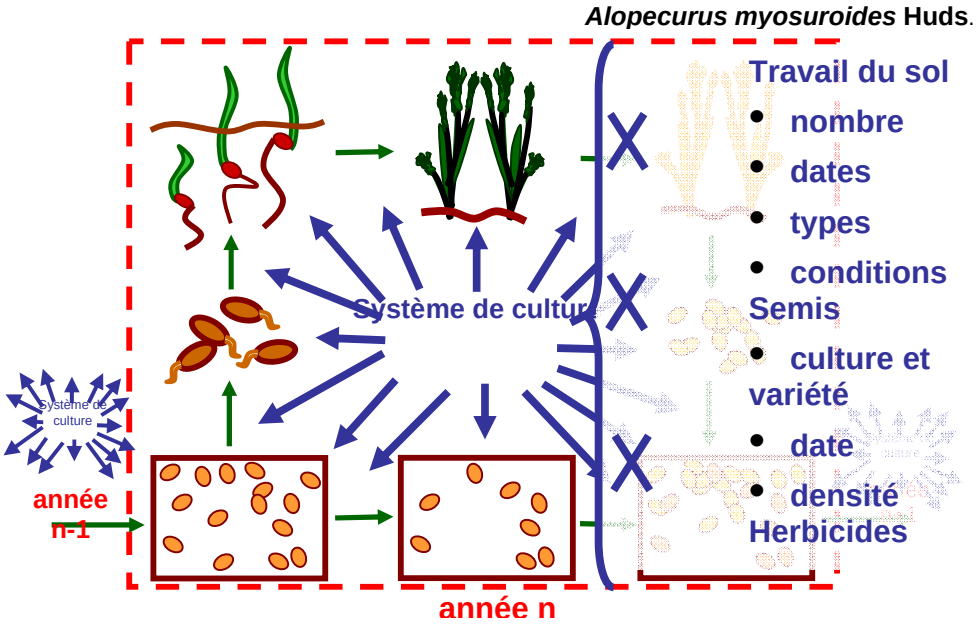
La maîtrise de la **pureté variétale**, fondée sur les règles de certification, ainsi que nous venons de le dire, n'a pas beaucoup évolué.

Si la **pureté spécifique** au champ est assurée depuis plus de 50 ans par une épuration manuelle ou mécanique, c'est le développement des herbicides qui a fait considérablement évoluer la maîtrise des adventices. Ces deux approches sont complétées aujourd'hui par la recherche de modèles qui visent à prévoir les potentiels de contamination des parcelles de multiplication en fonction des facteurs agronomiques (fig. 1). Il est désormais envisageable de mieux gérer les risques et les parcelles et de contribuer à la réduction de l'utilisation des herbicides et des coûts associés.

Figure No. 1

Modélisation de l'effet des systèmes de culture sur l'infestation des récoltes par le vulpin *Alopecurus myosuroides* Huds.

(N. Colbach, 2005)



La compréhension des mécanismes conduisant à l'élaboration de la **qualité germinative** sur le porte graines a progressé très largement ces 30 dernières années grâce aux travaux en physiologie et agronomie.

Dans les années 1960 la compréhension de l'incidence des conditions climatiques sur la mise en place de la dormance des semences a permis de prévoir les risques de germination sur pied, risques qui sont limités aujourd'hui par la sélection de variétés adaptées. Plus près des années 1980, il a été clairement démontré que l'aptitude à germer des semences est atteinte très tôt sur le porte-graines, bien avant la fin de la dessiccation[1]. Les conditions elles-mêmes de cette dessiccation des semences sur la plante mère ont depuis été identifiées comme facteurs importants de la qualité physiologique des semences[2] et font toujours l'objet d'études[3]. D'autres facteurs intervenant dans l'élaboration de la qualité sur le porte graine ont été mis en évidence en particulier les conditions d'alimentation hydrique[4], la position des semences sur la plante mère[5]

[1] BEDFORD L.V., MATTHEWS S., 1976. – The effect of seed age at harvest on the germinability and quality of heat-dried seed peas. Seed Sci. & Technol., 4, 275-286.
[2] TEKRONY D.M., EGLI D.B. and PHILLIPS A.D., 1980. – Effect of field weathering on the viability and vigor of soybean seed. Agron. J., 72, 749-753.
[3] LEPRINCE O, HENDRY GAF, MCKERSIE BD, 1993. – Mechanisms of desiccation tolerance in seeds. Seed Science Research, 3, 231-246.
[4] FOUGEREUX J.A., 1994. – Etude de l'influence de l'alimentation hydrique du porte graine sur la qualité germinative des semences de pois protéagineux (*Pisum sativum L.*). Thèse de Docteur, INA-PG, 174 p.
[5] GRAY D., STECKEL J.R.A., JONES S.R. and SENIOR D., 1986. – Correlations between variability in carrot (*Daucus carota L.*) plant weight and variability in embro length. J. Horti. Sci., 61, 71-80.
[6] COSTE F., 1999. – Etude de la variabilité de la qualité des semences d'un haricot de type « déterminé » (*Phaseolus vulgaris L.*, cv. Vernel) . Effets de l'apparition séquentielle des organes reproducteurs et de leur localisation sur la plante. Thèse de Docteur, INA-PG, 174 p.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 5 avril 2006.

ou bien l'étalement des floraisons en lien avec l'architecture de la plante[6]. Les résultats de ces travaux permettent aujourd'hui d'optimiser la date de récolte chez de nombreuses espèces, notamment les espèces produites en conditions contrôlées sous abri.

Cette énumération non exhaustive montre avant tout que la connaissance des mécanismes impliqués dans le déterminisme de la qualité germinative dès le stade de la construction des semences sur le porte-graine a beaucoup progressé au cours des dernières années, conduisant vers davantage de conseils pratiques à destination des agriculteurs multiplicateurs en vue d'une amélioration constante de la qualité des semences produites.

Dans les années 1960, peu de mesures **sanitaires** spécifiques étaient appliquées pour la production de semences. Les progrès considérables en méthodes de diagnostic, en épidémiologie, combinés avec la protection chimique ont amélioré considérablement la qualité sanitaire des semences. Si les maladies fongiques ont été suivies à partir des années 60, ce n'est qu'à partir des années 80, puis 90, que chronologiquement les bactéries, les virus et les nématodes ont été recherchés et, pour partie, contrôlés en production de semences.

Les connaissances en épidémiologie, bien qu'encore incomplètes, combinées avec la gestion des résistances des variétés permettent aujourd'hui de mieux gérer certaines productions de semences sur la base de cahier des charges précis, dans des zones géographiques déterminées. On peut citer l'exemple du mildiou du tournesol dû à *Plasmopara halstedii*, qui fait l'objet en France d'un réseau de surveillance de l'évolution géographique des races pathogènes (INRA, PV, CETIOM, GEVES), ou celui de la graisse du haricot.

2.2 La spécialisation des zones géographiques de production

Il y a cinquante ans il y avait bien un commerce international des semences et l'on peut noter que la fédération internationale du commerce des semences a été fondée en 1924. Cependant le pourcentage des activités import-export par rapport aux marchés nationaux restait très faible. En effet, à quelques exceptions près, chaque pays était en mesure de produire des semences pour ses propres besoins. Il y avait quelques exceptions pour les plantes fourragères et potagères.

Cette situation a changé au cours des dernières décennies pour plusieurs raisons[7]:

- un facteur général qui concerne l'ensemble de l'activité économique : le développement des transports rapides et bon marché. Ceci a permis de profiter de zones climatiques favorables comme par exemple les hauts plateaux de l'Est africain et l'Idaho pour les haricots, les hautes plaines de l'Amérique centrale pour les fleurs...,
- un facteur lié à l'évolution variétale, et ici nous voyons bien le lien entre semences et variétés, il s'agit du développement des hybrides F1 et des betteraves monogermes. En dehors du maïs en Amérique du nord les hybrides F1 étaient l'exception dans les années 1950. Maintenant ils sont devenus la règle pour de très nombreuses espèces comme le maïs, le sorgho, le tournesol, de nombreuses potagères et sont de plus en

[7] Coste F., 1999. Etude de la variabilité de la qualité des semences d'un haricot de type « déterminé » (*Phaseolus vulgaris L.*, cv. Vernel) . Effets de l'apparition séquentielle des organes reproducteurs et de leur localisation sur la plante. Thèse de Docteur, INA-PG, 174 p.

plus fréquents pour le colza et le riz. Or la production des semences hybrides nécessite des conditions très particulières, soit en terme de climat soit en terme de main-d'oeuvre. Par exemple la production de semence de maïs hybride avec un fort décalage de floraison entre les parents mâles et femelles exige soit des artifices de milieu soit un climat relativement chaud. La production de nombreux hybrides potagers demande une main-d'oeuvre nombreuse et très expérimentée. Ainsi la production de semence de maïs hybride pour l'Europe est essentiellement concentrée en France, en Hongrie et partiellement en Autriche. Les hybrides de tomates et de poivrons sont produits en Asie du Sud-Est, les betteraves monogermes en France, en Italie du Nord et dans la vallée de la Williamette en Oregon.

- un facteur général lié à l'accélération de tous les processus commerciaux et industriels et à la gestion des stocks en flux tendu qui a causé le développement des cultures en contre saison soit dans la zone tropicale de l'hémisphère nord mais, plus encore, dans les zones tempérées et tempérées chaudes de l'hémisphère sud. Les cultures de contre saison qui s'était développée timidement à des fins de recherche dans les années 1950 sont maintenant courantes pour les productions de semences de base mais aussi de semences commerciales. L'exemple du Chili, qui a su profiter à plein de ce créneau, et particulièrement intéressant.

Tableau No. 3

Exportation des semences par le Chili (millions de $ US)		
1985	**1995**	**2004**
10	70	153
(Source : ANPROS, 2004)		

Cette évolution se traduit bien par les chiffres mondiaux.

Tableau No. 4

Pourcentage des exportations par rapport au marché total				
	1970	**1985**	**1996**	**2004**
Monde	5,7	6,5	11,0	15,8
France	---	16,6	---	31,5
(Sources : ISF et GNIS)				

La tendance au niveau mondial se confirme également au niveau français. Le tableau montre l'importance des exportations françaises, soit exportations directes soit réexportations. En fait, depuis de très nombreuses années, la France fait partie du trio de tête des pays exportateurs de semences avec les États-Unis et les Pays-Bas.

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 5 avril 2006.

Sur les 617 millions d'euros exportés par la France sur la campagne 2004/2005, 45 % représentent des semences de maïs et 12 % des semences de betteraves. La France est devenue le premier exportateur mondial de semence de maïs pour une valeur de 278 millions d'euros. Cependant l'interdiction en cours de campagne 2005 de traiter les semences par les insecticides Gaucho et Régent semble avoir temporairement influé à la baisse sur le flux et la valeur des exportations (je dois dire qu'à ma connaissance ces deux produits n'ont été interdits nulle part ailleurs qu'en France, même dans des pays aussi soucieux de l'environnement que sont la Suisse et l'Autriche. Ils continuent d'obtenir de nouvelles homologations dans de nombreux pays développés. Il s'agit certainement d'une nouvelle exception française, seules nos abeilles étant sensibles à ces produits aux doses normales d'utilisation).

Ceci nous conduit tout naturellement à la troisième évolution majeure qu'a connue la production de semences au cours des cinquante dernières années.

2.3 Le traitement de semence

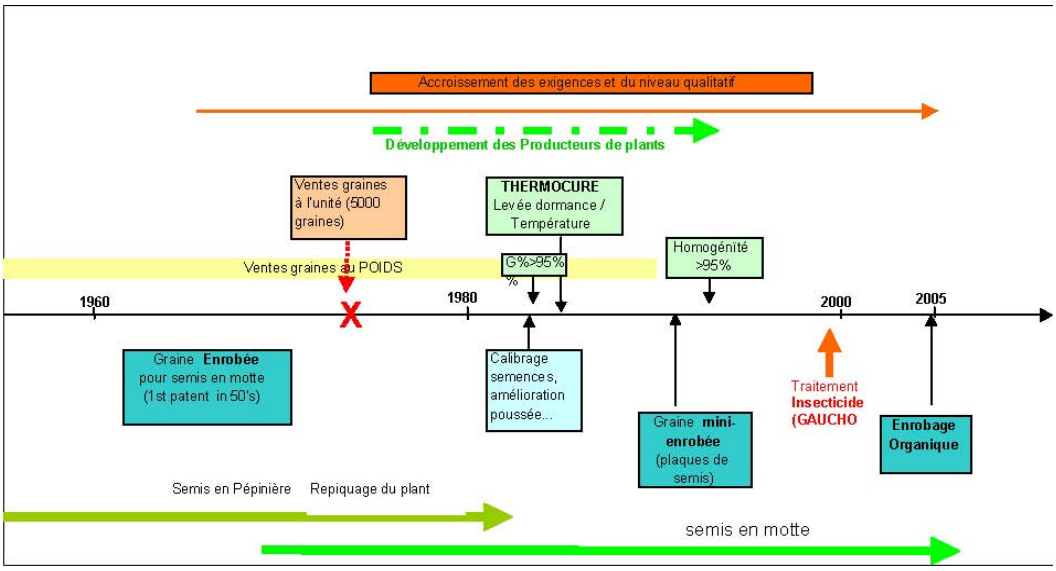
Le traitement des semences est une pratique très ancienne mais jusqu'au milieu du siècle dernier elle était très empirique et utilisait des produits de contact à effet de surface. Au cours des cinquante dernières années des progrès considérables ont été faits dans ce domaine qui, sur le plan théorique, comprend trois aspects différents :

- Traitements physiologiques aussi appelé prétraitements ou «priming » tels que pré-germination osmotique, thermocure, etc.,
- enrobage et pelliculage,
- traitements phytosanitaires,
- apports d'inoculum de micro-organismes ;

De nos jours la quasi-totalité des semences commercialisées sont traitées (95 % des semences selon une enquête réalisée par l'ISF il y a quelques années). Par exemple une semence de laitue ou de tomate hybride est un vrai concentré de technologies (fig. 2).

Figure No. 2

Sophistication de la semence : exemple de la Laitue



(Source: Pierre Ferraton, 2006)

L'évolution des produits de traitements phytosanitaires est également intéressante. Dans les années 1950 les produits de traitements utilisés étaient encore les organo-mercuriques introduits en 1915. Les années 1960 ont vu l'introduction des premiers fongicides systémiques, les années 1980 les insecticides systémiques efficaces à très faible dose, provoquant un accroissement rapide du marché[8].

Tableau No. 5

Marché des produits de traitement de semences (millions de $ US)	
1990	**2004**
0,6	1,4

Les avantages sont nombreux tant sur le plan environnemental que sur celui de la santé des agriculteurs.

Depuis les années 1960 les semences de légumineuses telles que la luzerne et le soja sont inoculées avec des rhizobium pour faciliter la fixation symbiotique de l'azote. Plus récemment des inoculations avec d'autres microorganismes tels que les bactéries dites PGR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) ou les mychoryzes ont été développées. Ces inoculations permettent, en conditions difficiles, de favoriser la croissance.

Depuis quelques années l'enrobage avec des micro-éléments est proposé. Très récemment l'enrobage des semences avec herbicide pour lutter contre le *Striga* sur maïs a été mis au point et

[8] VOESTE D., 2005. – Seed Treatment: an integral part of Plant Protection Management. ISF Seed Treatment Conference, Santiago de Chile, 2 June 2005.

donne de très bons résultats[9].

En plus de sa génétique propre la semence devient donc le support de toute une série de technologies permettant d'améliorer la production agricole.

3. L'évolution de la réglementation

Le secteur semences-variétés est, en particulier en Europe, très réglementé, surtout pour les plantes de grandes cultures. La certification des semences a été mise en place en France dans les années 1930. Elle présente deux aspects :

- la certification de l'identité variétale fondée sur un respect des conditions de production, vérifiée par des inspections des champs de production,
- la certification d'un niveau de qualité physique de la semence, fondée sur une analyse des lots de semences commercialisées.

3.1 Certification de l'identité variétale

Les aspects techniques de la certification de l'identité variétale ont peu changé au cours des cinquante dernières années. En effet cette certification est une certification de produit par le biais d'un contrôle des procédés de production prenant en compte les rotations de culture, les isolements, les techniques culturales. La certification de l'identité variétale ne demande pas une analyse systématique du produit final.

Par contre, en dehors des aspects de certification proprement dits, des changements considérables ont eu lieu en ce qui concerne l'identification variétale. Les acquis scientifiques et techniques dans le domaine de la vision artificielle et de l'automation, le développement du marquage moléculaire, tout d'abord en utilisant les protéines de réserve et les isoenzymes et maintenant les profils d'ADN, ont révolutionné l'identification variétale en particulier en cas de litige entre semencier et agriculteur ou entre semenciers eux-mêmes.

Les aspects réglementaires de la certification de pureté variétale, contrairement aux aspects techniques, ont, eux, connu d'importants changements.

Dès le début des années 1950 l'inspection aux champs a été déléguée aux entreprises semencières sous le contrôle du service officiel de contrôle, SOC, dans le cadre des commissions officielles de contrôle, COC. Ceci a été reconnu dès 1966 dans le cadre des directives communautaires.

L'analyse des semences devait être faite dans un laboratoire officiel. En France, en 1983, un programme d'accréditation a été mis en place, autorisant les employés accrédités d'entreprises privées à faire eux-mêmes l'échantillonnage et l'analyse.

Cependant cette délégation n'était pas conforme aux directives communautaires et la France a été mise en demeure, en 1990, de modifier ses pratiques. Après discussion ceci a abouti à mettre en place une expérimentation communautaire à titre dérogatoire permettant la délégation des tâches de certification aux entreprises privées. Quinze ans plus tard la délégation aux entreprises a été introduite de façon définitive dans les directives communautaires.

Il restait à harmoniser cette réglementation, valable pour le marché unique européen, avec

[9] Kanampiu F. et Friesen D., 2006. *Striga* weed control with Herbicide-coated Maize seed. http://www.cimmyt.cgiar.org/research/maize/results/striga/control.htm.

les réglementations internationales et en particulier la certification OCDE. Une expérimentation dérogatoire d'abord pour l'inspection aux champs et ensuite pour l'échantillonnage, l'analyse et l'étiquetage a été mise en place au milieu des années 1990. Elle a abouti, également en 2005, à l'introduction de l'accréditation des employés des entreprises privées pour toutes les étapes de la certification OCDE.

Toujours dans le cadre de l'accréditation le dernier volet a été l'action menée par l'ISTA. A la demande de la FIS, l'ISTA a développé dès 1930 un certificat international d'analyse de semences connu sous le nom de BIO, bulletin international orange. Ce BIO ne pouvait être établi que par des laboratoires gouvernementaux membres de l'association, situation qui a duré jusqu'en 1995, date à laquelle des modifications importantes ont été adoptées. À partir de cette date, les laboratoires privés ont pu devenir membre de l'ISTA mais sans possibilité d'émettre de BIO. Cependant, après des négociations intenses entre l'ISTA et l'ISF[10] une expérimentation sur l'accréditation des laboratoires privés fut mise en place en 1999 et la possibilité d'émettre des BIO leur a été donnée en 2005 sur la base des résultats techniques et seulement sur cette base.

Donc, pour conclure sur cet aspect de la réglementation, peu de modifications sur les aspects techniques de la certification variétale, des changements dans l'analyse des semences et une modification importante de l'équilibre des rôles publics/privés. Les gouvernements ont transféré l'activité technique directe aux entreprises, se réservant les actions amont de réglementation et aval de contrôle.

Trois autres aspects réglementaires méritent probablement d'être cités :

La certification phytosanitaire qui n'a pratiquement pas évolué durant les cinquante dernières années si ce n'est la possibilité dans le nouveau texte de la convention internationale sur la protection des plantes, entrée en vigueur en octobre 2005, de remplacer les inspections aux champs par des analyses de laboratoire. Ceci soulève la question de méthodes d'analyse acceptées au niveau international. L'ISF propose aux parties à la convention de mettre à disposition les méthodes développées dans le cadre de ses initiatives internationales sur l'état sanitaire de semence. L'ISF propose également de mettre sur pied un comité (*peer review group*) pour valider des méthodes existantes.

Le deuxième cas et la nouvelle réglementation sur les semences dites biologiques. Selon les réglementations européennes et américaines pour avoir le label « bio » les cultures doivent être produites avec des semences biologiques et non, comme par le passé, avec des semences non traitées. Cette décision, sans base scientifique sérieuse, a pour conséquence de multiplier le prix des semences par 1,5 jusqu'à 3,5. C'est la raison pour laquelle les agriculteurs « bio » tentent par tous les moyens d'obtenir des dérogations. Ceci reste cependant marginal car, pour les plantes de grandes cultures hors pâturages extensifs, les cultures bio ne représentent pas plus de 1,1 % des surfaces cultivées mondiales[11].

Le troisième cas est la réglementation de la présence fortuite d'OGM dans les semences non OGM. Contrairement à l'agriculture biologique qui n'évolue que très lentement, 26 millions d'hectares incluant les 17 millions d'hectares de pâturage extensif en particulier d'Australie et

[10] FIS, la Fédération Internationale du Commerce des Semences est devenue en 2002 l'ISF, International Seed Federation, après absorption de l'ASSINSEL, l'Association Internationale des Sélectionneurs.

[11] WILLER H. et YUSSEFI M., 2006. – The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends. IFOAM Publication, 8th revised edition, Feb 2006, 196 pages ISBN3 – 934055-61.3.

d'Argentine après vingt ans de développement et de subventions, les surfaces cultivées en OGM augmentent très rapidement et ont couvert 90 millions d'hectares en 2005 soit déjà de l'ordre de 6 % des terres cultivées au niveau mondial[12]. Ceci a conduit à l'élaboration de règles, aussi dépourvues de base scientifique que pour les semences bio, définissant un niveau maximum de présence fortuite d'OGM dans les semences dites conventionnelles. Le problème est que seule la Suisse a défini un seuil de présence fortuite : 0,5 %. L'Europe, après quatre ans de discussions, n'a toujours pas obtenu d'accord. Certains pays demandent une absence totale ce qui est complètement irréaliste. Quoi qu'il en soit cette nouvelle réglementation ou embryon de régulation a déjà causé des perturbations importantes dans le commerce des semences entre l'Amérique du Nord et l'Europe et continuera certainement d'en causer dans les années à venir.

3.2 L'évolution de l'analyse de la qualité

Si les aspects techniques de la certification de l'identité variétale ont peu évolué, ce n'est pas le cas de l'analyse qualité qui étudie principalement trois critères : la pureté spécifique, la qualité physiologique et en particulier la qualité germinative, et l'état sanitaire.

La **pureté spécifique** a été une des premières analyses mises en place dans le but d'évaluer la qualité des lots de semences et elle est encore aujourd'hui avec la germination une analyse-clef pour la mesure de la qualité, en particulier pour certaines catégories d'espèces comme les fourragères.

Ce type d'analyse, très traditionnel, s'est adapté à l'évolution des processus de fabrication, de la qualité des lots de semences produits et des exigences du marché. Dans les années 1950 il a été décidé d'abolir la distinction au sein de la catégorie des semences étrangères entre espèces nuisibles et non nuisibles. Plus tard la masse des échantillons analysés a été réduite pour l'analyse de pureté spécifique et augmentée pour le dénombrement d'espèces étrangères. Ceci permet d'obtenir une information plus précise sur la qualité des lots de semences, en particulier du point de vue de la teneur en espèces nuisibles et d'ajuster la méthode aux exigences des normes de certification.

La mise sur le marché de semences traitées et enrobées a été un progrès considérable qui a nécessité des adaptations importantes des protocoles de pureté spécifique afin de distinguer les impuretés masquées sous les traitements et de protéger les analystes des laboratoires (fig. 3).

[12] JAMES C. 2005. – Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005 *ISAAA Briefs* No. 34. ISAAA, Ithaca, NY.

Figure No. 3
Analyse de pureté sur semences traitées

Les acquis scientifiques et techniques dans le domaine de la vision artificielle et de l'automatisation ont rendu possibles à partir des années 1990 des applications en analyse de la qualité physique des semences[13].

L'analyse de la **qualité germinative** des semences repose depuis 1931 sur le critère de la faculté germinative, pourcentage de plantules normales susceptibles de poursuivre une croissance normale dans des conditions optimales de culture. Ce test est actuellement standardisé pour plusieurs centaines d'espèces et les méthodes sont diffusées au sein des Règles de l'ISTA[14]. C'est le test le plus fréquemment employé pour caractériser la qualité germinative des lots de semences en vue de leur commercialisation.

Face à la limite imposée par le test de faculté germinative de ne pouvoir prédire la qualité germinative que dans des conditions optimales, différents travaux ont été conduits pour rechercher des tests complémentaires notamment des méthodes d'évaluation de la vigueur des semences :

- pour les espèces dont la germination est très lente, comme certaines espèces d'arbres ou d'arbustes le test de viabilité au *tétrazolium* permet, selon des protocoles également standardisés dans les Règles ISTA, d'apprécier la viabilité des semences dans un délai de 3 jours ;
- des tests fondés sur l'aptitude des semences à germer rapidement dans différentes conditions de température et d'humidité ;
- des tests d'aptitude au vieillissement ;
- des tests fondés sur les propriétés membranaires des semences ;
- différentes mesures d'activité respiratoire, d'activités enzymatiques, de métabolisme énergétique.

[13] EGELBERG P., MANSSON O. and PETERSON C., 1994. – Assessing cereal grain quality with a fully automated instrument using artificial network processing of digitized colour video images. In: Meyer Ge., Deshazer Ja. Optics in Agriculture, Forestry and Biological Processing, SPIE Congress, Volume 2345, Boston (Ma), USA, 2-4 November, 146-156.
[14] ISTA, international rules for seed testing, 2004.

Ce n'est qu'en 2002, après un important travail du comité de vigueur de l'ISTA sur la standardisation des tests les plus reproductibles, que les méthodes d'essais de vigueur ont été introduites dans les Règles de l'ISTA (Test de vieillissement accéléré sur le soja et test de conductivité sur le pois), ouvrant la voie à l'introduction possible de nouveaux tests et à leur élargissement sur un plus grand nombre d'espèces.

Si la mise en œuvre du test réglementaire (test ISTA) d'appréciation de la qualité germinative a peu évolué au cours de ces 50 dernières années, en revanche les équipements techniques ont gagné en qualité de régulation, permettant ainsi de garantir une grande précision des conditions climatiques nécessaires aux essais de germination.

Enfin, toujours dans le domaine des techniques, l'analyse d'image automatisée, développée au début pour l'analyse de la pureté spécifique, a également ouvert des voies d'exploration nouvelles dans le domaine de la qualité physiologique des semences. Associés à différents capteurs, ces nouveaux outils permettent de mesurer de nombreux paramètres physiques[15] (fig. 4) qui peuvent être mis en corrélation avec la qualité physiologique des semences : couleur, taille, forme, présence de microfissures dans les différentes parties de la semence, anomalies embryonnaires. Ces outils permettent également le suivi automatique de paramètres de qualité germinative tels que les cinétiques de germination[16] (fig. 5, 6) ou bien des paramètres de vigueur germinative[17]. Ils peuvent par conséquent être utilisés comme critères de sélection dans le processus de production des lots commerciaux de semence et dans l'évaluation de la qualité du produit fini.

[15] ANOUAR F., MANNINO M.R., CASALS M.L., FOUGEREUX J.A. and DEMILLY D., 2001. – Carrot seeds grading using a vision system, Seed Sci . & Technol., **29** : 215-225.

[16] DUCOURNAU S., FEUTRY A., PLAINCHAULT, P., REVOLLON P., VIGOUROUX B.and WAGNER MH., 2005. – Using computer vision to monitor germination time course of sunflower (*Helianthus annuus L.*) seeds. Seed Sci. & Technol., **33**: 329-340.

[17] McDonald M.B., Fujimura K., Xu L., Bennett M.A., Evans A.F. (2005). Computer imaging to assess seed germination performance. 8th International Workshop on Seeds, 8-13 May 2005, Brisbane, Australia.

Figure 4

Mesure du calibre de semences de carotte par vision artificielle

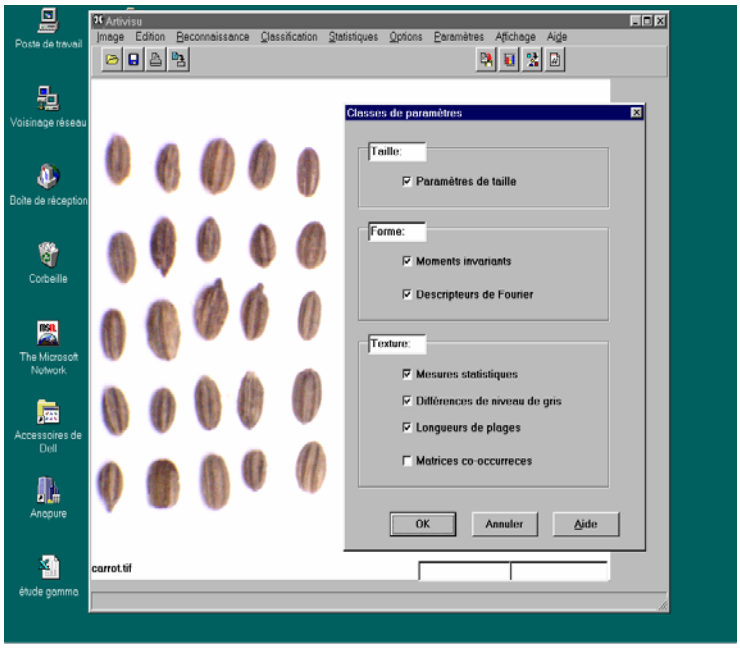


Figure 5

Dispositif d'analyse d'images en vue de caractériser la cinétique de germination des semences

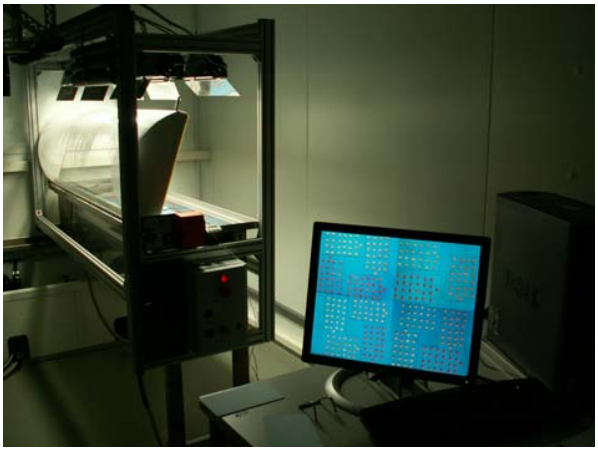
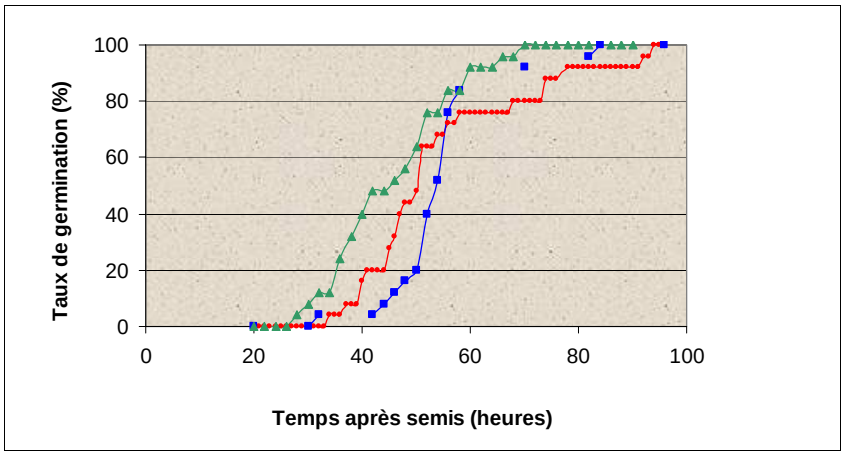


Figure 6

Caractérisation par analyse d'image de la cinétique de germination de 3 lots de semences de tournesol mis à germer à 20°C



Le contenu en chlorophylle de certaines espèces de semences se révèle être un marqueur intéressant de l'état de maturité des semences et par voie de conséquence de la qualité germinative.

En plus de la mesure de la qualité physiologique, constatation d'un fait, que nous venons de décrire, les chercheurs ont tenté depuis de nombreuses années de comprendre les mécanismes physiologiques impliqués dans la germination ou la vigueur. Ces recherches ont abouti à identifier un certain nombre de facteurs responsables de la qualité physiologique des semences.

La dormance des semences a été expliquée depuis les années 1970 par l'état d'équilibre de deux hormones (l'acide abscissique et les gibbérellines). Des travaux récents (2005) ont montré que la β-glucanase ou la β-oxydation des acides gras intervenaient dans les mécanismes de régulation de la dormance.

Des travaux encore plus nombreux ont porté sur la recherche de marqueurs de qualité germinative et en particulier du vieillissement des semences. Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer ce phénomène : la diminution de protéines spécifiques de la germination, la diminution de la synthèse d'ADN dans les semences vieillies, la péroxydation des lipides au cours du vieillissement ainsi que l'intervention de mécanismes enzymatiques éliminant les formes toxiques de l'oxygène à l'origine de la dégradation des lipides.

Des études récentes ont également montré que des protéines biotinylées appartenant à la famille des LEA (*Late Embryogenesis Abondant*) apparaissant au cours de la maturation des semences, pouvaient constituer des marqueurs intéressants de la vigueur germinative des semences.

Enfin l'action des gènes impliqués dans les nombreux mécanismes influant sur la qualité physiologique des semences (tolérance à la dessiccation, développement des semences, réponses aux stress, …) est désormais de mieux en mieux connue et ce grâce au développement de nouvelles techniques d'analyse du génome et grâce aussi à l'étude de collections de mutants portant sur ces différents évènements. De nombreuses équipes nationales et internationales ont déjà engagé des travaux qui devraient aboutir dans un avenir proche, à davantage de compréhension de l'ensemble des mécanismes complexes intervenant dans la qualité germinative

des semences. La mise au point de tests de qualité à partir de marqueurs protéiques ou moléculaires est une perspective plus lointaine mais qui ouvrirait des horizons nouveaux à l'évaluation de la qualité.

Claude Hutin en 1996 décrivait l'activité des laboratoires d'essais de semences avant les années 1960 comme essentiellement tournées vers des analyses de germination, de pureté et de teneur en eau. Au cours des cinquante dernières années, un nouveau domaine s'est considérablement développé: l'**analyse sanitaire** des semences.

Cette analyse sanitaire a débuté par des recherches de champignons transmis par semences. Les méthodes utilisées faisaient appel à des isolements sur gélose et buvard, ou à des extractions d'embryons suivies d'observation du mycélium comme pour le charbon nu de l'orge. Ces techniques de mycologies sont toujours utilisées de nos jours.

La détection des bactéries au laboratoire fait appel à des techniques d'isolement sur des milieux de culture spécifiques enrichis par exemple par des antibiotiques (fig. 7), de biochimie, de sérologie (fig. 8) et depuis les années 2000 de biologie moléculaire (fig. 9), tandis que la sérologie et l'indexation sont utilisées pour les virus. L'analyse sanitaire des semences bénéficie avec un certain décalage des progrès considérables de la médecine et de la microbiologie agroalimentaire.

Figure 7

Détection de *Fusarium roseum* sur semences de blé, méthode d'isolement sur milieu

Copyright Académie d'Agriculture de France. Séance du 5 avril 2006.

Figure 8

Détection de *Clavibacter michiganensis* susp. *michiganensis* par immunofluorescence

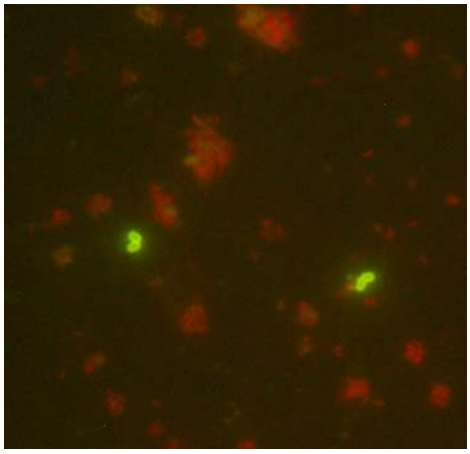
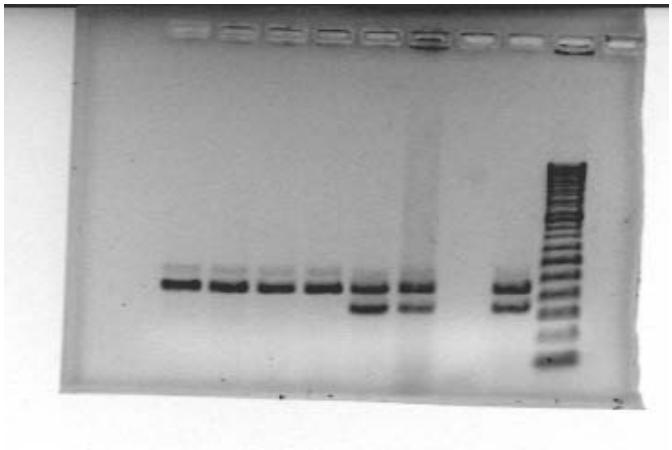


Figure 9

Identification de *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae* par PCR sur cultures pures

1 2 3 4 5 6 T- T+



Au cours des vint dernières années les avancées techniques portant sur l'analyse de l'ADN ont ouvert une nouvelle voie pour le diagnostic de l'état sanitaire des semences. L'analyse des données de séquençage de plus en plus nombreuses grâce en particulier au développement de la PCR (Polymerase Chain Reaction) ouvre des applications en détection et identification des pathogènes portés par les semences. Certaines entreprises utilisent déjà des kits de détection de

pathogènes fongiques ou bactériens par PCR ou de pathogènes viraux par ELISA.

4. Conclusion

Au cours des cinquante dernières années le monde de la semence a connu des évolutions importantes :

- Une concentration des entreprises semencières ;
- une spécialisation des zones de production au niveau mondial provoquant un accroissement significatif du commerce international ;
- une meilleure connaissance de la physiologie végétale et en particulier de la physiologie des semences permettant un meilleur contrôle de la qualité du champ à l'usine ;
- le traitement systématique des semences, traitement physiologique, enrobage et pelliculage, traitement phytosanitaire faisant de la semence un concentré de technologies en augmentant considérablement sa valeur ajoutée ;
- une nouvelle répartition des tâches entre secteur public et secteur privé, le secteur public se réservant le pouvoir réglementaire et le contrôle final et délégant au secteur privé la mise en œuvre au jour le jour des réglementations ;
- l'apparition de secteurs nouveaux d'activité comme l'agriculture biologique ou le développement des OGM entraînant l'apparition de nouveaux secteurs réglementaires.

(Reçu le 9 mai 2006)

Les auteurs remercient Sylvie Ducournau, Valérie Grimault, Maria Mannino et René Mathis pour leur participation aux paragraphes sur la qualité des semences.