

**ANNEE 2003**

**N°**

**THESE**

**Pour le**

**DIPLÔME D'ETAT**

**DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**par**

**Mathias HUBERT**

**Présentée et soutenue publiquement le 15 Septembre 2003.**

**L'UTILISATION DU RIZ GENETIQUEMENT MODIFIE  
DANS L'ALIMENTATION**

Président : Mr. J.-F. BIARD, Professeur de pharmacognosie.

Membres du Jury : Mr. Y. F. POUCHUS, Professeur de botanique et de cryptogamie,  
directeur de thèse.

Mme L. DAUVERGNE, Pharmacien.

## **Tous mes remerciements**

A Monsieur J.-F. BIARD qui a accepté la présidence du jury de cette thèse. Qu'il trouve ici toute ma gratitude.

A Monsieur Y. F. POUCHUS qui a accepté de me suivre dans ce travail et m'a soutenu chaleureusement. Que cette thèse soit le témoignage de ma sincère reconnaissance.

A Madame L. DAUVERGNE qui me fait l'honneur et l'amitié de siéger dans ce jury. Qu'elle en soit profondément remerciée.

A mes parents, à ma sœur Charlotte, à mon frère Xavier et à Marie-Laure,  
En témoignage de toute mon affection.

A tous mes amis  
Pour leur soutien  
Et pour les moments passés ensemble

## **ABREVIATIONS**

ADRAO	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ou WARDA) (membre du CGIAR)
ALENA	Accord de Libre Echange Nord Américain
BGI	Beijing Genomics Institut
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CNRS	Centre National de Recherche Scientifique
EAU	Emirats Arabes Unis
FAO	Food and Agriculture Organization (institution de l'ONU)
GRET	Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
IFPRI	International Food Policy Research Institute (membre du CGIAR)
INAPG	Institut National Agronomique Paris- Grignon
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (Anciennement ORSTOM)
IRGSP	International Rice Genome Sequencing Project
IRRI	International Rice Research Institute (membre du CGIAR)
ISNAR	International Service for National Agricultural Research (membre du CGIAR)
Kb	Kilo base
Mb	Millions de paires de bases
MPE	Malnutrition Protéino-Energétique
NERICA	New Rice for Africa
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OMS	Organisation Mondiale de la Santé (institution de l'ONU)
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (institution de l'ONU)
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
ONUDI	Organisation de Nations Unies pour le Développement Industriel (institution de l'ONU)
OVM	Organismes Vivants Modifiés
ORSTOM	Organisme de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (nouvellement IRD)
PMA	Pays les Moins Avancés
PVD	Pays En Voie de Développement
RAFI	Rural Advancement Foundation International (ONG)
RESAL	Réseau Européen de Sécurité Alimentaire
SOLAGRAL	Solidarité Agricoles et Alimentaires (membre du RESAL)
UN	United Nations (ONU)
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'Enfance (organe de l'ONU)
WARDA	West Africa Rice Development Association (ou ADRAO) (membre du CGIAR)

# SOMMAIRE

<b><u>ABREVIATIONS</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>SOMMAIRE</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>INTRODUCTION</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>1 ÈRE PARTIE :</u></b> .....	<b>10</b>
<b><u>LE RIZ : TAXONOMIE, DÉCODAGE ET CLASSIFICATION</u></b> .....	<b>10</b>
1.1 <u>LE RIZ : ORIGINE, SYSTÉMATIQUE</u> .....	11
1.2 <u>LE GÉNOME DU RIZ</u> .....	26
1.3 <u>LE GRAIN DE RIZ</u> .....	31
<b><u>2 ÈME PARTIE :</u></b> .....	<b>40</b>
<b><u>LE RIZ DANS L'ALIMENTATION</u></b> .....	<b>40</b>
2.1 <u>LA PRODUCTION ET LE COMMERCE DE RIZ DANS LE MONDE</u> .....	41
2.2 <u>LE RIZ, CÉRÉALE INDISPENSABLE</u> .....	44
2.3 <u>LES PROBLÈMES NUTRITIONNELS DANS LES PAYS CONSOMMATEURS DE RIZ</u> .....	52
2.4 <u>L'AIDE ALIMENTAIRE MONDIALE ORGANISÉE PAR LES GRANDS GROUPES</u> <u>INTERNATIONAUX</u> .....	54
<b><u>3 ÈME PARTIE :</u></b> .....	<b>61</b>
<b><u>LE RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ</u></b> .....	<b>61</b>
3.1 <u>PRÉSENTATION DES TECHNIQUES DE TRANSGÈNESE</u> .....	62
3.2 <u>L'ÉCONOMIE AUTOUR DES RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS (GM)</u> .....	77
3.3 <u>LES RIZ TRANSGÉNIQUES</u> .....	81
3.4 <u>LES LIMITES D'UTILISATION D'UN RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ</u> .....	93

<b><u>CONCLUSION</u></b> .....	106
<b><u>ANNEXE</u></b> .....	109
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b> .....	112
<b><u>Liste des figures</u></b> .....	120
<b><u>Liste des tableaux</u></b> .....	123
<b><u>Liste des photos</u></b> .....	125
<b><u>Table des matières</u></b> .....	127

# Introduction



Première céréale de l'alimentation humaine, principale source de revenu pour des millions de personnes, *Oryza sativa* L. pour le riz originaire d'Asie et *Oryza glaberrima* STEUD pour le riz originaire d'Afrique, sont des plantes modèles pour l'étude du génome des monocotylédones et, en tout premier lieu, celui des Poacées. Nourriture de base en Asie, aliment traditionnel ou simple accompagnement de l'alimentation très diversifiée des pays développés, la consommation du riz est très différente d'un pays à l'autre. Le riz correspond aujourd'hui à près de la moitié de la ration en calories de plus de 3 milliards d'hommes dans le Sud-Est asiatique et un tiers de cette ration pour un grand nombre d'hommes en Afrique et en Amérique latine.

Nos besoins mondiaux en riz augmentent de 2 % par an. Même si la production rizicole augmente, il n'est pas certain qu'elle puisse répondre à la demande liée à la croissance démographique. L'accélération de la production de riz au cours des 30 dernières années a été l'un des éléments déterminants du renforcement de la sécurité alimentaire mondiale.

Le monde dans son ensemble se trouve confronté, dans le cadre d'un développement durable et, dans le respect de l'environnement, à relever le défi alimentaire lancé par la progression de la croissance démographique. L'augmentation de la productivité et de la qualité agricole devient ainsi une gageure. Dans la mesure où il faut faire face à une raréfaction des terres suite à l'accroissement de l'industrialisation, et à des problèmes nutritionnels dans les pays en voie de développement, l'utilisation de technologies de plus en plus sophistiquées, à tous les niveaux, semble dès lors, pour certains, un impératif.

Par ailleurs, les terres disponibles se trouvent souvent dans des pays souffrant de facteurs climatologiques défavorables aux cultures. Il semble nécessaire donc de développer de nouvelles variétés qui seront à même de produire davantage et mieux dans des environnements divers tels que des sols non ou peu fertiles, arides, très humides, salins, voire pollués.

Le riz transgénique se trouve aujourd'hui au milieu de cette problématique. Pour les uns, seul les nouvelles biotechnologies viendront à bout de la malnutrition. Elles permettraient une

nouvelle explosion des rendements, sans intrants<sup>1</sup> et dans des conditions extrêmes de culture. Pour les autres, le riz résistant à la sécheresse, ou vacciné contre les virus ne fera qu'aggraver la pauvreté. Des riz « miracles », tel que le riz doré, font leur apparition pour pallier aux carences en vitamine A. Des riz à haut rendement et d'autres projets ayant plus ou moins d'avenir sont créés.

Après avoir effectué une présentation historique et systématique de la plante, nous verrons les étapes qui ont permis le décodage du génome du riz. Sa composition chimique nous orientera vers la place majeure qu'il détient dans l'alimentation. Il sera ensuite traité des problèmes nutritionnels de la majorité des pays où le riz constitue l'aliment de base, puis de la place du riz dans les programmes d'aide alimentaire. Ces considérations, nous permettront de développer dans une dernière partie les riz génétiquement modifiés. Ainsi nous débuterons par la présentation des techniques de transgénèse et de l'économie autour de ces riz. Puis, différentes variétés transgéniques seront décrites. Enfin, nous verrons les limites d'utilisation d'un riz génétiquement modifié.

---

<sup>1</sup> Ensemble des facteurs entrant dans une production donnée (matières premières, énergie, main d'œuvre, etc.) (Grand Larousse en 5 volumes, Edition Larousse, Paris, 1997, p. 1647).

## **1<sup>ère</sup> partie :**

### **Le riz : Taxonomie, décodage et classification**

D'origine asiatique ou africaine, le riz est connu et consommé depuis des millénaires.

Après avoir décrit les origines du riz, nous aborderons sa classification botanique jusqu'à la dernière étape dans cette connaissance effectuée en 2002 grâce aux techniques de génie génétique : le décryptage de deux sous-espèces de riz.

Enfin, ce grain saura nous plaire par ses différents aspects et sa composition.

## 1.1 Le riz : origine, systématique

### 1.1.1 Origine et extension de la culture du riz asiatique

(Angladette A., 1966 ; Anonyme, 1999 ; Juliano Bienvenido O., 1994 ; Weidong Gao *et al.*, 25-27 Octobre 1999)

L'ancêtre du riz, *Oryza sativa* L. est *Oryza rufipogon* GRIFF.

Il est apparu, il y a à peu près 60 à 70 millions d'années au début de la différenciation des Poacées durant l'ère tertiaire. Tout au long d'un processus d'évolution durant l'ère tertiaire et quaternaire, le riz se diversifie en zone sino-indienne, il y a environ dix mille ans, et ensuite s'étend à toute l'Asie et tout autour du monde (Weidong Gao *et al.*, 25-27 Octobre 1999). Durant le long procédé d'évolution et sous la forte pression humaine et de facteurs naturels tels la lumière, la température, et l'eau, *O. sativa* s'est modifié régulièrement et génétiquement pour devenir ce qu'il est maintenant. Par exemple, sa distribution s'est étendue, en latitude du Sud au Nord, en longitude de l'Est vers l'Ouest, des plaines aux montagnes et du printemps à l'automne et l'hiver.

Le riz est une des plus anciennes plantes vivrières cultivées dans le monde ; il est impossible de déterminer avec exactitude l'époque à laquelle l'homme a commencé à la cultiver : fut-il cultivé avant le blé ? Nous l'ignorons ; néanmoins mention est faite dans la littérature chinoise, près de 3000 ans avant notre ère, de la cérémonie du semis à laquelle l'empereur de Chine avait le privilège de procéder ; on interprète généralement cette mention comme se rapportant à la culture du riz (Angladette A., 1966).

Des découvertes archéologiques ont révélé que le riz tropical ou *indica* était cultivé à Homu-tu, dans la province de Chekiang, en Chine, il y a au moins 7 000 ans. On a également découvert des vestiges de riz tempéré ou *japonica* du même âge à Lou-jia-jiao, également dans la province de Chekiang. Récemment, au Sud de la province du Hunan (Chine), sur le site néolithique le plus ancien, Yuchanyan, daté de 9000- 8000 avant J.-C., les populations semblent avoir utilisé le riz (Anonyme, 1999).

Mais ceci ne signifie pas pour autant que la riziculture ne soit antérieure à cette époque, et qu'elle soit originaire de Chine. Il semble, au contraire, que la culture de *O. sativa* soit originaire du Sud-Est asiatique.

Certains estiment que le riz cultivé est originaire vraisemblablement de l'Inde en incluant la Birmanie.

DE CANDOLLE, dans son livre sur l'origine des plantes cultivées, pense également que *O. sativa* fut, à l'origine, domestiqué en Inde, et plus particulièrement dans le Sud, où existe les conditions favorables à sa culture : sols marécageux et inondations périodiques ; la profusion des espèces sauvages existant dans cette partie du monde semble appuyer cette thèse ; les plus anciens spécimens de riz connus sont d'ailleurs les grains de paddy carbonisés trouvés dans les grottes d'Hastinapur dans l'état d'Uttar Pradesh dans le Nord de l'Inde, et remontant à environ 1000-750 avant J.-C. ; mais il est probable que c'est à partir du Sud de la péninsule indienne que le riz se diffusa dans le Nord.

Des écrits indiens datant de 1300 avant J.-C. et de 1000 ans avant J.-C. décrivent, les premiers avec précision, certaines pratiques culturales telles que le repiquage, tandis que les seconds établissent une classification agronomique et alimentaire des riz. A partir de cette aire de domestication, le riz asiatique se propagea certainement très rapidement et très loin.

Il est maintenant admis que c'est du Sud-Est asiatique et de l'Inde que le riz se propagea vers la Chine à une époque indéterminée, mais vraisemblablement antérieure à 3000 ans avant notre ère. D'ailleurs, antérieurement au XI<sup>e</sup> siècle avant J.-C., apparaît le premier idéogramme représentatif du riz (glutineux) destiné à la fabrication de l'alcool de riz (figure 1-1) ; de cet idéogramme ont dérivé les caractères « tan » (riz gluant) (figure 1-2) et « tao » (riz ordinaire) (figure 1-3).



**Figure 1 : Idéogrammes représentatifs du riz, Musée historique, Pékin**  
(Angladette A., 1966).

**1-riz (glutineux)**

**2-caractère « tan » : riz gluant**

**3-caractère « tao » : riz ordinaire**

Puis, de Chine, le riz fut introduit en Corée et, soit de Corée, soit directement de Chine, soit des deux à la fois, vers le Japon à une époque déjà ancienne, sans doute vers 1800- 800 avant J.-C. C'est également vraisemblablement du Sud de la Chine que le riz fut introduit aux Philippines, où il est cultivé depuis l'antiquité, dès sans doute 2000 ans avant J.-C.

Parallèlement, soit directement, soit du Sud de l'Inde par la voie malaise, le riz fut propagé vers l'Indonésie par les Deutero malais, lors de la migration, quinze siècles avant l'ère chrétienne, et des documents certains montrent qu'il était cultivé à Java, en 1080 avant notre ère.

Toujours du Sud de l'Inde, le riz pénétra dans Ceylan, où il fut sans doute d'abord cultivé à sec, puis ensuite sous l'eau, grâce à la construction de vastes réservoirs analogues à ceux de l'Inde et dont on trouve encore les vestiges, certains étant toujours en usage.

L'extension d'*O. sativa* vers l'Asie occidentale, puis le bassin méditerranéen, est plus récente ; c'est sans doute sous l'empire perse, et par suite de l'établissement de celui-ci, que la culture de riz s'est étendue vers la Mésopotamie jusqu'à l'Euphrate et même la Syrie d'une part, vers le Turkestan d'autre part. Les premiers écrivains grecs dont on puisse retenir les textes sont THEOPHRASTE, un des compagnons d'ALEXANDRE LE GRAND et ARISTOBULE; à la suite de l'invasion de l'Inde par ALEXANDRE LE GRAND, en 320 avant J.-C., les grecs décrivent le riz et en introduisent la culture en Grèce ; les auteurs grecs signalent d'ailleurs que le riz était cultivé à Bactriane, contrée couvrant une partie du Turkestan actuel et l'Iran, vers 400 avant J.-C., ainsi qu'en Babylonie et en Susiane. Il est néanmoins possible que les grecs aient connu cette céréale bien avant cette époque, au contact des arabes qui visitaient la

côte occidentale de l'Inde, avant l'invasion d'ALEXANDRE. En grec, le riz est appelé **Oruza**, terme peut-être dérivé de **Arruzz** (Al-ruzz), d'origine linguistique dravidienne (famille de langues du sud de l'Inde).

Cependant, cette introduction par le truchement des armées d'ALEXANDRE ne fut guère efficace, et l'actuelle culture ne s'est implantée en Grèce que vers le VII<sup>e</sup> siècle.

L'expansion de la riziculture due aux arabes est certainement beaucoup plus importante, les introductions ayant été plus efficaces : dès le IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C., puis au I<sup>er</sup> siècle, vers l'Égypte, puis du VIII<sup>e</sup> au X<sup>e</sup> siècle, ils procédèrent à des introductions de riz asiatique à grains longs et étroits vers la côte orientale d'Afrique, et peut-être vers le Nord-Ouest de Madagascar ; ils l'emportèrent avec eux au Maroc et en Espagne, lors de l'invasion de la péninsule ibérique.

Ainsi, la culture du riz asiatique se trouvait implantée dans le bassin méditerranéen.

De leur côté, les portugais, auxquels la découverte de la route des Indes par VASCO DE GAMA avait ouvert Calcutta, Goa, les Moluques, rapportèrent avec eux le riz qu'ils introduisirent au Portugal, entre 1498 et 1505 ; il est probable que le riz fut alors importé dans le royaume de Naples, puis en Lombardie et dans le Piémont, vers 1522-1523, avec les troupes espagnoles de Frédéric D'ARAGON. Au XVI<sup>e</sup> siècle, HENRI IV ordonne que soient entreprises en Camargue les cultures du riz. Mais son essor a surtout été favorisé par les pénuries dues à la seconde guerre mondiale, puis par les incitations du plan Marshall (CIRAD, 2001a).

Des anciennes installations portugaises, hollandaises et espagnoles en Afrique (du XV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle) proviennent des introductions dans ce continent des variétés asiatiques : les deux foyers d'introduction principaux en Afrique de l'Ouest furent d'une part la zone située entre la Casamance et le Rio Nuñez et d'autre part celle située entre la Sierra Léone et le Libéria. D'un autre côté, les portugais importèrent à la même époque des riz d'Asie, à Madagascar, également introduits vers la même époque par voie indo-malaise.

Enfin, c'est beaucoup plus tard, vers la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, que hollandais et portugais importèrent le riz en Amérique du Nord (Caroline) et en Amérique du Sud, au Brésil notamment, ainsi qu'en Australie et dans les îles du pacifique.

L'extension considérable de la culture du riz asiatique est un phénomène récent, datant du XX<sup>e</sup> siècle ; elle a été et elle est favorisée par les échanges des variétés sélectionnées en provenance des grands pays rizicoles, du Japon notamment et des pays à rizicultures perfectionnée (Italie, USA) vers l'Afrique tropicale, l'Amérique latine, l'Australie ; ce sont alors les Européens qui furent les principaux protagonistes de cette culture.

### **1.1.2 Origine de la culture du riz africain**

(Angladette A., 1966)

En ce qui concerne le riz africain, *Oryza glaberrima* STEUD, il semble qu'il soit originaire du delta central nigérien ; de ce foyer primaire les races de cette espèce se sont répandues à travers tout l'Ouest africain, du Cap Vert au Tchad, sur toute l'aire de répartition de son ancêtre direct *Oryza breviligulata*, sans toutefois s'étendre comme lui jusqu'au Chari. Un centre secondaire de diversification semble s'être constitué en Haute-Gambie et Casamance, correspondant d'ailleurs à une riziculture plus évoluée (Angladette A., 1966). Cette riziculture centrale nigérienne se serait formée 1500 ans avant J.-C., c'est-à-dire il y a trente-cinq siècles, période au cours de laquelle elle n'a guère évolué. Certainement postérieure à la naissance de la riziculture asiatique, la riziculture centrale nigérienne s'est d'abord maintenue depuis le Sénégal jusqu'à l'embouchure du Niger, s'étendant dans tout le Mali jusqu'à la région de Tombouctou ; puis ensuite elle régressa devant l'introduction du riz d'Asie à partir d'installations portugaises et hollandaises sur la côte d'Afrique occidentale ; cette régression à une double cause : la plus grande souplesse d'adaptation des riz asiatiques, et en général la blancheur des caryopses de ceux-ci, alors que les caryopses d' *O. glaberrima* sont rouges.

Non seulement, en aucun cas, *O. glaberrima* n'a été mis en culture hors de sa zone d'origine, à l'époque des voyages portugais, soit en Asie, soit en Angola ou dans le Mozambique, mais on continue à observer de nos jours sa régression constante : le nombre de variétés restant en culture diminue petit à petit pour faire place à des variétés de riz asiatiques dont les introductions nouvelles se poursuivent inlassablement.



### 1.1.3 Description botanique générale des riz cultivés

(Angladette A., 1966)

Le riz est une plante annuelle, plus ou moins pubescente selon les espèces, à chaumes dressés (parfois flottants dans certaines variétés), disposés par touffes, à racines fibreuses, capillaires, touffues (Angladette A., 1966).

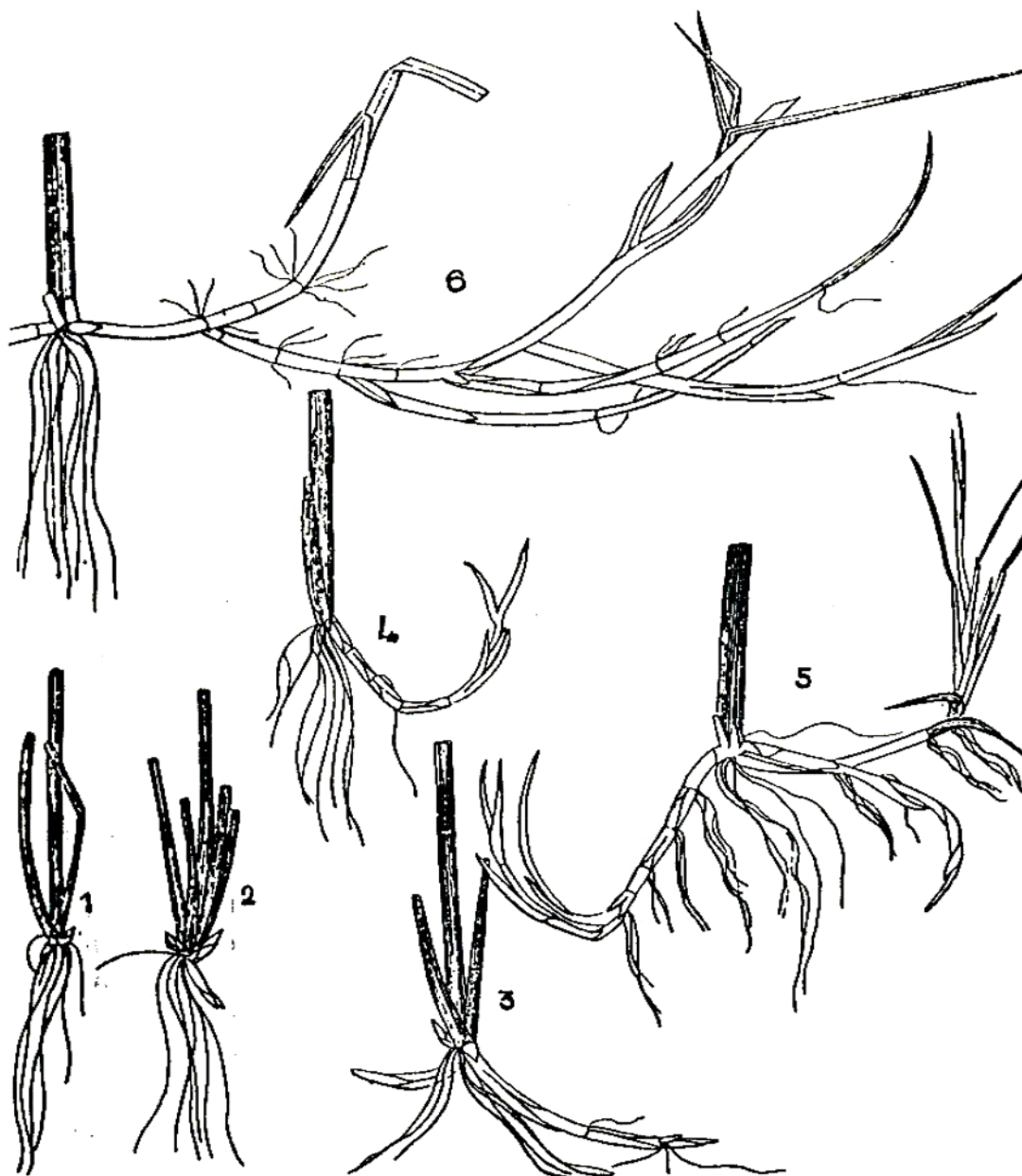
De chaque grain germé, il naît par tallage (figure 2) une touffe de quelques chaumes abondamment feuillus dans leur jeune âge, pour atteindre une hauteur variant entre 0,50 et 1,50 m, selon les variétés et jusqu'à 5 et 6 m pour les variétés flottantes. Les chaumes sont finement striés, garnis de nœuds, à partir de chacun desquels part une gaine foliaire entourant l'entre nœud immédiatement supérieur ; les feuilles, linéaires, plus ou moins longues, sont larges de 5 à 15 mm ; au sommet de la gaine, là où s'articule la feuille, se trouve une ligule entière ou lacinée, atteignant chez *O. sativa* 10 à 15 mm de long, parfois plus, et une auricule en forme de faucille de 2 à 4 mm, plus ou moins pileuse ; chez *O. glaberrima* la ligule est courte et tronquée.

Les fleurs sont disposées à l'extrémité de certains chaumes en une belle panicule (photo 1), plus ou moins compacte, longue de 5 à 15 cm, formant une courbe élégante et soit érigée, soit plus ou moins pendante à l'époque de la maturité. Chez *O. glaberrima*, les axes et les axilles de la panicule sont raides, rendant celle-ci plus rigide, moins souple que *O. sativa*. Epillets uniflores (photo2), fleurs avec six étamines et deux stigmates plumeux.

Les enveloppes florales sont de deux sortes (figure 3) :

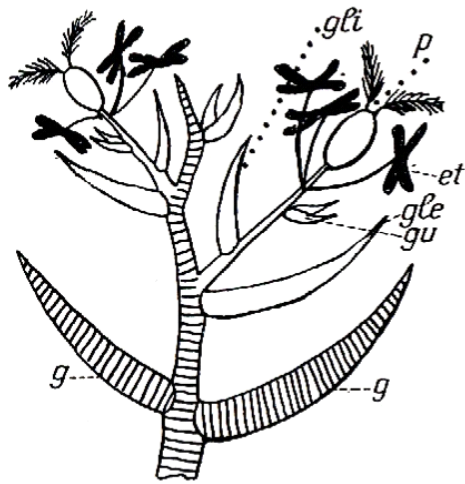
- **Les glumes**, relativement petites, persistantes non accrescentes ;
- **Les glumelles**, grandes, très coriaces, enveloppant le grain de deux valves emboîtées, le tout constituant à maturité ce qu'on nomme le paddy. Chez *O. sativa* ces glumelles sont pubescentes ou glabres ; chez *O. glaberrima* elles sont généralement glabres. La glumelle inférieure ou extérieure (emboîtante) est soit terminée par une arête longue (riz barbus) ou plus ou moins courte (riz aristés), soit sans arête. Chez *O. glaberrima* cette glumelle ne se termine que

par un bec ou une très courte arête épaisse ne dépassant pas 1,8 cm, alors que la barbe de *O. sativa* peut atteindre 7 cm.



**Figure 2 : Développement et ramification des rhizomes de *Oryza barthii* par phénomène de tallage**  
(Angladette A., 1966).

1. Sur un plant de semis, début de développement de rhizome.
2. Les deuxième et troisième bourgeons rhizomateux naissent, tandis que le premier s'enfonce dans le sol.
3. Allongement du rhizome avec enracinement aux nœuds.
4. Le rhizome à géotropisme positif au début de développement, se relève de l'extrémité avec formation d'un chaume aux dépens du bourgeon terminal.
5. Le deuxième rhizome se relève à son tour de l'extrémité ; il donne directement deux chaumes par branchement au niveau de l'ancien bourgeon terminal.
6. Type de ramification d'un rhizome.



**Figure 3 : schéma d'un épillet** (Guignard J.L., 2001) (la longueur des pédicelles ou pédoncules floraux a été exagérée pour mieux montrer les rapports existant entre les différentes bractées); g, glumes; gli, glumelle interne; gle, glumelle externe; gu, glumellules; p, pistil surmonté de ses deux stigmates plumeux; et, étamines.



**Photo 1 : Panicule entière de riz *Oriza sativa*** (IRD, Mars/Avril 2001).



**Photo 2 : Quelques épillets de la panicule** (CIRAD, 2001b).

### 1.1.3.1 Systématique des Oryzées

Les riz cultivés appartiennent au groupe des *Oryza* L. de la sous-famille des Oryzoidées, de la famille des Poacées (Guignard J.L., 2001 ; Walter S. Judd *et al.*, 2002).

- Embranchement de Spermaphytes ou « plantes à graines ».
- Sous-embranchement des Angiospermes (plantes à fleurs ou anthophytes)
- Classe des Monocots, Monocotylédones, ou Monocotylées. Ils font partie des Monocots évolués, Commélinidées ou *Commelinanae*. (Cet ensemble se caractérise par un marqueur chimique, la présence d'acide férulique au niveau de la paroi pecto-cellulosique, des vaisseaux parfaits).
- Ordre des Poales.
- Famille *Poaceae*, Poacées ou Poales.
- Sous-famille *Oryzoideae* ou Oryzoidées.

### 1.1.3.2 La sous-famille des Oryzoidées

Cette tribu est caractérisée par des épillets en grappes ou en panicules, tantôt uniflores, et alors souvent privés de glumes, tantôt de deux ou trois fleurs, la ou les fleurs inférieures ne possédant qu'une seule pièce : leur glumelle, la fleur terminale étant seule fertile ; les étamines sont souvent au nombre de six, mais quelquefois en nombre moindre, réduit même parfois à l'unité.

La sous-famille des Oryzoidées comporte plusieurs genres dont le nombre varie selon les botanistes, de quatre à seize.

La sous-famille comporte deux groupes : les Oryzinées et les Zizaninées, entre lesquels quatre genres fondamentaux sont distribués, selon leur mode de sexualité et la présence ou l'absence de glumes (Angladette A., 1966) :

a) épillets bisexués (Orizinées) :

- **Glumes présentes**, le plus souvent rudimentaires mais bien visibles ; épillets comprimés latéralement; caryopse étroitement enfermé dans les glumelles indurées :

Genre *Oryza*.

- **Glumes absentes** :

- Epillets sur des pédicelles très courts, très comprimés latéralement, assez semblables a ceux des *Oryza*, mais plus petits (3-4 mm) :

Genre *Leersia*.

Ce genre, très proche du genre *Oryza*, comporte six espèces des régions boréales et tropicales, fournissant un excellent fourrage.

- Epillets sur des pédicelles de longueur variable, solitaires, peu nombreux, lancéolés, à glumelles papyracées, longuement coudées :

Genre *Hygroryza*.

Ce genre ne comporte qu'une espèce : *Hygroryza aristata* NESS, que l'on rencontre en Inde, Ceylan, Viêt Nam.

b) épillets unisexués (Zizaninées) :

Inflorescence en panicule étroite, à rameaux très nombreux, subdressés, glumes absentes, glumelles membraneuses, étroitement oblongues (10 mm × 1,5 mm), l'inférieur étant prolongée par une longue arête, de 8 à 10 mm pour les épillets mâles, de 15 à 20 mm pour les épillets femelles :

Genre *Zizania*.

Ce genre comprend deux espèces :

- *Zizania latifolia* TURCZ, graminée vivace à stolon, originaire de Chine centrale et occidentale, cultivée dans le Nord-Viêt Nam, en mares ou bas-fonds ; le bourgeon floral, avorté par attaque cryptogamique (d'*Ustilago esculentum*) s'hypertrophie à la base de la tige et est utilisé comme légume ;
- *Zizania aquatica* L. ; cette espèce constitue le riz sauvage d'Amérique du Nord (« wild rice »= « water rice »), récolté en barque, puis décortiqué après séchage et fumage.

A ces quatre genres fondamentaux ont été ajoutés des genres secondaires (*Potamophila*, *Maltebrunia*, *Luziola*, *Zisanopsis* et *Hydrochloa*), alors que divers genres de la tribu en ont été séparés (*Lygées*, *Pharées*).

### 1.1.3.3 Le genre *Oryza*

Les différentes espèces du genre *Oryza* n'ont, à l'exception d'*Oryza sativa* L., retenu l'attention des botanistes que depuis deux siècles. Il faut attendre le XXe siècle pour trouver la description par les botanistes de formes spontanées de riz. Ces descriptions se sont multipliées, aboutissant dans bien des cas à une certaine confusion dans la nomenclature. Des synonymies ont pu être reconnues, tandis que certaines espèces ont pu être regroupées. On trouvera ci-après, la liste de ces variétés classées selon leur nombre de chromosomes, leur actuelle répartition géographique connue, ainsi que leur date d'invention ou de description (tableau 1) (Angladette A., 1966 ; IRRI, 27 Mai 2003 ; FAO, Janvier 2000).

**Tableau 1 : Liste des variétés du genre *Oryza* classées selon leur nombre de chromosomes, leur actuelle répartition géographique connue, ainsi que leur date d'invention ou de description**  
(Angladette A., 1966 ; IRRI, 27 Mai 2003 ; FAO, Janvier 2000).

Espèces	Chromo-somes no. (2n)	Distribution	Date d'invention
<u>cultivée</u>			
<i>O. glaberrima</i>	24	Afrique occidentale.	1855
<i>O. sativa</i>	24	Originaire d'Extrême-Orient (Inde-Indochine).	1723
<u>sauvage</u>			
<i>O. alta</i>	48	Amérique centrale et du Sud.	-
<i>O. australiensis</i>	24	Australie.	1915
<i>O. barthii</i> ( <i>O. breviligulata</i> )	24	Afrique occidentale et centrale, Soudan.	1914
<i>O. brachyantha</i>	24	Afrique occidentale et centrale, Soudan.	1914
<i>O. eichingeri</i>	24, 48	Afrique orientale et centrale.	-
<i>O. grandiglumis</i>	48	Amérique du Sud.	-
<i>O. granulata</i>	24	Inde, Ceylan, Birmanie, Thaïlande, Malaisie, Cambodge, Viêt Nam, Indonésie.	1828-1897
<i>O. latifolia</i>	48	Amérique centrale et du Sud, indochine.	1913
<i>O. longiglumis</i>	48	Amérique du Sud.	-
<i>O. longistaminata</i> ( <i>O. bathii</i> )	24	Afrique.	-
<i>O. meyeriana</i>	24	Asie du Sud-Est, chine du Sud.	1846
<i>O. minuta</i>	48	Malaisie, Indonésie, Philippines.	1830
<i>O. nivara</i> ( <i>O. fatua</i> , <i>O. rufipogon</i> )	24	Asie du Sud et du Sud-Est, Chine du Sud, Australie.	-
<i>O. officinalis</i>	24	Inde, Birmanie, Chine du Sud, Nouvelle Guinée.	1828
<i>O. punctata</i>	48	Afrique tropicale N.-E. (Afrique occidentale).	1855
<i>O. ridleyi</i>	48	Thaïlande, Malaisie, Cambodge, Indonésie, Nouvelle Guinée.	1897
<i>O. rufipogon</i> ( <i>O. perennis</i> , <i>O. fatua</i> , <i>O. perennis subsp. Balunga</i> )	24	Asie du Sud et du Sud-Est, Chine du Sud.	1794
<i>O. rufipogon</i> ( <i>O. perennis subsp. cubensis</i> )	-	-	1794
<i>O. schlechteri</i>	-	Nouvelle Guinée.	1914



#### 1.1.3.4 Taxonomie de l'espèce *Oryza sativa*

*Oryza sativa* est l'espèce la plus cultivée et celle que l'on trouve dans le monde entier. On a classifié les variétés de *O. sativa* en deux groupes : « Xian » et « Jing » équivalent aux termes modernes de sous-espèces *japonica* et *indica* (tableau 2) (Weidong Gao et al., 25-27 Octobre 1999). La sous-espèce *indica* pousse en conditions aquatiques sous climat équatorial et tropical. La sous-espèce *japonica* pousse en conditions aquatiques majoritairement sous climat tempéré et en conditions pluviales sous climat tropical (CIRAD, 2002).

Selon le scénario de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) sur la base d'analyses moléculaires des collections mondiales de riz sauvages et cultivés, c'est l'érection de la chaîne himalayenne, il y a 2 à 3 millions d'années, qui a contribué à isoler les deux sous espèces asiatiques, leurs ancêtres sauvages ayant dès lors évolués séparément en Asie du Sud et en Chine (IRD, Mars/Avril 2001).

**Tableau 2 : Système taxonomique des sous-espèces, écogroupes et écotypes du riz cultivé asiatique**  
(Weidong Gao *et al.*, 25-27 Octobre 1999).



## 1.2 Le génome du riz

### 1.2.1 Le riz, plante modèle pour les Poacées

(Cantrell Ronald P. et Reeves Timothy G., 2002 ; CIRAD, 2001c ; Delseny M. *et al.*, 2000 ; Normile D., Pennisi E., 2002)

Outre son importance comme valeur alimentaire et socio-économique, le riz s'est imposé aux généticiens comme une plante modèle, pour l'étude du génome des Poacées.

Pour accéder au statut de **plante modèle**, une espèce doit présenter des particularités biologiques qui rendent l'étude de son génome particulièrement aisée et offrir la perspective de pouvoir utiliser les informations recueillies pour connaître et améliorer d'autres espèces. A l'image de l'arabette, *Arabidopsis thaliana*, plante sauvage très utilisée dans les études scientifiques chez les Dicotylédones, le riz, qui possède le plus petit génome des Poacées cultivées, est utilisé comme plante modèle pour l'étude du génome des Monocotylédones (CIRAD, 2001c).

Avec une taille estimée à 420-430 millions de paires de bases (Mb)- soit tout de même plus du triple d' *Arabidopsis* (125 Mb)- le génome du riz est l'un des plus petit parmi les céréales (3 000 Mb chez le maïs, 16 000 Mb chez le blé) (tableau 3) (Normile D., Pennisi E., 2002).

Tableau 3 : Tailles estimées de génomes (Normile D., Pennisi E., 2002).

Espèce	nombre de paires de bases
<i>Arabidopsis</i>	125 millions
<i>Drosophila</i>	180 millions
Riz	430 millions
Maïs	3 000 millions
Homme	3 000 millions
Blé	16 000 millions

Pour qu'il acquière le statut de génome de référence, il a fallu que sa cartographie comparée révèle des similitudes importantes dans la disposition de ses gènes avec les autres

Poacées. La distance physique entre deux gènes est en générale plus courte chez le riz que chez le maïs ou le blé. L'organisation du génome ancestral des Poacées a été conservée au cours de l'évolution, au moins partiellement. On parle alors de **colinéarité** (Cantrell Ronald P. et Reeves Timothy G., 2002). Ces similitudes entre génomes permettent d'envisager l'utilisation du génome du riz pour isoler plus facilement un gène d'intérêt agronomique. Celui-ci pourra ensuite servir de « sonde » repérable pour rechercher son homologue chez le blé, le maïs, le sorgho. La multiple variété du riz adaptée à une large diversité d'environnements constitue également un modèle naturel pour l'étude des réponses adaptatives aux stress environnementaux. En pratique, le riz sera le premier à bénéficier des résultats de ces recherches.

### **1.2.2 2002, le génome du riz**

(Delseny M. *et al.*, 2000 ; Normile D., Pennisi E., 2002)

Tout débute en 1991, le Japon installe un projet de recherche sur le génome du riz. Ils font la preuve de la colinéarité entre les génomes des différentes céréales.

Mai 1993, la Chine entre dans la course au décryptage du génome du riz.

Septembre 1997, Singapour, un consortium international de séquençage du riz est créé. *Oryza sativa* L. ssp. *japonica* est choisi pour être séquencé.

Février 1998, les représentants japonais, américains, anglais, chinois et Sud-coréen du consortium se proclament « The International Rice Genome Sequencing Project (IRGSP) » et se fixe pour date limite : 2008.

Le 4 Avril 2000, Monsanto (St. Louis, Missouri, USA) devance l'IRGSP en annonçant un premier brouillon du génome du riz en association avec l'université de Washington, Seattle. La variété choisie était la même que celle du consortium public. La compagnie promet de partager ses notes avec l'IRGSP et la recherche privée.

Mai 2000, l'institut de génétique de Pékin (BGI, Beijing Genomics Institut) décide de séquencer son propre riz *Oryza sativa* L. ssp. *indica*.

Janvier 2001, Syngenta, en association avec Myriad Genetics, révèle avoir réussi un brouillon du génome de *japonica* (après l'avoir couvert 6 fois).

Octobre 2001, BGI complète son séquençage et rend public un premier jet.

Décembre 2001, l' IRGSP décide de couvrir 10 fois le génome du riz pour une plus grande précision avant la fin de l'année 2002.

Le 5 Avril 2002, la compagnie Suisse Syngenta et le BGI (Beijing Genomics Institut) publient respectivement, dans la revue *Science*<sup>2</sup>, un brouillon du génome de *Oryza sativa* L. ssp., *japonica* (cultivar Nipponbare) et *Oryza sativa* L. ssp. *indica*.

La séquence d'*Oryza sativa* L. ssp. *indica* est accessible à tous via la banque de données GenBank. Celle d'*Oryza sativa* L. ssp., *japonica* est protégée par un brevet et l'accès est limité par Syngenta.

---

<sup>2</sup> Science, Volume 296, 2002, p.79 à 100.

### 1.2.3 Perspectives du décryptage complet du riz

(Cantrell Ronald P. et Reeves Timothy G., 2002 ; CIRAD, 2001c ; Science, 2002)

Une fois la cartographie du génome du riz totalement décryptée, il convient de connaître le rôle de chacune des séquences. La technique la plus efficace consiste à intégrer dans le génome une séquence d'ADN étranger (appelé **transgène**) par l'intermédiaire de la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* (CIRAD, 2001c). Cette transformation génétique permet d'explorer les fonctions du génome et de tester l'action de gènes clonés ou des séquences d'ADN qui régulent l'expression de ces gènes. Un petit segment repérable et connu d'ADN étranger, un mutant d'insertion, est inséré au hasard dans le génome du riz. Ce segment altère la fonction du gène dans lequel il s'est intégré et donc la caractéristique correspondante de la plante. Grâce à ce fragment d'ADN repérable, le gène modifié peut être identifié et sa fonction déduite du caractère modifié. La généralisation de cette démarche à l'ensemble du génome permettrait d'attribuer une fonction à tous les gènes responsable de chaque fonction métabolique ou du développement de la plante. Pour couvrir tout le génome, il est nécessaire de disposer d'un grand nombre de mutants d'insertion, de 50 000 à 100 000. L'analyse des conséquences de la perturbation d'un gène chez un premier mutant peut permettre de repérer les autres gènes qui interagissent avec lui, de rechercher d'autres mutants affectés dans ses gènes et, de proche en proche, de mettre à jour les réseaux globaux d'interactions entre gènes.

Aussi le riz détient le plus petit génome de toutes les céréales et présente un très haut taux de colinéarité avec le génome du blé, du maïs et de l'orge. La petite taille du génome du riz permet d'avoir les bases génomiques des Monocots, et facilitera sûrement leur séquençage. Syngenta pense que 90 % du génome du riz peut-être utilisé pour servir de sonde dans le décryptage du génome du maïs, par exemple (Cantrell Ronald P. et Reeves Timothy G., 2002). Ces observations suggèrent que la plus part des gènes sont conservés, et que leur variation phénotypique n'est dû que à un faible nombre de différences au niveau de la succession des gènes ou au niveau nucléotidique. La comparaison a été utilisée entre le génome du riz avec celui de *A. thaliana*. On prédisait une homologie de 80,6 % entre le génome du riz et celui de *A. thaliana*, qui ne s'est révélée de n'être que de 49,4 %. Cependant, des homologues suspectés de la plupart des protéines de *A. thaliana* ont été identifiés. Les fonctions de certains gènes du riz ont été obtenues par comparaison avec l'arabette (Science, 2002).

Par la suite, si un gène d'intérêt agronomique (résistances, haute productivité...) existe chez le riz, il y a une probabilité pour qu'il puisse être insérer dans le génome d'une autre céréale.

### 1.3 Le grain de riz

(CIRAD, Février 2002 ; Toussaint-Samat M., 1987 ; Vivendi-universal-interactive, Mai 2002)

Des dizaines de milliers de variétés de riz sont cultivées à travers le monde ; tout au plus quelques-unes d'entre elles sont offertes à notre choix dans les magasins d'alimentation. Le terme RIZ désigne le grain récolté, comme il désigne l'aliment cuisiné. Mais le riz ne se consomme pas sous la forme où il est récolté. Avant d'arriver dans l'assiette des consommateurs, il subit un usinage qui le transforme en riz consommable. Chacune des étapes de cette transformation a une influence sur la qualité du produit (CIRAD, Février 2002 ; Toussaint-Samat M., 1987 ; Vivendi-universal-interactive, Mai 2002).

- Après la récolte (figure 4), le riz est battu. On obtient alors des grains qui sont encore vêtus de leur balle (les glumes et glumelles), c'est le **riz paddy**.
- Puis le riz subit une opération de décortiquage. Il est alors débarrassé de ses glumes et glumelles, et devient le **riz cargo** ou **riz complet**. Il est déjà consommable mais assez long à cuire (40 à 45 minutes).
- Le riz est ensuite blanchi par abrasion des grains qui sont ainsi débarrassés de leurs péricarpe (plus ou moins coloré), téguments et germe. On obtient du **riz blanchi** (également appelée riz blanc ou mat). Il est alors essentiellement composé d'amidon, et sa valeur nutritive est comparable à celle du blé.

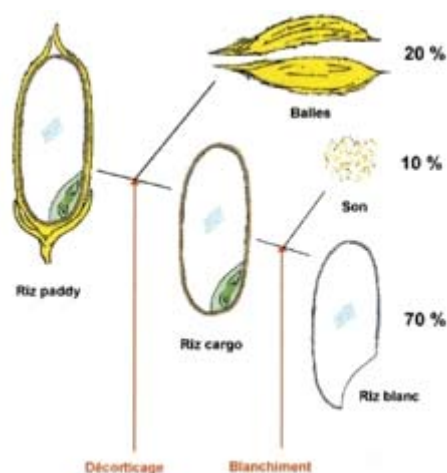


Figure 4 : Usinage du riz (CIRAD, 2001d).



- Le **riz poli** est un riz blanc, débarrassé des farines qui adhèrent aux grains. Le **riz glacé** est un riz poli, enrobé d'une fine couche de talc.
- Le **riz brun étuvé ou prétraité** est un riz paddy parfaitement nettoyé, trempé dans de l'eau chaude, étuvé à la vapeur d'eau à basse pression. Le **riz blanc** étuvé ou prétraité subit le même traitement mais il est décortiqué et poli.
- La variété appelée « **riz sauvage** » vient d'une Poacée appelée *Zizania aquatica*. Ses graines noires ressemblent à des aiguilles et ont une saveur de noisette.
- Le **riz basmati** est un riz indien à très petits grains longs, au goût particulier. Le basmati « vieux », plus rare, est très prisé par les indiens et les pakistanais. Le riz basmati est naturellement parfumé, tout comme le **riz Thaï parfumé**.
- Le **riz surinam**, à grains très longs et très fins, est produit en Guyane hollandaise (Surinam).
- Le **riz gluant** (ou collant), à grains longs, assez rare, possède une forte teneur en amidon.
- Le **riz « Rouge »** est cultivé notamment en Camargue. Cette variété de riz est naturellement rouge à l'état complet. On la trouve seule, ou commercialisée dans les mélanges de riz.
- Le **riz vert** est récolté au Viêt Nam à l'apogée de la montée de sève lorsque les grains sont au stade « laiteux ». Aplatis et séchés, ils prennent l'aspect de flocons verdâtres. On le réserve à certains gâteaux, comme les banh'côm, farcis avec de la purée de soja jaune.
- L'**alcool de riz ou saké** est surtout à base de riz de montagne très riche en matières azotées, ou de riz gluant. Le **vin de riz**, le maïkoa-lo des Chinois, est parfumé ou non de fleurs ou de fruits. On le sert peu à table si ce n'est à l'occasion de fêtes mais il participe aux libations religieuses.

Le grain de riz (riz paille ou paddy) consiste en une enveloppe protectrice (**la balle**) et en un **caryopse** ou fruit (riz brun, riz cargo ou riz décortiqué) (figure 5). Le riz cargo comprend les couches externes du péricarpe, le tégument et le nucelle, ainsi que le germe ou embryon (tissu maternel) et l'albumen (l'endosperme). L'albumen comprend la couche de cellules à aleurone, l'albumen proprement dit étant composé de la couche subaleurone et de la substance interne amylicée. La couche d'aleurone recouvre l'embryon. La pigmentation se limite au péricarpe (Juliano Bienvenido O., 1994).

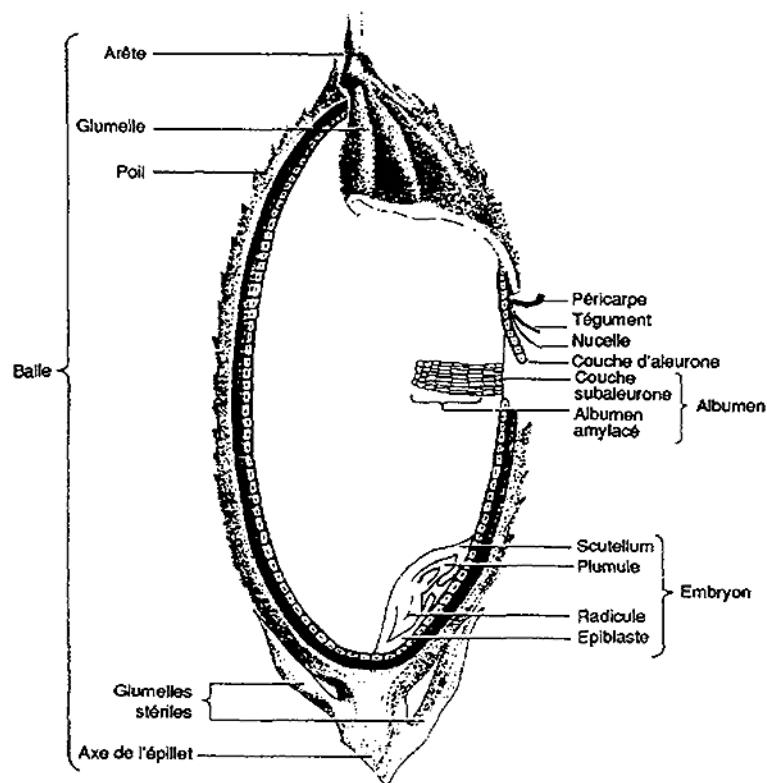


Figure 5 : Section longitudinale du grain de riz (Juliano Bienvenido O., 1994).

La balle constitue environ 20 pour cent du poids du paddy, mais les valeurs varient de 16 à 28 pour cent.

### 1.3.1 Classification du riz

(Mokasofa, Mars 1999 ; Terroirs d'enFrance, 2002 ; Toussaint-Samat M., 1987 ; Vivendi-universal-interactive, Mai 2002)

Il n'existe aucune norme internationale pour la granulométrie et la forme du riz cargo (Juliano Bienvenido O., 1994). L'IRRI (Institut International de Recherches sur le Riz) applique le barème suivant pour la taille :

- Extra-long,  $> 7,50$  mm;
- Long, 6,61-7,50 mm;
- Moyen, 5,51-6,60 mm;
- Court,  $< 5,50$  mm.

Pour la forme du grain, le barème est fonction du rapport longueur/largeur :

- Mince,  $> 3,0$ ;
- Moyen, 2,1-3,0;
- Large, 1,1-2,0;
- Rond,  $\leq 1,0$ .

Ce classement est utilisé depuis 1988 au sein de la communauté européenne.

Examinant le projet de norme pour le riz, le comité de la Commission du Codex Alimentarius a proposé la classification suivante du riz usiné sur la base du rapport entre la longueur et la largeur du grain :

- Grain long,  $\geq 3,1$  (riz *indica*, riz Basmati, Jasmin, Surinam, Thaï, Américain, riz gluant, les « nouveaux » riz de Camargue) ;
- Grain moyen, 2,1-3,0 (riz type bulu de Ceylan, riz Wehani) ;
- Grain court,  $\leq 2,0$  (ou « rond », riz *japonica*, riz de Camargue, les riz italiens : l'Arborio, le Carnaroli, le Vialone nano, le riz Calrose).

### 1.3.2 Composition en nutriments bruts

(Juliano Bienvenido O., 1994)

Parmi les fractions d'usinage du riz, le **son** (l'embryon et la couche de cellules à aleurone) est celle qui a la plus forte teneur en énergie et en protéines et la balle est celle qui en a la plus faible. Seule la fraction de riz cargo est comestible.

L'usinage par abrasion ou par frottement pour éliminer le péricarpe, l'enveloppe, le tégument externe, la couche d'aleurone et l'embryon, afin d'obtenir du riz usiné, entraîne une perte de lipides, protéines, fibres détergentes brutes et neutres, principes minéraux, thiamine (vitamine B1), riboflavine (vitamine B2), niacine (vitamine B3) et tocophérol alpha.

Les glucides digestibles, s'agissant principalement d'amidon, sont plus abondants dans le riz usiné que dans le riz cargo. Les gradients pour les divers nutriments ne sont pas identiques, ainsi qu'il ressort de l'analyse de fractions d'usinage successives de riz cargo et de riz usiné (figure 6). La teneur en fibres alimentaires est la plus élevée dans la couche de son (et la balle) et elle est la plus faible dans le riz usiné.

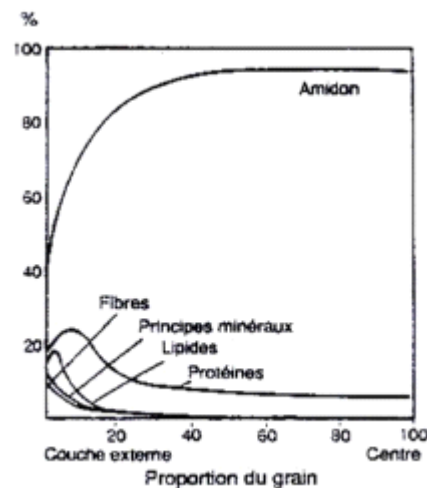
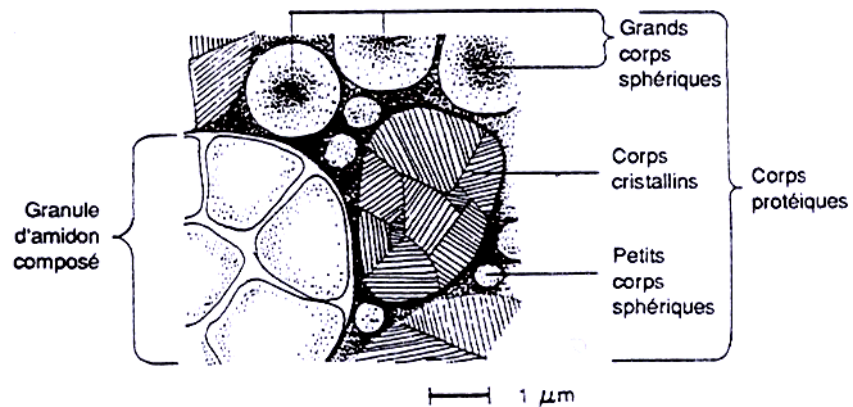


Figure 6 : schéma de répartition des principaux éléments constitutifs du riz cargo avec usinage au moyen d'une machine agissant par abrasion tangentielle (Juliano Bienvenido O., 1994).



**Figure 7 : Diagramme schématique de divers corps protéiques et granules d'amidon composé dans la couche subaleurone de l'albumen (Juliano Bienvenido O., 1994).**

Les vitamines B sont concentrées dans les couches de son, tout comme le tocophérol alpha (vitamine E). Le grain de riz ne contient ni vitamine A, ni vitamine D, ni vitamine C (FAO, 1954).

Les minéraux (cendres) sont également concentrés dans les couches extérieures du riz cargo ou dans la fraction constituée par le son.

### 1.3.2.1 Amidon

(Juliano Bienvenido O., 1994)

L'amidon est la principale composante du riz usiné, représentant environ 90 pour cent de l'extrait sec. C'est un polymère du glucose D à liaison  $\alpha$ -(1-4) et il se compose habituellement d'une fraction essentiellement linéaire, l'**amylose**, et d'une fraction ramifiée, l'**amylopectine**. Les points de ramification sont des liaisons  $\alpha$ -(1-6).

La structure des granules d'amidon n'est pas encore bien connue, mais la cristallinité et le vieillissement sont attribués à la fraction d'amylopectine.

### 1.3.2.2 Protéines

Les protéines de l'endosperme (**riz usiné**) se composent de plusieurs fractions: 15 pour cent d'albumine (soluble dans l'eau), plus globuline (soluble dans les solutions salines), de 5 à 8 pour cent de prolamine (soluble dans l'alcool) et le reste de glutéline (soluble dans les alcalis). En ayant recours à l'extraction séquentielle des protéines, on a obtenu la répartition moyenne suivante sur 33 échantillons: 9 pour cent de prolamine, 7 pour cent d'albumine plus globuline et 84 pour cent de glutéline (Huebner F.-R. *et al.*, 1990). La teneur moyenne en prolamine de sept riz usinés de l'IRRI s'établissait à 6,5 pour cent des protéines totales. La teneur en lysine des protéines du riz est de 3,5 à 4,0 pour cent, soit l'une des plus élevées parmi les protéines céréalières.

Les protéines du son du riz sont plus riches en albumine que les protéines de l'albumen et se présentent sous forme de corps protéiques distincts contenant des globoïdes dans la couche de cellules à aleurone et dans le germe. Ces structures sont différentes des corps protéiques de l'albumen.

Les protéines de l'albumen sont localisées principalement dans les corps protéiques (figure 7 et 8). Les corps protéiques cristallins (PB-II) sont riches en glutéline, et les grands corps protéiques sphériques (PB-I) sont riches en prolamine. On a estimé que les protéines de réserve de l'albumen étaient composées de 60 à 65 pour cent de protéines PB-II, de 20 à 25

pour cent de protéines PB-I et de 10 à 15 pour cent d'albumine et de globuline dans le cytoplasme.

L'amylose des granules amylicés du riz est liée à un maximum de 0,7 pour cent de protéines, s'agissant principalement des protéines du gène gluant ou de synthase amylicée liée aux granules.

### **1.3.2.3 Lipides**

(Juliano Bienvenido O., 1994)

La teneur du riz en lipides ou matières grasses est principalement dans la fraction constituée par le son (20 pour cent de l'extrait sec), expressément sous forme de corps lipidiques ou sphérosomes dans la couche d'aleurone et le son, mais le riz usiné contient de 1,5 à 1,7 pour cent de lipides, principalement sous forme de lipides non amylicés. Les corps protéiques, en particulier le noyau, sont riches en lipides. Les principaux acides gras de ces lipides sont les acides linoléique, oléique et palmitique. La teneur de l'huile de riz en acides gras essentiels est d'environ 29 à 42 pour cent pour l'acide linoléique et de 0,8 à 1,0 pour cent pour l'acide linoléique. La teneur en acides gras essentiels peut augmenter directement sous l'effet de la température pendant le développement du grain, mais au prix d'une diminution de la teneur totale en huile.

Les lipides de l'amidon sont principalement des lipides monoacyles (acides gras et lysophosphatides) associés avec l'amylose. Les lipides de l'amidon sont protégés du rancissement d'oxydation. Cependant, les lipides de l'amidon ne contribuent que peu à la teneur du grain de riz en énergie. Les principaux acides gras des lipides de l'amidon sont les acides palmitique et linoléique, avec une moindre quantité d'acide oléique.

### **1.3.2.4 Polyosides non amylicés**

(Juliano Bienvenido O., 1994)

Les polyosides non amylicés se composent de polyosides hydrosolubles et de fibres alimentaires insolubles. Ils peuvent s'associer à l'amidon, et il se peut qu'ils aient un effet hypocholestérolémique. L'albumen a une plus faible teneur en fibres alimentaires que les autres constituants du riz cargo. D'autre part, l'albumen ou membrane du riz usiné a une faible teneur en lignine mais une forte teneur en substances pectiques ou pectine.

### **1.3.2.5 Composés volatils**

(Juliano Bienvenido O., 1994)

Les composés volatils caractéristiques du riz cuit sont l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré et l'acétaldéhyde. A la cuisson, tous les riz aromatiques contiennent comme principe aromatique principal la 2-acétyl-1-pyrroline. Les composés volatils caractéristiques du rancissement des matières grasses sont les aldéhydes, notamment l'hexanal, et les cétones.



## **2<sup>ème</sup> partie :**

### **Le riz dans l'alimentation**

Avant de voir différents riz génétiquement modifiés, il convient de s'intéresser à la place du riz dans l'alimentation. Ainsi nous verrons brièvement sa production et son commerce dans le monde. Ensuite la notion de sécurité alimentaire et l'importance de la consommation de cet aliment dans de nombreux pays seront décrites.

Puis nous introduirons les problèmes nutritionnels que connaissent la plupart des pays consommateurs et producteurs. Enfin, on placera le riz au centre de l'aide alimentaire mondiale et on dégagera son rôle actuel pour l'amélioration de la valeur nutritive.

## **2.1 La production et le commerce de riz dans le monde**

(CIRAD, 2001e ; CIRAD, Février 2002 ; FAO, Septembre 1998 ; FAOSTAT, 2002)

Avec une production de **592,8 millions de tonnes de paddy** en 2001, soit 397,2 millions de tonnes de riz blanchi (pour une surface totale de culture d'environ 150 millions d'hectares), le volume de riz produit dans le monde est proche de celui du maïs (600 millions de tonnes environ) ou du blé (570 millions de tonnes) (FAOSTAT, 2002).

Un petit nombre de pays domine l'offre mondiale : la Thaïlande, le Viêt Nam, les Etats-Unis et le Pakistan détiennent **70 % du marché mondial** (CIRAD, Février 2002). Ces pays se livrent une véritable guerre commerciale pour tenter de capter de nouveaux marchés et écouler leurs importants surplus exportables, entraînant une baisse tendancielle des prix mondiaux.

Le riz est cultivé sur tous les continents, des zones tropicales aux zones tempérées et à toutes les altitudes. Cependant, il s'agit d'une **culture avant tout asiatique**, ce continent assurant plus de **90 % de la production mondiale** (actuellement quelque 520 millions de tonnes), avec en particulier la Chine (33 %), l'Inde (22 %) et l'Indonésie (9 %), couvrant plus du tiers des besoins en calories des 3,1 milliards d'habitants de la région. Dans les dix prochaines années, la production asiatique ne devrait progresser que de 1 % par an, en raison d'une stagnation voire diminution des superficies dans certains pays liée à une urbanisation croissante accaparant les terres, à une pénurie de main d'œuvre agricole et à une raréfaction de l'eau pour la riziculture irriguée. En Amérique du sud et en Afrique, la production de riz a augmenté de 3,2 % à 3,6 % au cours des dix dernières années. Ces taux de croisements ne devraient guère dépasser les 2,5 % dans la décennie à venir en raison d'une progression des rendements moins rapide que par le passé (CIRAD, 2001e).

Au cours des 25 dernières années, le commerce mondial du riz a plus que doublé, progressant de 3,5 % par an. Cependant, ce commerce ne concerne que **6 % de la production mondiale**. La production des grands pays rizicoles suffit tout juste à satisfaire leur consommation nationale. Aussi, quand les récoltes sont déficitaires, le poids démographique de pays comme la Chine ou l'Indonésie induit de fortes importations qui déstabilisent les

échanges internationaux et pèsent sur les prix mondiaux. De même, en année excédentaire, ces pays inondent ce marché étroit et les prix s'effondrent.

La consommation de riz s'est développée à travers le monde et aujourd'hui, les trois principaux pôles d'importation sont l'Extrême-Orient, l'Afrique subsaharienne et le Moyen-Orient. Dans ces deux derniers, le déficit tend à se creuser de plus en plus en raison du décalage entre une consommation croissante et une production insuffisante malgré les progrès observés.

D'ici à 2025, les rendements moyens de riz devront presque doubler, avec moins de terre, moins d'eau, moins de main-d'oeuvre et moins de produits chimiques. Le riz est vital pour l'Asie. La population de l'Asie augmentant de quelque 56 millions de personnes par an, la demande intérieure de riz devrait atteindre **770 millions de tonnes d'ici à 2025** (FAO, Septembre 1998).

Si les tendances actuelles persistent, dans vingt ans, la majorité des pays ne seront plus autonomes en ce produit et le bol de riz légendaire de l'Asie sera de plus en plus rempli par des céréales importées.

Pour satisfaire la demande de riz au cours des trente prochaines années, le plafond des rendements de riz irrigué en Asie devra passer de son niveau de quelque 10 tonnes par hectare de la fin des années 80 à 13 tonnes environ par hectare, tandis que les rendements moyens devront atteindre environ 6 tonnes/ha, soit près de **deux fois le niveau actuel**. Et il faudra y parvenir avec moins de terre, moins d'eau, moins de main-d'oeuvre et moins de produits chimiques, en particulier de pesticides.

Les technologies de la révolution verte (démarrées durant les années 1960), à l'origine de l'accroissement de plus de 3 % de la production annuelle de riz (et qui ont probablement sauvé de la famine des millions de personnes) sont considérées aujourd'hui comme "quasi incapables" d'améliorer encore la productivité. En fait, les hausses de production annuelles sont descendues à environ 1,25 % depuis 1990.

Sous l'effet de l'industrialisation et de l'urbanisation, la superficie des rizières de l'Asie diminue. En Chine, la superficie plantée en riz est passée de 37 millions d'hectares en 1976 à

31 millions d'hectares en 1996 (FAO, Septembre 1998). De plus, la salinisation et l'engorgement des sols et d'autres formes de dégradation associées à la culture intensive du riz pourraient entraîner une nette régression de la superficie irriguée totale en Asie. Les terres qui pourraient être consacrées à la culture du riz disparaissent: l'érosion par l'eau et le vent affecterait environ 400 millions d'hectares de terres agricoles dans la région, tandis que 47 millions d'hectares sont sujets à une dégradation chimique et physique. Au cours des vingt-cinq prochaines années, les terrains en friche diminueront de moitié au Sud de l'Asie et d'un tiers dans l'Est de l'Asie. La quantité et la qualité de l'eau disponible pour la riziculture devraient également baisser.

Les riziculteurs voient leurs marges bénéficiaires rétrécir. Depuis le début des années 90, la stagnation de la productivité maximale et le rendement décroissant de la nouvelle intensification de cette culture ont fait gonfler les coûts de production. D'autres changements dans les marchés des facteurs de production (retrait rapide de la main-d'oeuvre du secteur agricole, conversion des terres à d'autres fins agricoles ou non agricoles, la compétition accrue pour les ressources en eau et la suppression des subventions aux intrants) font monter les prix des intrants et ne feront que s'accroître dans l'avenir.

## **2.2 Le riz, céréale indispensable**

Le riz est la principale denrée vivrière de base dans le monde. Plus de quatre cinquièmes du riz est produit et consommé par les petits exploitants des pays en développement à faible revenu. Plus de la moitié de la population mondiale dépend du riz comme source quotidienne principale de calories et de protéines. En Asie, chacune de ces personnes consomme entre 100 et 200 Kg de riz par an, selon la FAO.

D'ici 2030, la population va s'accroître de 100 millions par an. Ce ne seront plus seulement 6,2 milliards d'habitants qu'il faudra alors nourrir, mais **8,2 milliards**. C'est pourquoi, la production du riz, qui est l'une des trois céréales les plus cultivées au monde, est un enjeu planétaire (FAO, 17 Juillet 2002).

### **2.2.1 Sécurité alimentaire**

La capacité de l'humanité à subvenir à ses besoins alimentaires est un sujet de préoccupation ancien. Depuis Malthus, au XVIII<sup>e</sup> siècle, la croissance démographique a été perçue comme une menace. La crainte des malthusiens s'énonce en ces termes : « Pourra-t-on accroître suffisamment la production pour nourrir une population de plus en plus nombreuse ? ». Il soulignait que toutes les espèces tendent à accroître leur population au-delà de ce qui est permis par les réserves naturelles en nourriture (Brun J.-M., 1996). **Aujourd'hui, la planète pourrait parfaitement fournir à chacun de ses habitants la ration alimentaire moyenne d'environ 2 700 calories par personne et par jour, soit suffisamment pour répondre à nos besoins énergétiques.** Mais la persistance de sous-nutrition et de malnutrition, malgré une offre globalement suffisante au regard des besoins, montre que la **disponibilité des denrées** n'est pas une condition suffisante pour que soient satisfaits les besoins alimentaires.

D'où l'apparition, en 1974, de la notion de « **sécurité alimentaire** ».

La sécurité alimentaire existe lorsque « tous les habitants, à tout moment, ont accès aux aliments nécessaires pour mener une vie saine et active ». La sécurité alimentaire dépend de quatre facteurs clés (FAO, 1995) :

- **La disponibilité** des produits alimentaires (la nourriture doit être disponible en quantité suffisante pour fournir les éléments nutritifs et les calories nécessaires à une personne moyenne),
- **L'accès** à une nourriture suffisante (même dans un pays qui possède suffisamment de produits alimentaires par habitant, la sécurité alimentaire n'existe pas pour ceux qui n'ont pas les moyens de les acheter en quantité suffisante ou qui n'ont pas la possibilité de cultiver leurs propres produits),
- **La stabilité** des approvisionnements (quand ceux-ci sont irréguliers du fait, par exemple, de la sécheresse, des inondations, des hausses des prix brutales ou du chômage saisonnier, les pauvres sont les plus vulnérables),
- **L'acceptabilité** culturelle (il arrive que la consommation de certains aliments, certaines associations d'aliments ou certaines méthodes de préparation soient interdits par des tabous religieux ou culturels).

Dès lors, ce qu'il convient d'appeler « insécurité alimentaire » est analysé comme conséquence de la pauvreté.

La notion de « **sécurité alimentaire** » est souvent utilisée en France à la place d'une autre. Toutes les nouvelles préoccupations en matière de salubrité des aliments correspondent à la notion de « **sécurité sanitaire alimentaire** ».

Les pays industrialisés ne sont pas exempts de pauvres et de mal nourris. Le développement du chômage et de l'exclusion démontre que la sécurité alimentaire n'est pas seulement un problème du « tiers-monde ». On dénombrait plus de 35 millions de demandeurs d'emploi dans les pays industrialisés en 1995. En France (première puissance agricole de l'union européenne), on estime à deux millions le nombre de personnes ayant recours à l'aide alimentaire (Join-Lambert M.-T., 1995).

### **2.2.2 La consommation de riz dans les pays où il constitue l'aliment de base**

La consommation du riz peut-être classée en trois grands modèles (CIRAD, 2001e) :

- Le modèle asiatique avec une consommation moyenne dépassant les 100 Kg/habitant/an et pouvant atteindre 200 Kg/habitant/an ; la Chine (110 Kg/habitant/an) est représentative de ce modèle ;
- Le modèle subtropical avec une consommation moyenne comprise entre 35 et 65 Kg/habitant/an ; le Brésil (45 Kg/habitant/an) est représentatif de ce modèle ;
- Le modèle occidental avec une consommation moyenne inférieur à 10 Kg/habitant/an ; la France (4 Kg/habitant/an) est représentative de ce modèle.

Le riz est l'aliment de base essentiel dans quinze pays d'Asie et du Pacifique, dix pays d'Amérique latine et des Caraïbes, un pays d'Afrique du Nord et sept pays d'Afrique subsaharienne (FAO, 1999). Dans les pays en développement, le riz fournit 715 Kcal par personne et par jour, 27 % de l'énergie, 20 % des protéines et 3 % des lipides de l'alimentation. Les pays d'Asie du Sud-Est sont fortement tributaires du riz : au Bangladesh, au Laos, au Viêt Nam, au Myanmar et au Cambodge, le riz fournit plus de cinquante pour cent des apports énergétiques et protéiques alimentaires et entre 17 et 27 % des lipides de l'alimentation. C'est un aliment de base important pour plusieurs pays d'Afrique. En Guinée, en Guinée-Bissau, en Gambie, au Libéria, au Sénégal et en Côte d'Ivoire, il fournit de 22 à 40 % des apports énergétiques et de 23 à 39 % des protéines alimentaires. Le tableau 4 donne la consommation moyenne par personne et, en pourcentage, la part énergétique, protéique et lipidique fournie par le riz.

La production de riz a beaucoup augmenté depuis 1960. Globalement, la quantité d'énergie fournie par le riz (en Kcal par personne) a fait un bond de 40 %, passant de 411 Kcal en 1960 à 577 Kcal de nos jours (figure 8). L'analyse par région montre que l'apport énergétique alimentaire du riz (Kcal/personne/jour) a augmenté de 90 % en Afrique subsaharienne et de 28 % en Asie et en Amérique latine (FAOSTAT, 2002).



**Tableau 4 : Part, en pourcentage, du riz (équivalent riz usiné) dans l'apport alimentaire total d'énergie, de protéines et de lipides (moyenne 1997-1999) (FAOSTAT, 2002).**

Pays	Apport par personne g/personne/jour	Part de l'apport énergétique alimentaire par personne (%)	Part de l'apport protéique alimentaire par personne (%)	Part de l'apport lipidique alimentaire par personne (%)
Myanmar	577,9	73,6	68,1	19,9
Laos	470	70,6	66,1	25,5
Viêt Nam	464,7	66,7	58,1	14,4
Cambodge	448,6	76,7	69,6	17,3
Bangladesh	441,2	75,6	66	17,8
Indonésie	413,6	51,4	42,9	8,1
Thaïlande	285,3	43	33,4	4,6
Philippines	267,4	40,9	30,1	4,6
Népal	262,3	38,5	29,4	7,2
Corée, Rép. de	259	33,5	21	3,2
Sierra Leone	258,4	44,1	33,5	2,9
Guinée-Bissau	258	40,9	39,2	2,2
Sri Lanka	255,3	38,4	37	2,7
Madagascar	251,5	46,6	43,6	11,8
Chine	251	30,4	19,5	2,5
Gambie	246,9	32,9	31,3	1,7
Malaisie	245,2	29,8	20,4	2,2
Guyana	231,8	31	20,9	2,6
Inde	207,9	30,9	24,1	3,6
Côte d'Ivoire	193,1	25,2	27,1	3,2
Suriname	189,5	24,7	19,7	1,7
Sénégal	186,7	29,2	28,7	1,6
Guinée	185,4	31,3	31,6	4,7
Costa Rica	170,4	21	16	1,4
Japon	165,6	23,3	12,5	1,8
Émirats arabes unis	158,4	18	10,6	1,1
Équateur	129,9	16,6	15,5	0,8
Pérou	127,8	18,8	14,7	1,7
Panama	125,2	17,7	13,3	1
Libéria	123,7	22,1	25,1	3,5
République dominicaine	116,7	17,8	16,2	0,9
Brésil	108,1	13,5	10,2	0,8
Papouasie-Nouvelle-Guinée	101,6	16,1	13,6	1,8
Haïti	95,3	17,9	15,7	3
Gabon	78,5	11,4	7,8	0,7
Jamaïque	76,3	11	9,2	1,5

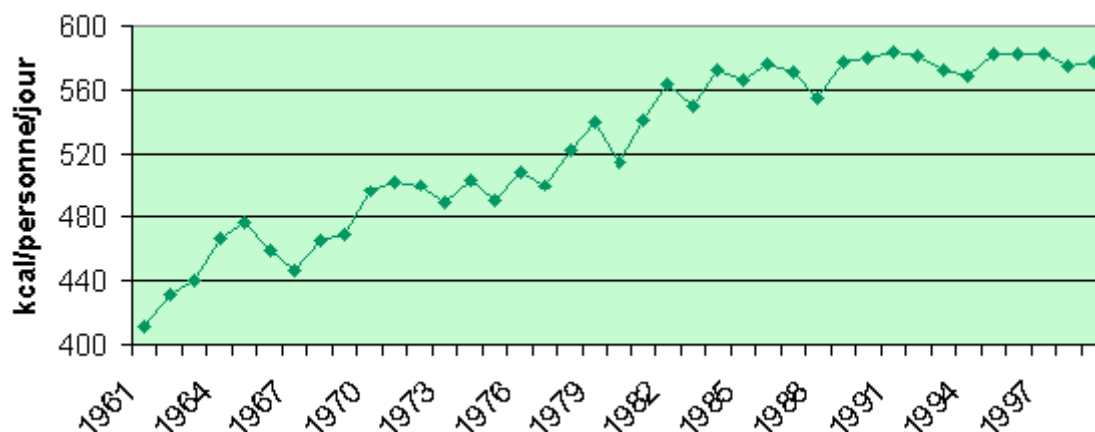


Figure 8 : Apport énergétique alimentaire du riz au niveau mondial (équivalent riz usiné)  
Energie/personne/jour (kcal), 1961-1999 (Gina Kennedy *et al.*, 23-26 Juillet 2002).

Selon des études réalisées en Chine et en Inde sur les apports alimentaires, la consommation journalière moyenne serait de l'ordre de 300 grammes de riz cru par adulte (FAO, 1998) (Popkin *et al.*, 1993). Partant de cette consommation, le tableau 8 montre la quantité de micronutriments fournie par le riz. Pour un homme adulte dont l'âge est compris entre 19 et 50 ans qui consomme l'équivalent cuit de 300 grammes de riz cru par jour, le riz blanc fournit de 2 à 5 % des apports recommandés de calcium, d'acide folique et de fer, de 9 à 17 % des apports recommandés de riboflavine, thiamine et niacine et 21 % de ceux de zinc. **Le riz ne contient ni vitamine C ni vitamine A.** La consommation de riz cargo augmente les apports de tous les nutriments sauf la riboflavine. Pour le fer, la thiamine et la niacine, les apports augmentent de plus de 10 %. La quantité accrue de phytate contenue dans le riz cargo réduit la biodisponibilité de nombreux nutriments, particulièrement du fer, du zinc et du calcium auxquels il se lie chimiquement. Les conséquences précises de la consommation de riz cargo par rapport à celle de riz blanc pour la biodisponibilité des nutriments demanderaient à être étudiées de plus près. Dans le cas des femmes, le riz fournit un pourcentage plus faible des apports recommandés de tous les nutriments (elles consomment moins et ont des besoins accrus de certains nutriments, en particulier pour le fer).

**Tableau 5 : Quantité et pourcentage des apports recommandés (AR) de certains micronutriments fournis par une ration moyenne de riz (300 g pour un homme, 250 g pour une femme)**  
(Gina Kennedy *et al.*, 23-26 Juillet 2002).

Homme		Calcium	Fer	Thiamine (B <sub>1</sub> )	Riboflavine (B <sub>2</sub> )	Niacine (B <sub>3</sub> )	Zinc	Acide folique (µg)
Riz blanc	mg	20,9	1,4	0,1	0,11	2,8	2,9	13,9
	<b>% AR</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>3</b>
Riz cargo	mg	78,9	4,2	0,8	0,09	10,5	4,9	31,6
	<b>% AR</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>67</b>	<b>7</b>	<b>66</b>	<b>35</b>	<b>8</b>
Femme								
Riz blanc	mg	17,4	1,16	0,1	0,1	2,32	2,4	11,6
	<b>% AR</b>	<b>1,7</b>	<b>2</b>	<b>10,5</b>	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>3</b>
Riz cargo	mg	65,9	3,49	0,67	0,1	8,75	4,1	26,3
	<b>% AR</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>61</b>	<b>8</b>	<b>63</b>	<b>20</b>	<b>7</b>

Les chiffres du tableau 5 ont été obtenus sur la base de 300 grammes de riz cru convertis en équivalent riz cuit à l'aide d'un facteur de conversion de 2,63 pour le riz cargo et de 2,32 pour le riz blanc (Gina Kennedy *et al.*, 23-26 Juillet 2002). Le pourcentage des besoins a été calculé pour un homme d'un âge compris entre 19 et 50 ans et pour une femme dans la même fourchette d'âge, en dehors de la grossesse et de l'allaitement, en utilisant des valeurs provisoires d'AR (apports recommandés en nutriments).

### 2.2.3 Autres propriétés

Le riz étuvé ou la semoule de riz, l'eau de riz et le riz cuit par extrusion ont tous été utilisés avec des résultats efficaces pour le traitement de la **diarrhée non infectieuse** puisque l'amidon a une plus faible osmolarité que le glucose. Une solution de réhydratation orale faite à partir de 80 g de farine de riz mélangé à 1 Litre d'eau reste buvable par les malades. Cette solution est extrêmement efficace, fournissant quatre fois plus d'énergie que la solution normale de glucose (20 pour cent) utilisée pour la réhydratation orale (Molla *et al.*, 1985).

Une corrélation a été établie entre la consommation de produits céréaliers, y compris le riz, et les **caries dentaires**. Les dentistes admettent d'un commun accord que les caries dentaires résultent de la déminéralisation des dents par les acides produits à la surface dentaire lors de la fermentation des bactéries provenant des glucides. L'étuvage, la cuisson sous pression et la cuisson par extrusion développent la formation d'acides par l'amidon dans la plaque dentaire. Le phytate est un facteur protecteur de l'émail, de même que les acides aminés, les phosphates, les lipides, etc. Le raffinage élimine des aliments à base de riz les facteurs qui protègent contre les caries et augmente l'aptitude de ces aliments à les provoquer. L'inclusion dans le régime alimentaire de l'homme de son de riz ou d'un extrait à l'eau chaude de son de riz a une action préventive contre les caries (Ventura, 1977).

Selon une croyance populaire, certaines variétés de riz ont des **propriétés médicinales**, par exemple la variété du Myanmar appelée Na ma tha lay. Les Chinois croient aussi que le riz noir comporte une fraction de renforcement de l'organisme et a des vertus pharmaceutiques. Aussi est-il appelé «riz de renforcement du sang», «riz médicinal» ou «riz fournissant une contribution» (Li et Lai, 1989). La teneur en pigment du riz noir est de 1 mg par 100 g. Cent grammes de riz noir contiennent 3 mg de vitamine C et 0,2 mg de riboflavine, et ce riz contient plus de fer, de calcium et de phosphore que le riz non pigmenté. Au Kérala (Inde), la variété Navara est réputée avoir des propriétés médicinales et elle est utilisée pour réactiver les nerfs en cas de paralysie: à l'état impur, l'oridine, un alcaloïde présent dans le riz, a quelques propriétés antineuropathiques (Chopra, 1933).

### **2.3 Les problèmes nutritionnels dans les pays consommateurs de riz**

La situation nutritionnelle dans les pays consommateurs de riz varie beaucoup en fonction de tout un réseau de facteurs interdépendants touchant les conditions socio-économiques, le développement, le milieu culturel, l'environnement et le régime alimentaire. Quelle que soit la région, la plupart des économies tributaires du riz ont un taux de croissance démographique élevé, une riziculture à faible rendement (à l'exception de la Chine, de la Corée et de l'Indonésie) et un produit national brut peu élevé. Les parcelles cultivées sont de faible superficie, le pourcentage de la population économiquement active est bas et les taux d'alphabétisation sont variables en Asie tropicale (Banque asiatique pour le développement, 1989).

Les problèmes nutritionnels que connaissent les pays consommateurs de riz sont résumés ci-après. Etant donné que 90 % du riz sont produits et consommés par des populations de l'Asie du Sud-Est, la description est biaisée en faveur de cette région et, parmi les pays de la région, il est question tout particulièrement de ceux où une carence déterminée est largement répandue.

Parmi les principaux problèmes nutritionnels qui se posent dans les pays consommateurs de riz, le plus important est un apport alimentaire insuffisant et déséquilibré. Associé à d'autres facteurs défavorables, il conduit à une prévalence très répandue de **malnutrition protéino-énergétique (MPE)**, d'**anémie nutritionnelle**, en particulier d'**anémie ferriprive**, d'**avitaminose A** et de troubles dus à une **carence en iode**. En outre, une carence du régime alimentaire en **thiamine**, **riboflavine**, **calcium**, **vitamine C** et **zinc** est répandue dans de nombreuses régions, mais souvent elle ne se manifeste pas sous la forme d'un syndrome clinique patent.

Ces problèmes nutritionnels n'ont aucune relation directe de cause à effet avec la consommation de riz, mais ils reflètent l'impact global de plusieurs conditions analogues à

celles que l'on rencontre dans d'autres pays en développement où le riz n'est pas une denrée alimentaire de base.

## 2.4 L'aide alimentaire mondiale organisée par les grands groupes internationaux

### 2.4.1 Valeur nutritionnelle du riz et des régimes alimentaires à base de riz

#### 2.4.1.1 Qualité protéique du riz par rapport à d'autres céréales

La teneur en protéine du riz est plus faible que celle des autres céréales. Mais de toutes les denrées de base, c'est **le riz qui a la plus forte digestibilité en protéines** (tableau 6). Les protéines de pomme de terre ont une plus forte valeur biologique que celles des céréales, mais pour cette denrée l'utilisation protéique nette est plus faible que pour le riz.

**Tableau 6**  
Données relatives au bilan des céréales complètes et des pommes de terre chez cinq rats  
(Juliano Bienvenido O., 1994).

Aliment	Protéines (gN×6.25)	Digestibilité réelle de l'azote (%)	Valeur biologique (%)	Utilisation protéique nette (%)	Protéines utilisables (%)	Energie digestible	
						(kcal/g)	(% du total)
Riz cargo	7,3	99,7	74	73,8	5,4	3,7	96,3
Blé	10,6	96	55	53	5,6	3,24	86,4
Maïs	9,8	95	61	58	5,7	3,21	81
Millet	11,5	93	60	56	6,4	3,44	87,2
Sorgho	8,3	84,8	59,2	50	4,2	3,07	79,9
Seigle	8,7	77	77,7	59	5,1	3,18	85
Avoine	9,3	84,1	70,4	59,1	5,5	2,77	70,6
Pomme de terre	2	82,7	80,9	66,9	5,2	-	-

Les protéines céréalières sont moins digestibles pour les enfants et les adultes que les protéines des oeufs et du lait, à l'exception de celles de l'albumen du blé (tableau 7) (OMS, 1986). Les valeurs pour la digestibilité sont plus faibles pour les protéines du riz usiné cuit que pour celles du riz usiné cru (presque 100 pour cent), mais elles avoisinent les valeurs relevées pour d'autres protéines céréalières, à l'exception de la faible valeur enregistrée pour le sorgho. Par rapport à la digestibilité réelle moyenne de l'œuf, du lait, du fromage, de la viande et du poisson, soit 95 pour cent, la digestibilité relative du riz usiné est de 93 pour cent.

**Tableau 7**

**Digestibilité réelle chez les adultes et les enfants de certaines protéines céréalières par rapport à celle des protéines d'œuf, de lait et de viande (OMS, 1986).**

Source de protéines	Valeur moyenne	Digestibilité par rapport aux protéines de référence
Riz, usiné	88 ± 4	93
Blé, entier	86 ± 5	90
Endosperme de blé (farine)	96 ± 4	101
Mais, entier	85 ± 6	89
Millet	79	83
Sorgho	74	78
Farine d'avoine	86 ± 7	90
Œuf	97 ± 3	100 <sup>1</sup>
Lait	95 ± 3	100 <sup>1</sup>
Viande, poisson	94 ± 3	100 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Valeur moyenne de la digestibilité réelle = 95 pour cent.



### 2.4.1.2 Indice glycémique et amidon résistant

Pour atteindre la circulation sanguine, les glucides doivent être réduits à l'état d'oses simples afin d'être absorbés au niveau des sites spécifiques (duodénum, jéjunum, iléon). Au niveau buccal, on a une action enzymatique par l' $\alpha$ -amylase salivaire active pour un pH supérieur à 4, en dessous cette enzyme est dénaturée. Ensuite, l' $\alpha$ -amylase pancréatique rompt les liaisons  $\alpha$ -(1-4) mais est inefficace sur les liaisons de fins de chaînes et celles proches d'un site de branchement d'une liaison  $\alpha$ -(1-6). L'amylose hydrolysée donne le maltose et le maltotriose ; l'amylopectine donne le maltose, le maltotriose, les  $\alpha$ -dextrines dont les plus petites sont des tétra et des pentasaccharides. La dégradation finale se situe au niveau de la bordure en brosse des cellules épithéliales intestinales grâce aux oligosaccharidases (glucoamylase, invertase-isomaltase). Par une action hydrolytique, elles libèrent le glucose ensuite absorbé par la muqueuse.

L'indice glycémique, basé sur l'augmentation relative du glucose plasmatique dans les trois heures qui suivent l'ingestion de glucides avec du pain blanc ou du glucose pour 100 %, a été utilisé comme référence pour l'établissement du régime alimentaire des diabétiques (diabète sucré) non insulino-dépendants. L'indice glycémique est plus élevé pour les riz gluants et à faible teneur en amylose que pour les riz à teneur en amylose intermédiaire ou élevée. Le traitement, tel que l'étuvage et la fabrication de pâtes alimentaires, a tendance à réduire l'indice glycémique du riz, en particulier celui des riz à teneur en amylose intermédiaire ou élevée. Il a été signalé que le riz gluant, la semoule de riz, le riz cuit à la vapeur et les pâtes alimentaires à base de riz avaient le même indice glycémique que le pain blanc chez les diabétiques non insulino-dépendants (Juliano Bienvenido O., 1994).

Il a été signalé que l'amidon résistant aux enzymes est affecté par le traitement, en particulier le traitement à l'autoclave, et qu'il agirait comme une fibre alimentaire soluble dans le colon en exerçant peut-être un effet hypocholestérolémiant (Englyst *et al.*, 1983). Toutefois, les valeurs signalées pour la teneur du riz en amidon résistant aux enzymes varient depuis de simples traces jusqu'à 0,3 pour cent.

La fermentation microbienne en anaérobiose de l'amidon résistant dans le côlon produit du lactate, des acides gras à chaîne courte (acétate, propionate et butyrate), du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Les acides gras sont absorbés à partir de la lumière intestinale dans les cellules épithéliales du côlon et fournissent de 60 à 70 pour cent de l'énergie qui aurait été disponible si les glucides avaient été absorbés sous forme de glucose dans l'intestin grêle (Livesey, 1990).

### **2.4.1.3 Facteurs antinutritionnels**

Les facteurs antinutritionnels dans le grain de riz sont concentrés dans la fraction constituant le son (l'embryon et la couche de cellules à aleurone). Ils comprennent la phytine (phytate), l'inhibiteur de la trypsine, l'oryzacystatine et l'hémagglutinine-lectine.

Tous les facteurs antinutritionnels sont des protéines et tous, à l'exception de la phytine (phytate), sont sujets à dénaturation par la chaleur. La phytine est thermostable et elle est à l'origine du bilan de minéraux plus médiocre observé chez les sujets nourris de riz cargo, par rapport à celui de sujets nourris de riz usiné.

Un inhibiteur de la trypsine a également été isolé à partir du son de riz et caractérisé. Il n'y en a pas dans le riz usiné.

## 2.4.2 Amélioration de la valeur nutritive

(The micronutrient initiative, 1996)

Du à sa grande place dans l'alimentation mondiale, l'amélioration nutritive du riz est considérée comme un enjeu important par les grands groupes internationaux de l'aide alimentaire.

Une aide alimentaire directe est réservée essentiellement aux situations d'urgence, comme les catastrophes naturelles ou les guerres. Les carences en micronutriments sont quand à elles, depuis les années 1940, au centre de programmes pour le développement de riz enrichies. La fortification ou enrichissement de l'alimentation est une mesure permettant de lutter à long terme contre ces carences (vitamine A, fer...). Ce procédé permet, sans changer ou peu les modes alimentaires, de pallier à ces problèmes.

Depuis 1949, de nombreux efforts ont été faits pour fortifier le riz en fer ou en vitamine A. Les choix alors fait ont été de faire un simple enrichissement. Devant le manque de résultat, un double enrichissement en fer et en  $\beta$ -carotène a été choisie au début. Plus tard la vitamine A prit le relais des  $\beta$ -carotènes dans ces processus.

L'ajout en micronutriment peut se faire par du riz préalablement poudré par un mélange de micronutriments. Ce type de riz ne doit pas être nettoyé avant cuisson. On peut également rajouté dans l'eau de cuisson de la poudre ou des comprimés. Le mélange doit alors être capable de se dissoudre dans l'eau. L'eau de cuisson doit être totalement absorbée par le riz.

On utilise aussi une opération industrielle qui consiste effectuer un prémélange : le grain est entouré par un extrait sec. Cette méthode est la plus utilisée et fait l'objet de recherche depuis plus de 50 ans. Le grain peut-être nettoyé avant cuisson.

Les dernières méthodes ne colorent pas le grain de riz. La plupart du riz américain est enrichi, et il existe au Japon et à Puerto Rico (The micronutrient initiative, 1996). Au Japon, la couleur jaune (du aux riboflavines) du riz prémélangé a été acceptée par la population depuis les années 1950. Le talc est parfois utilisé pour obtenir la couleur blanche du riz.

### **2.4.3 L'amélioration de la valeur nutritive par voie de transgénèse**

(Dary, 2001 ; The micronutrient initiative, 1996)

Ces ajouts en micronutriments occasionnent des surcoûts pour les populations déjà pauvre. Ces produits sont accessibles par tous. Cet enrichissement oblige une addition, des manœuvres sur l'aliment qui subit une transformation. Dès lors ce combat pour la sécurité alimentaire manque d'efficacité.

De plus, on trouve des problèmes de stabilité des ajouts, une toxicité inexistante, une biodisponibilité peu connue, une acceptabilité médiocre dans les pays en voie de développement. La couleur, le temps de cuisson peuvent être modifiés. En Thaïlande, dans les années 1970, aucun résultat n'a été trouvé pour un programme de 4 ans de fortification du riz en vitamine A, fer, thiamine et acides aminés (The micronutrient initiative, 1996).

Les résultats obtenus avec les méthodes d'enrichissement, en particulier en fer, sont mitigés. L'enrichissement des aliments en fer reste complexe sur le plan technique. Les composés ferreux ayant la plus haute biodisponibilité (sulfate et fumarate) altèrent fortement le goût des aliments, mais la teneur en fer disponible tombe lorsque l'on utilise un composé plus acceptable au goût (fer élémentaire ou orthophosphate ferrique) (Dary, 2001).

Ces programmes nécessitent une promotion qui prend du temps. Ils doivent être labellisés. Un contrôle du niveau en micronutriments additionnés par rapport aux exigences du label existe. Les équipements analytiques, les expertises sont progressivement déplacées de la charge des aides vers les consommateurs.

Ainsi les nouvelles technologies apporteraient de nouveaux progrès s'inscrivant dans ces procédés d'enrichissement de l'alimentation. Un riz enrichi en micronutriments par la voie de la transgénèse serait une nouvelle solution.

Le paysan cultiverait le riz qu'il mangera sans autres traitements supplémentaires. Il n'y a donc pas de surcoût. L'aliment n'est pas transformé après récolte. L'aliment est alors accessible pour tout le monde. Il peut être cultivé partout car il ne demande pas de structures nouvelles ou supplémentaires aux techniques agricoles traditionnelles déjà établies.

Si l'aliment est adapté au lieu d'introduction, il ne change pas les coutumes et habitudes alimentaires locales.

De plus, une fois installées, les techniques permettraient aux paysans ou agriculteurs de se débrouiller par eux-mêmes. Ils deviennent alors indépendants. On effectue alors une économie sur les programmes d'enrichissement en nutriment permettant de garder des fonds pour d'autres actions.

Le paysan devient alors autosuffisant et n'a donc plus besoin du recours à l'aide alimentaire. A long terme, on pourrait alors envisager une diminution voir une absence (pour les plus optimistes) des déficiences en micronutriments dans des pays dont l'alimentation est peu variée.

### **3<sup>ème</sup> partie :**

## **Le riz génétiquement modifié**

L'apport nutritionnel relativement réduit du riz est une source de préoccupation, spécialement dans les régions où la consommation en riz est très élevée. Les possibilités d'étendre les superficies cultivées seront limitées par l'industrialisation et l'urbanisation.

Les progrès de la biologie moléculaire ont transformé la biotechnologie depuis quelques années. Le génie génétique permet désormais d'introduire des gènes d'une espèce dans une autre, pour produire des variétés transgéniques.

Cette partie a donc pour objet de présenter les techniques de transgénèse et l'économie qui tourne autour du riz génétiquement modifié. Elle détaillera ensuite différentes variétés transgéniques ainsi que les buts de ces améliorations. Dans une dernière partie, nous verrons les limites de l'utilisation des riz génétiquement modifiés.

### 3.1 Présentation des techniques de transgénèse

Dans la vision du grand public, le terme de biotechnologie est souvent assimilé au génie génétique, aux **OGM (Organismes Génétiquement Modifiés)** ou récemment dénommé **OVM (Organismes Vivants Modifiés)**. La technique, qui sera développée et correspondante au développement des OGM proprement dit, se nomme **la transgénèse**.

On définit, au plan réglementaire, un organisme génétiquement modifié ou OGM comme résultant de l'intervention de modes de multiplication ou de recombinaisons différents des modes naturels et ayant modifié son génome. Sont exclues de cette définition pour ce qui concerne les plantes, parce que considéré comme des techniques éprouvées et « traditionnelles » : la mutagenèse, la fusion de protoplastes entre espèces de la même famille et la multiplication *in vitro* à partir de n'importe quelle cellule de la plante (Scriban R., 1999).

#### 3.1.1 Biotechnologies, génie génétique, transgénèse : quelques définitions

(Collendavelloo J., Octobre 1998 ; INAPG, 2003 ; Larousse médicale, 1995 ; Scriban R., 1999 ; Université de Genève, 2002)

Les **biotechnologies** comprennent toutes les méthodes et techniques utilisant les capacités génétiques et physiologiques du vivant pour mieux conduire ou contrôler des processus naturels, ou mieux produire et purifier des substances issues de la transformation biologiques de substrats naturels (INAPG, 2003). Cette discipline est donc ancienne puisque l'on y reconnaît certaines des technologies alimentaires, notamment celles entrant dans la fabrication du vin, des fromages ou encore de la bière (fermentation), ainsi que la sélection variétale traditionnelle agricole et les techniques d'hybridation. Les possibilités offertes par les biotechnologies se sont considérablement élargies avec le développement des techniques utilisées dans l'élucidation de la structure et de l'expression du matériel génétique (génome) des cellules vivantes. Le terme de biotechnologie prend aujourd'hui en compte les nouveaux progrès apparus dans les années 1970 regroupés sous les termes de **génétique** ou **génie génétique, biologie cellulaire, immunologie**.

En novembre 1973, les pionniers COHEN, CHANG, BOYER et HELLING résumèrent en ces termes le « génie génétique » : le transfert artificiel par un vecteur d'un gène d'un organisme à un autre (l'hôte) d'une autre espèce, avec la possibilité de réplique et d'expression, le gène étant « prélevé » ou « synthétisé ». Il y a donc « opération », « manœuvre », on pourrait dire « chirurgie » sur le matériel micro-organismes, végétal ou animal. Le **génie génétique** désigne toutes les techniques, tous les travaux de recombinaison de l'ADN dans le médical, la recherche pharmaceutique, l'agriculture, les industries agricoles et dans l'environnement (Scriban R., 1999). L'ensemble de ces techniques, appelé « génie génétique », a conduit au développement de méthodologies de transfert de gènes, dites encore « transformations génétiques ».

Compte tenu de l'universalité du code génétique, il devient possible de faire exprimer à une cellule végétale, un gène transféré issu d'un autre végétal, d'une bactérie, d'un animal, d'une algue ou d'un virus. Dans tous les cas, l'hôte est le génome, le transgène est un ou plusieurs gènes pouvant provenir d'une autre espèce naturel ou de synthèse par génie génétique. La cellule végétale obtenue est donc «génétiquement transformée», et l'on parle alors de la « **transgenèse végétale** ». Contrairement aux cellules animales, les cellules végétales sont **totipotentes** et sont capables de redonner une plante entière à partir d'une seule cellule. La régénération d'une cellule transformée en plante entière conduira donc à l'obtention d'une plante génétiquement transformée, appelée « plante transgénique », ou OGM, exprimant un caractère additionnel par rapport à la plante de départ.

### **3.1.2 Mécanismes d'amélioration par transgenèse**

Pour introduire un gène d'intérêt par les méthodes conventionnelles, il faut de nombreuses conditions : plantes sexuellement compatibles, croisement entre deux lignées plusieurs fois jusqu'à obtention d'une plante possédant les caractères désirés. Dans ces méthodes traditionnelles, un grand nombre de gènes est échangé, autre que le gène d'intérêt. Ces techniques sont donc lentes, incertaines et limitatives. La transgenèse permet de contourner ces limites.



### 3.1.2.1 La transformation par *Agrobacterium*

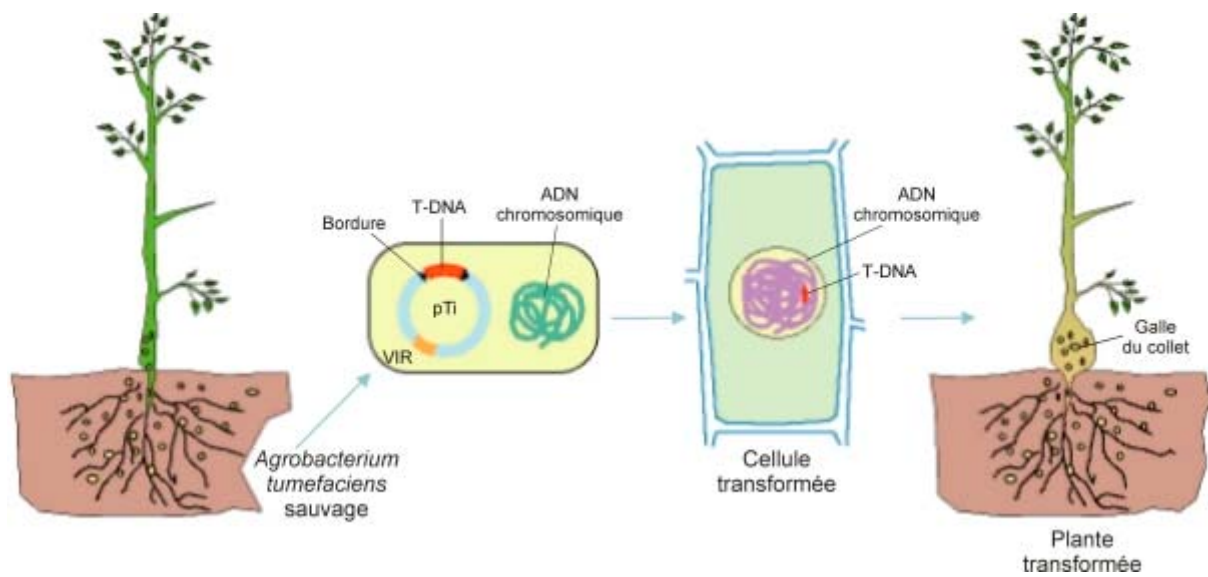
#### 3.1.2.1.1 Principe de l'infection par *Agrobacterium*

(Collendavelloo J., Octobre 1998 ; INAPG, 2003 ; Scriban R., 1999)

L'histoire démarre en 1907, avec la découverte, par SMITH et TOWNSEND, de deux bactéries du sol, responsables pour l'une, *Agrobacterium tumefaciens*, de la formation de la galle du collet et pour l'autre, *Agrobacterium rhizogenes*, du syndrome d'un chevelu racinaire massif (prolifération anarchique des racines) chez les plantes dicotylédones.

De 1974 à 1980, abordant des stratégies complémentaires, des équipes allemandes, belges, françaises et américaines, ont démontré que galle et chevelu racinaire résultent du transfert, de l'intégration et de l'expression d'un morceau de l'information génétique des agrobactéries, porté par de l'ADN non chromosomique bactérien, appelé **plasmide Ti** (Tumor inducing) pour *A. tumefaciens* et **plasmide Ri** (Root inducing) pour *A. rhizogenes* (Scriban R., 1999).

Le morceau transféré a été nommé **ADN-T** pour ADN transféré, qui est délimité par deux zones de coupure appelées **bordure droite et gauche**. Le transfert du ADN-T se fait grâce à l'expression des gènes regroupés sous les fonctions de virulence (**vir**). Les protéines codées par les gènes vir sont responsables de la coupure de l'ADN-T au niveau précis des bordures, et de son transport vers le noyau de la cellule végétale, où il s'intègre dans un ou plusieurs chromosomes (Figure 9).



**Figure 9 : Transformation génétique par *A. tumefaciens***  
(Collendavello J., Octobre 1998).

Ainsi, le transfert de gènes entre bactéries et cellules végétales est un phénomène naturel, particulier, très spécifique de ces agrobactéries. L'utilisation demeurerait, néanmoins à l'époque, inexploitable agronomiquement du fait de la formation de galles ou racines. L'avancée des techniques du génie génétique a permis de mettre à profit la propriété exceptionnelle de ces plasmides pour en faire des véritables vecteurs de gènes chez les plantes.

### 3.1.2.1.2 *Le plasmide Ti comme vecteur de transfert de gènes*

(Collendavelloo J., Octobre 1998 ; Scriban R., 1999)

L'élucidation des mécanismes impliqués dans le transfert de l'ADN-T de la bactérie à la cellule végétale a abouti à la construction de souches d'agrobactéries dites « désarmées », ne formant ni galle ni racines et étant toujours dotées de leurs propriétés de transfert.

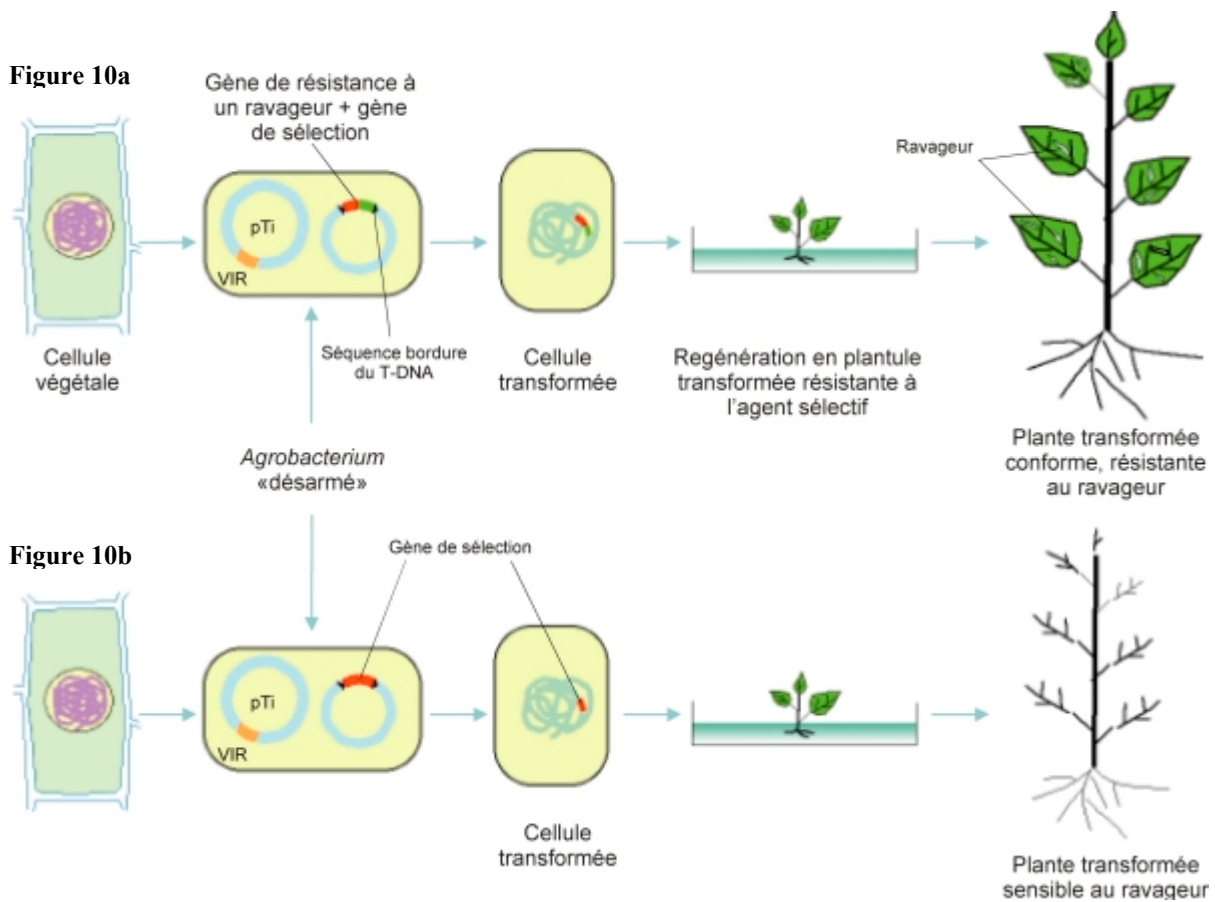
Ces agrobactéries désarmées abritent des plasmides Ti débarrassés de tout leur ADN-T. Seules les fonctions impliquées dans le transfert (gènes *vir*), ont été conservées. Par conséquent, il n'y aura aucune cellule anormale formée au cours du transfert.

Le plasmide Ti est une molécule dont la taille est d'environ 200 Kb ce qui le rend difficilement manipulable *in vitro* pour intégrer directement les gènes d'intérêt entre les bordures droites et gauches. On choisit donc d'effectuer tout le travail de construction génétique, *in vitro*, dans un petit plasmide capable de se multiplier dans *E. coli*. Ce deuxième plasmide (ou plasmide binaire) comporte uniquement les bordures droite et gauche de l'ADN-T (signaux de limites de transfert) entre lesquelles on peut rajouter tout gène à transférer. Il contient également une origine de répllication fonctionnelle. De façon générale, on accole au gène agronomiquement intéressant, un autre gène qui servira de **marqueur de sélection** (gène de résistance à un antibiotique- exemple. Céfotaxime- ou à un herbicide). Ce dernier, indissociable du gène d'intérêt, servira à cribler les cellules transformées car elles seules seront résistantes au marqueur sélectif.

Le mécanisme de transfert reste identique à celui des souches sauvages et on obtient des cellules transformées exprimant le gène voulu. L'obtention de plantes transgéniques repose dès lors sur la compétence des cellules transformées à réorienter leur programme développemental et à adopter une voie qui aboutira à la régénération d'une plantule normale et fertile. C'est souvent cette étape qui devient limitante. Le protocole désigné comme la méthode « leaf-disk » (figure 10) consiste à préparer en conditions aseptiques des disques de feuilles et à les immerger pendant quelques minutes dans la suspension des bactéries porteuses de l'ADN-T désiré. Les sections de feuilles sont ensuite essuyées avec du papier buvard pour éliminer l'excès de bactéries puis mis en culture sur un milieu en boîte de Pétri (substances de croissances). Après cette phase, les tissus sont repiqués sur un milieu inducteur

de bourgeons auquel sont ajoutés un antibiotique (pour tuer les bactéries qui se sont multipliées), et l'agent de sélection (antibiotique ou herbicide) qui permet de sélectionner les cellules transformées qui en principe seront seules à pouvoir régénérer des tiges. Ces tiges sont ensuite placées sur un milieu de bouturage et les plantules obtenues transférées en serres. Chaque plante obtenue constitue un clone cellulaire issu d'un seul événement de transformation (Scriban R., 1997).

Bien que cette technique soit celle qui ait le plus fréquemment produit des plantes transgéniques, elle souffre néanmoins d'un inconvénient car elle ne s'applique pas ou très peu dans le cas des monocotylédones dont fait parti le riz. Les facteurs limitants se situent en particulier au niveau des possibilités de régénération des cellules compétentes pour la transformation. Un autre obstacle est la sensibilité à l'infection. Dans ce cas, on peut faire appel à la technique de transfert direct de gènes dans des protoplastes (cellules dépourvues de paroi) ou dans des explants végétaux. Ce n'est que récemment que la possibilité de réaliser des transferts de gènes chez certaines souches du riz a été montrée (Hiei *et al.*, 1997 ; Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).



**Figure 10 : Méthode de transformation *in vitro* dite des « leaf disk » : le ravageur est incapable de détruire la plante transgénique (figure 10a) qui exprime le gène de résistance, contrairement à celle qui exprime uniquement le gène de sélection (figure 10b) (Collendavello J., Octobre 1998).**

### 3.1.2.2 Transfert direct dans des protoplastes<sup>3</sup>

(Collendavelloo J., Octobre 1998 ; INAPG, 2003 ; Scriban R., 1999)

Le transfert direct de gènes ne nécessite pas l'utilisation particulière de bactéries comme vecteur. La méthodologie la plus couramment utilisée fait appel à l'**électroporation**. Des séries de chocs électriques de courtes durées (de l'ordre de la microseconde) et de tension élevée sont soumis à des protoplastes en présence d'ADN. Le champ électrique provoque une déstabilisation de la membrane et la polarisation des phospholipides qui s'ensuit, provoque la formation de pores au travers desquels les molécules d'ADN peuvent transiter, traverser le cytoplasme avant de s'intégrer dans le chromosome de la cellule.

Une des difficultés de la technique est de trouver le compromis entre la tension électrique adéquate qui suffira pour susciter une déstabilisation de la membrane, tout en maintenant une bonne viabilité des protoplastes. Elle est d'autant plus délicate à mettre en oeuvre lorsqu'on a affaire à la transformation d'espèces pour lesquelles on ne maîtrise pas la régénération de plantes à partir de protoplastes. C'est, néanmoins, grâce à l'utilisation de ces techniques que des espèces de grandes cultures telles que le riz ont été transformées pour la première fois.

### 3.1.2.3 Transformation directe de cellules, de tissus ou d'organes

(Collendavelloo J., Octobre 1998 ; Scriban R., 1999)

Au lieu d'utiliser des protoplastes qui sont des cellules fragilisées, on force la pénétration d'ADN à travers la paroi pectocellulosique des cellules végétales. A l'heure actuelle, la seule technique qui permette de réaliser ceci est celle faisant appel à l'utilisation du canon à particules : **biolistic gun**.

Le principe consiste à projeter sur la cellule végétale à transformer, de toutes petites billes d'or ou de tungstène enrobées d'ADN contenant le gène à transférer. La propulsion de ces particules peut faire appel à une explosion d'une cartouche de poudre, ou encore par la détente d'un gaz comprimé pour projeter violemment mais de façon contrôlée et sous pression d'air réduite les particules sur la cellule. Celles-ci ont suffisamment d'énergie cinétique pour

---

<sup>3</sup> Les protoplastes sont des cellules végétales dont la paroi pectocellulosique a été hydrolysé (INAPG, 2003).

traverser la paroi, et leur taille réduite (0,4 à 1,6  $\mu\text{m}$ ) ne suscite pas de dégâts irréversibles aux cellules. Une fois dans le cytoplasme, l'ADN se solubilise et migre jusqu'au noyau, où il peut s'intégrer et s'exprimer soit de façon transitoire, soit de façon stable. Les processus d'intégration dans le génome encore mal élucidés sont probablement analogue à ceux observés lors de la transformation de protoplastes mais.

Même si cette technique est relativement délicate à mettre en oeuvre, elle a l'avantage de s'affranchir de la sensibilité aux agrobactéries, de l'utilisation des protoplastes ou des systèmes dépendant de la régénération. Le développement de cet outil a permis d'optimiser des techniques routinières de transformation génétique du maïs, blé, orge, riz, canne à sucre, sorgho, tournesol, toutes connues comme espèces dites récalcitrantes à la transformation génétique.

Bien d'autres techniques de transfert direct sont encore au stade de développement telles que celles faisant appel à la sonication ou encore la micro-injection ou macro-injection d'ADN. Ces techniques n'ont jusqu'à présent donné que des résultats trop sporadiques et peu reproductibles pour être considérées comme outils de transformation génétique en routine.

### 3.1.3 Cas pratique : le riz doré (Golden rice)

(Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000; Zimmermann M. B., Hurrell R. F., Octobre 2002)

Dans les pays en voie de développement se révèle une prédominance en ce qui concerne les carences en micronutriments, en particulier en vitamine A.

Une nouvelle alternative pour pallier à ce problème de sécurité alimentaire a été lancée par un groupe de scientifique utilisant les techniques de transgénèse afin de créer un riz génétiquement modifié enrichi en  $\beta$ -carotène (principal précurseur de la vitamine A). La découverte de ce riz doré fut l'objet d'une publication dans la revue scientifique *Science*, le 14 Janvier 2000 (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).

#### 3.1.3.1 Principe de formation potentielle de $\beta$ -carotène par le riz

(Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000 ; Zimmermann M. B., Hurrell R. F., Octobre 2002)

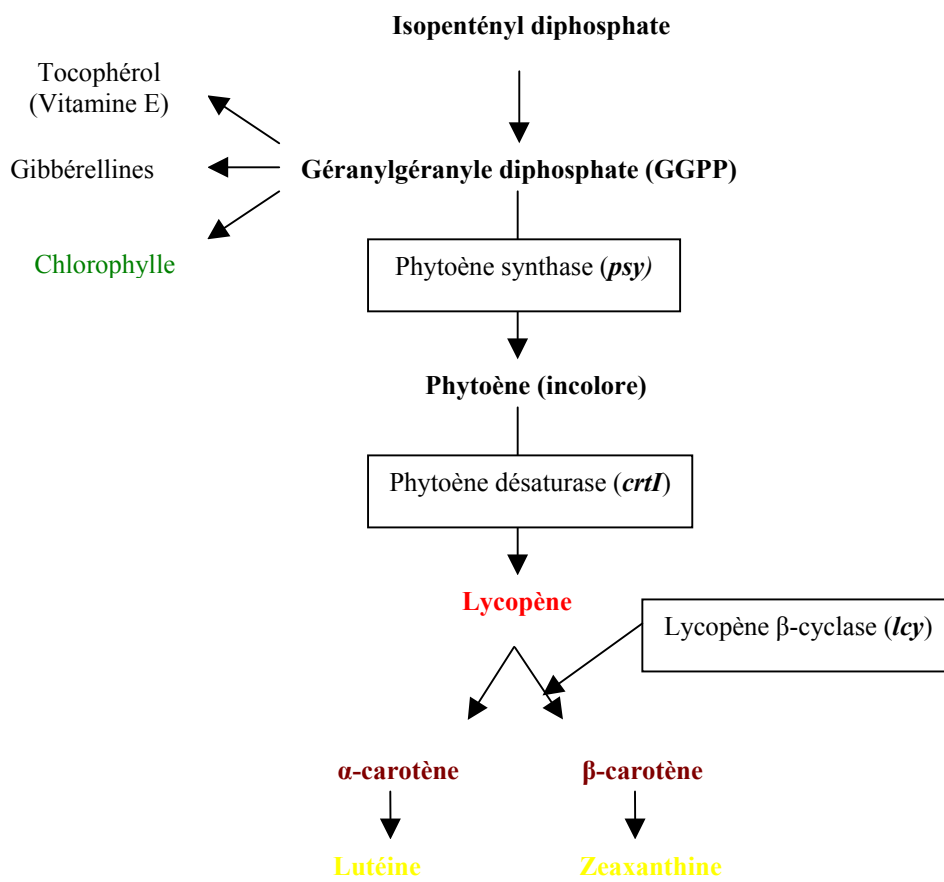
L'endosperme immature du riz est capable de synthétiser un précurseur du  $\beta$ -carotène : le **géranylgeranyle diphosphate (GGPP)**. A partir du GGPP et grâce à la **phytoène synthase**, on est capable de produire le **phytoène**, un carotène incolore.

La synthèse du  $\beta$ -carotène à partir du phytoène nécessite deux enzymes supplémentaires d'origine végétale (Figure 11) :

- La phytoène désaturase, qui catalyse l'introduction de deux double liaisons ;
- La lycopène  $\beta$ -cyclase.

(Pour diminuer les efforts de transformation, une carotène désaturase d'origine bactérienne, capable d'introduire les 4 doubles liaisons nécessaire, peut être utilisée- Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).





**Figure 11 : Processus enzymatiques permettant la formation de  $\beta$ -carotène à partir du géranylgéranyle diphosphate** (d'après Guerinot M. L., 14 Janvier 2000 ; Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).

### 3.1.3.2 Technique utilisée

(Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000 ; Zimmermann M. B., Hurell R. F., Octobre 2002)

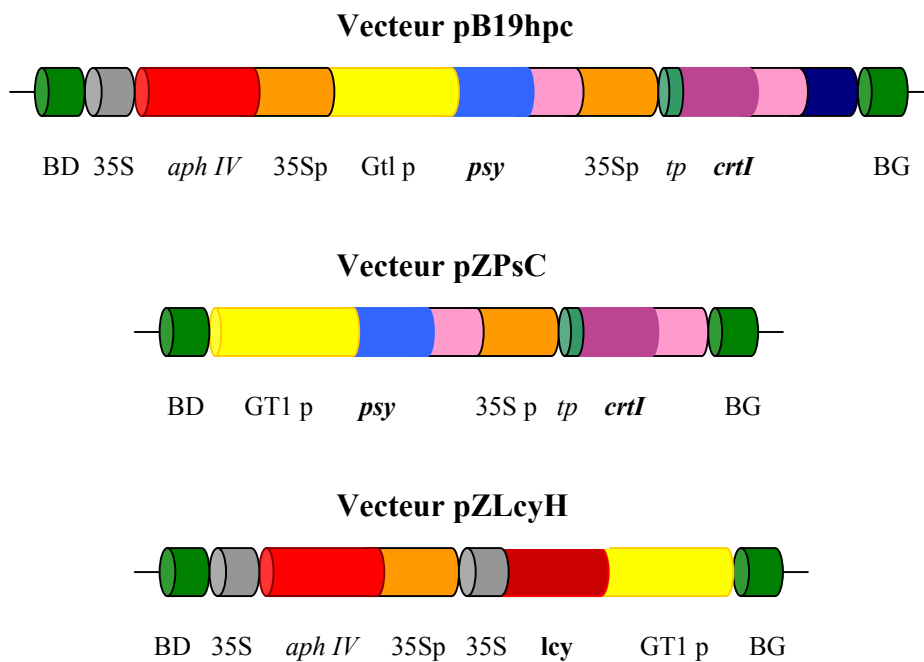
La technique pour effectuer le transfert de gène utilise la méthode de transformation *in vitro* par *Agrobacterium tumefaciens* (technique des leaf disk) (Scriban R., 1997). Les semences du riz utilisé sont originaire d'un cultivar de *Oryza sativa* L. ssp. *japonica*. Les antibiotiques de sélection utilisés étaient l'hygromycine et la céfotaxime.

Trois vecteurs, combinant chacun différents gènes, sont utilisés (Figure 12) (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000) :

- **pB19hpc** : contenant les gènes
  - phytoène synthase *psy* (origine végétale *Narcissus pseudonarcissus*) sous contrôle du promoteur de la glutéline *Gtl* ;
  - phytoène désaturase *crtI* (origine bactérienne *Erwinia uredovora*) sous contrôle du promoteur constitutif CaMV (cauliflower mosaic virus<sup>4</sup>) *35Sp* ;
  - *aph IV* : marqueur de sélection (sous contrôle du promoteur constitutif CaMV *35Sp*).
  
- **pZPsC** : contenant les gènes
  - *psy*
  - *CrtI*
  
- **pZLcyH** : contenant les gènes
  - lycopène β-cyclase *lcy* (origine végétale *Narcissus pseudonarcissus*) sous contrôle du promoteur de la glutéline *Gtl* ;
  - *aph IV*

---

<sup>4</sup> Cauliflower : choux-fleur en anglais



**Figure 12 :** Structures de la région d'ADN-T utilisée pour la simple transformation (pB19hpc) et la cotransformation (pZPsC et pZLcyH) du riz par *A. tumefaciens*. BD : Bordure Droite ; BG : Bordure Gauche ; p : promoteur ; Gtl p : Promoteur de la glutéline ; *psy* : Phytoène synthase ; *crtI* : Phytoène désaturase ; bactérienne ; *lcy* : lycopène  $\beta$ -cyclase ; *tp* : peptide de transition (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).

### 3.1.3.3 Résultats

(Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000; Zimmermann M. B., Hurrell R. F., Octobre 2002)

Une préculture d'embryons de riz immature (*O. sativa* ssp. *japonica*) (n= 800) a été mise en contact avec *A. tumefaciens* contenant le vecteur pB19hpc. Tous les échantillons analysés (n= 50) transportaient le transgène et révélait pour la plus part une seule insertion.

Une autre préculture d'embryons (n= 500) a été mise en contact avec un mélange d'*A. tumefaciens* contenant les vecteurs pZpsC ou pZLcyH. Un tiers des transgènes copiés (sur n= 60) ont été retrouvés dans des plantes ayant été **cotransformées**. Dix plantes contenant les quatre transgènes ont été mis en serres. Toutes les plantes cotransformées ont montrés un phénotype normal et étaient fertiles (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000).

Des graines mûres de la lignée contrôlée transgénique T0 ont été recueillies. Dans la plus part des cas, l'endosperme de ces graines étaient jaunes indiquant une formation de caroténoïdes.

La simple transformation par pB19hpc ne permet la formation que de lycopènes (rouges). Les graines obtenues par cette transformation étaient de couleur similaire aux graines obtenues par la cotransformation, qui elle permet la formation de  $\beta$ -carotènes (jaunes). Des graines de certaines lignées (1 gramme de chaque) ont donc été analysées par HPLC (Chromatographie Liquide Haute Performance). Les graines transformées par la simple transformation ont montré la présence de caroténoïdes donnant la couleur. Une absence d'accumulation détectable de lycopènes a été observée (Figure 13B). A la place, des  $\beta$ -carotènes, la lutéine et zéaxanthine ont été formés. On peut alors en déduire que l'enzyme

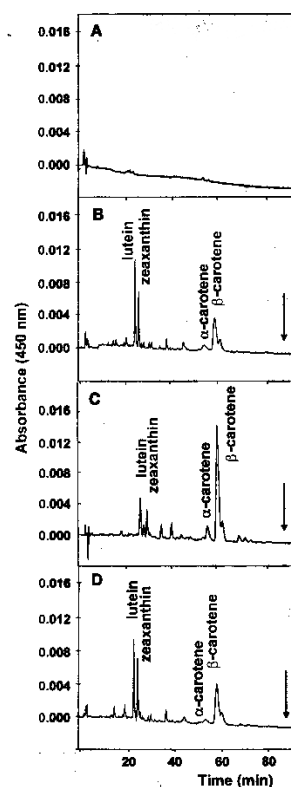


Figure 13 : analyse HPLC des caroténoïdes de graines de certaines lignées obtenues par transgénèse (1g de chaque). (A) graines de contrôle, (B) lignée h2b (simple transformation), (C) lignée z11b (cotransformation), (D) lignée z4b (cotransformation). Le site d'éluion des lycopènes dans le chromatographe est indiqué par une flèche (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000)

lycopène  $\beta$ -cyclase est constitutivement exprimée dans l'endosperme normal du riz ou induit par la formation de lycopènes.

Les graines provenant de la cotransformation par pZPsC/pZLcyH, bien que possédant les mêmes phénotypes, ont de plus grandes variabilités en caroténoïdes que celles obtenues par simple transformation. La lignée z11b en est un très bon exemple (Figure 13C). Cette lignée contient une concentration en caroténoïde dans son endosperme de 1,6  $\mu\text{g/g}$ . Pour avoir de meilleur résultat, il faut attendre d'avoir une lignée homozygote ayant une couleur de grain uniforme. Le but final à atteindre serait une concentration de 2 $\mu\text{g/g}$  en provitamine A dans une lignée homozygote (100  $\mu\text{g}$  de rétinol correspondant alors à la prise journalière de 300g de riz).

### **3.2 L'économie autour des riz génétiquement modifiés (GM)**

Les grandes firmes travaillant sur le riz GM et les modifications recherchées, quelques exemples (Geocities, 2002) :

- AgrEvo (Stérilité mâle)
- AmericanZeneca (Enrichissement en  $\beta$ -carotènes)
- Aventis (Résistance aux herbicides)
- Gouvernement chinois (Résistance aux insectes)
- Dupont (Enrichissement en protéines)
- Institut de Génétique de Berlin (Enrichissement en amidon)
- Gouvernement Koréen (Haut rendement)
- Japan Tobacco (Modification de la photosynthèse)
- Université d'Etat de Louisiane (Résistance bactérienne)
- Fondation Rockefeller (Augmentation de la valeur nutritionnelle)
- Université des Sciences de Tokyo (Vaccin contre l'hépatite)
- Université d'Etat de Washington (Augmentation de la grosseur du grain)
- CIRAD (Résistance aux insectes)

Bien que l'activité soit globalement à l'étape de développement, il existe déjà des accords permettant la commercialisation de certaines variétés qui sont les riz :

- Cadet and Jacinto (Amélioration de la texture du riz cuit) de la firme Agricultural Research Service (Beaumont, Texas)
- IMI Rice Seed (Résistance aux herbicides) de la firme American Cyanamid
- Liberty Link Rice (Résistance aux herbicides) de la firme AgrEvo
- Rounup-Ready Rice (Résistance aux herbicides) de la firme Monsanto

Les biotechnologies intéressent donc de nombreux industriels multinationaux de l'agroalimentaire et de l'agropharmacie. La recherche médicale est aujourd'hui moins productive. Les laboratoires piétinent sur la voie de la chimie traditionnelle. Les industries

pharmaceutiques ont beaucoup investi sur des pistes radicalement innovantes comme la thérapie génique ou les biotechnologies, en sous-estimant les difficultés scientifiques et techniques qu'elles rencontrent. Du côté médical, la recherche est plus longue que prévu et ne coïncide pas avec celui de la rentabilité économique d'une entreprise. Les laboratoires doivent faire preuve, au point de vue médical, de l'innocuité de leurs découvertes, en procédant à des essais cliniques de plus en plus contraignants. Ces contraintes sont à l'heure actuelle moindre en ce qui concerne les plantes transgéniques, d'où l'orientation choisie par les grands laboratoires dans ces axes de recherche.

Les lois du marché et de la concurrence obligent les petits groupes à fusionner avec des plus grands pour pouvoir survivre. Parmi les plus grands groupes industriels, on retrouve :

- Monsanto (USA)
- Aventis (France)
- Syngenta (Suisse)
- Dupont (USA)
- DowElanco (USA)
- Cynamid (USA)
- Agrevo (Allemagne)
- Sanofi (France)
- Bayer (Allemagne)

Les cinq premiers groupes semenciers au monde sont (par ordre d'importance mondiale) : (INAPG, 2003)

- Dupont-Pioneer Hi-breed (USA)
- Monsanto (USA)
- Novartis Seeds (Suisse)- groupe Syngenta-
- Groupe Limagrain (France)
- Seminis Vegetable Seeds (Mexique)

Jusqu'ici, les multinationales du secteur consacrent la quasitotalité de leurs investissements aux cultures intensives intégrées à une filière industrielle (figure 14). Autour de leurs découvertes, elles ont édifié des murailles de brevets aux coûts prohibitifs. Seule la

recherche publique s'intéresse aux paysans insolubles de la zone tropicale. Démuni de moyens, le secteur public est contraint de passer des accords de coopération avec le privé, au risque d'y perdre son indépendance.

Les grands groupes exercent une pression financière pour collaborer avec la recherche publique. Ce fut le cas sous l'égide du ministre H. CURIN, du grand programme Bioavenir (1991) mené sur 5 ans, qui a réuni Rhône-Poulenc (Aventis), les grands organismes de recherche publics, l'institut Pasteur et des universités (soit 500 personnes, 200 thèses, 172 brevets, 528 articles scientifiques...). Les retombées en thérapeutique, agrochimie et transgénèse végétale furent satisfaisantes (Scriban R., 1999). Cependant, on peut s'interroger sur ce qui advient à court ou moyen terme des découvertes communes. Cet enjeu est grandement pris en jeu aujourd'hui dans les accords de ce type par les chercheurs qui redoutent de voir leurs recherches accaparées par le secteur privé et inaccessible aux pays en voie de développement. La question qui persiste est de savoir qui pourra conseiller les chercheurs pendant la négociation des contrats.





**Les degrés de la malnutrition**

- Faibles prévalence et gravité
- Faible prévalence et gravité modérée (et vice versa)
- Prévalence et gravité modérées
- Forte prévalence et gravité modérée (et vice versa)
- Fortes prévalence et gravité

SOURCE FAO (1996-98) / Solagral-UNESCO (1999)

**Les OGM dans le monde [●]**

*Les Etats-Unis concentrent, à eux seul, 70% des surfaces cultivées en OGM, suivis par l'Argentine (14%) et le Canada (10%). Le soja (huile, farines pour l'alimentation animale) occupe 54% de ces surfaces, devant le maïs, le colza et le coton.*

Figure 14 : Les plantes transgéniques et la malnutrition : deux univers qui ne se rencontrent pas (UNESCO, Septembre 2001).

### 3.3 Les riz transgéniques

#### 3.3.1 Le riz doré

Le 14 Janvier 2000, Le professeur Ye X. et son équipe font part de leur découverte d'un riz transgénique enrichie en  $\beta$ -carotène (Ye X. *et al.*, 14 Janvier 2000). Dans ce cas appelé « riz doré », une voie complète de synthèse du  $\beta$ -carotène a été introduite à l'aide d'une technique de transformation par agrobactérie, ce qui a permis d'obtenir des grains de riz contenant un précurseur de la vitamine A, normalement non présent dans le grain.

La technologie « Golden Rice » a été développée grâce aux fonds alloués par la Fondation Rockefeller (1991-2002), l'Ecole Polytechnique Fédérale Suisse (1993-1996), l'Union Européenne dans le cadre d'un programme de biotechnologie sous l'égide de la Communauté Européenne (1996-2000) et par l'Office Fédéral Suisse pour l'Education et les Sciences (1996-2000).

Le riz supplémenté en vitamine A pose de nombreux problèmes de disponibilité, d'accès, de stabilité, d'acceptabilité par la population. D'où l'idée d'apporter, par la céréale de base la plus consommée au monde, un moyen de pallier à cette carence.

L'avitaminose A est très répandue chez les populations des pays d'Asie tropicale où l'on consomme du riz. Les pays le plus gravement atteints sont le Bangladesh, l'Inde, l'Indonésie, le Myanmar, le Népal, les Philippines, Sri Lanka et le Viêt Nam. L'avitaminose A pose aussi un problème dans le nord-est du Brésil. La carence en vitamine A affecte les structures épithéliales de plusieurs organes, l'œil étant le plus évident. Les atteintes oculaires peuvent être externes, avec atteinte des épithéliums de la cornée et de la conjonctive : **xérophtalmie**, ou internes, avec baisse de la sensibilité de la rétine à la lumière : **héméralopie**. La carence chez l'enfant provoque d'abord une héméralopie puis une xérophtalmie qui conduit rapidement à la cécité avec ulcération de la cornée.

Cette carence en micronutriment est la **première cause de cécité au monde**. Elle est grave, car une cécité partielle ou complète pèse sur le sujet et aussi sur la collectivité. Grave, car il touche la première enfance. Trois millions d'enfants de moins de 10 ans en sont atteints. Une perte partielle ou totale de la vision confère à ces enfants une durée de vie restante de 10 ans approximativement.

Le terme de « **vitamine A** » désigne à la fois le **rétinol**, ses esters et des dérivés métaboliquement actifs (rétinals) tandis que celui de « **rétinoïdes** » recouvre aussi bien les composés naturels que les dérivés de synthèse possédant une action thérapeutique (Le Moël G. *et al.*, 1998). L'apport alimentaire en vitamine A est réalisé sous 2 formes : les **esters de rétinyles** et les **provitamines A**. Les esters de rétinyles, surtout présents sous forme de palmitate (on parle de palmityl-rétinol), se rencontrent préférentiellement dans les aliments d'origine animale (Masson O., 2002 ; Le Moël G. *et al.*, 1998).

Dans les aliments d'origine végétale, la vitamine A existe sous la forme d'un pigment jaune, le  **$\beta$ -carotène**, une **provitamine** formée de deux molécules de rétinol. Les composés ressemblant au  $\beta$ -carotène sont connus sous le nom de **caroténoïdes**.

Le 22 janvier 2001, des échantillons du riz doré ont été remis à l'Institut International de la Recherche sur le riz (IRRI) à Los Baños, Philippines. C'est grâce à l'abandon de leurs droits respectifs de propriété intellectuelle que les compagnies Syngenta Seeds AG, Syngenta Ltd, Bayer AG, Monsanto Company Inc., Orynova BV et Zeneca Mogen BV ont rendu possible la mise à disposition de cette variété de riz doré. Ce sont les pays en voie de développement du continent asiatique qui procèdent aux recherches plus poussées en matière d'efficacité et de sécurité alimentaire. C'est seulement après une période d'essai de quatre ans et après avoir satisfait aux conditions réglementaires locales que le riz doré pourra être utilisé librement par toutes les nations en développement concernées par ces carences vitaminiques (Syngenta, 22 Janvier 2001).

GOLDEN RICE POBEY et CARAT GOLDEN RICE sont des marques déposées du groupe Syngenta. Les droits d'utilisation de Golden Rice Pobey seront accordés en liaison avec le projet de développement de l'IRRI (Syngenta, 22 Janvier 2001).

### 3.3.2 Le riz enrichi en fer

Dans des perspectives analogues à celle du riz doré, des groupes de recherches essaient d'enrichir le riz en fer.

Les carences en fer affaiblissent le système immunitaire et sont susceptibles de nuire à la croissance et au développement de l'organisme. Une carence en fer entraîne une anémie ferriprive dite microcytaire et hypochrome.

Un des principaux facteurs étiologiques est la faible biodisponibilité du fer lors de régimes à base de céréales et de légumes riches en acide phytique, qui inhibe l'absorption du fer. Les sources les plus intéressantes de fer sont la viande, le foie, les légumes aux feuilles vert foncé et les fruits secs. La vitamine C contenue dans les fruits frais favorise l'absorption du fer. La biodisponibilité en fer des céréales est médiocre en raison d'une absorption limitée par la présence de phytates et de phosphates.

Plusieurs approches pour la transgénèse peuvent être utilisées. Une augmentation de la concentration des protéines de stockage, la phytoferritine et la métallothionéine, et accroître la teneur en fer. Goto F. *et al.*, en 1999, ont signalé un accroissement par un facteur 2 à 3 du fer dans du riz transgénique exprimant le gène du soja codant pour la ferritine.

La teneur en fer peut être accrue en augmentant son absorption à partir du sol. En 2000, l'équipe du professeur Lucca obtient des premiers résultats mitigés dans cet axe de recherche. L'enrichissement des aliments en fer reste complexe sur le plan technique. En 2001, la même équipe a indiqué la combinaison trois approches par transgénèse pour améliorer la biodisponibilité et la teneur en fer du riz.

Tout d'abord, une phytase thermostable provenant d'*Aspergillus fumigatus* et active dans la gamme de pH rencontré dans le tractus intestinal a été introduite au moyen de la transformation par *Agrobacterium*. La phytase avait été développée pour résister à la préparation alimentaire.

Ensuite, un gène codant pour la ferritine provenant de *Phaseolus vulgaris* (haricot) a été introduit.

Enfin, comme les peptides contenant de la cystéine sont considérés comme des amplificateurs de l'absorption du fer, la protéine endogène riche en cystéine du type métallothionéine était surexprimée.

Les trois gènes étaient exprimés dans l'albumen. L'activité phytase était augmentée d'un facteur de 7 pour atteindre une concentration analogue à celle du seigle, qui est la plus élevée parmi les graines céréalières. L'acide phytique dans le riz non cuit était complètement dégradé au cours d'une digestion intestinale simulée. Cependant, la phytase n'était pas thermostable après avoir été exprimée dans l'albumen du riz et était détruite lors de la cuisson. Néanmoins, le contenu en fer, est passé de 10 à 22 µg/g et le contenu en résidu cystéine de 45 à 320 mg/g de protéine. L'influence de ces modifications sur la biodisponibilité du fer reste à préciser (Lucca P. *et al.*, 2001).

### 3.3.3 Le riz à haut rendement

(FAO, 23-26 Juillet 2002)

Plusieurs problèmes naissants risquent de compromettre la capacité de satisfaire les besoins futurs de riz. La stagnation des rendements et les ressources limitées en terre et en eau qui seraient nécessaires pour élargir les superficies cultivées sont les principales contraintes à une augmentation durable de la production de riz.

#### 3.3.3.1 Le riz *Bt*

En 1991, des chercheurs japonais produisent le premier riz *Bt*. Les deux variétés qui existent, une produite par l'IRRI, et l'autre par l'Institut Fédéral de Technologie Suisse, sont alors mises en serre.

Par transgénèse, le riz contenant un gène *Bt* a été développé, permettant une résistance contre les insectes. Le transgène provient de la bactérie tellurique *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) qui produit les toxines Cry (pour crystal). Ce sont des protoxines. Ces protoxines utilisées dans les formulations commerciales de *Bacillus thuringiensis* doivent être délivrées dans le tube digestif des insectes pour devenir toxiques.

Dans les années 1960, des scientifiques japonais et allemands ont découvert les capacités toxiques voir mortelles du *Bt* après ingestion par des chenilles. Les toxines agissent en déstabilisant le fonctionnement digestif des insectes. Dès ces années, une formulation de ces toxines, sous la forme de sprays topiques, a été commercialisée pour combattre les chenilles. La toxine *Bt* est active uniquement à l'encontre de certaines espèces d'insectes, et après plus de 30 ans d'utilisation de *Bt* comme insecticide, il n'a pas été observé de réaction allergique ou de toxicité particulière chez les autres espèces animales ou chez l'homme (Gaffé J., 26 Mai 2003). D'autres recherches ont donc été menées pour connaître la toxicité d'une plante transgénique *Bt*. Pour l'instant, une innocuité sur l'homme et l'animal est reconnue (IRRI, 2002). D'autres plantes *Bt*, tel que le maïs, sont commercialisées aux USA.

La protéine Cry du riz *Bt* existe déjà dans la nature et n'est toxique que pour les insectes. Mais des précautions doivent être prises pour éviter la dissémination du gène (Gaffé J., 26 Mai 2003).

Comme pour le cas de tout autre insecticide, les insectes ravageurs développeront éventuellement des résistances aux toxines du riz *Bt*. Il n'est pas possible de prédire combien de temps ce riz GM sera efficace. De nouvelles stratégies de cultures sont donc à développer. Ces méthodes, basées sur l'expérience des insecticides chimiques, devront prévoir des refuges de temps ou d'espace où les toxines ne sont pas présentes. Pour ces plants, une autre approche consisterait à obtenir des plants contenant des toxines agissant de différentes façons sur les insectes. La probabilité alors que l'insecte soit résistant à deux ou plusieurs toxines diminue (IRRI, 2002).

Le CIRAD avec son laboratoire Igepam, en collaboration avec le programme Biotrop et l'Ucr CIRAD-Aventis, ont émis leur réponse à ce problème. Celle-ci consiste en la coexpression dans la plante de combinaison de plusieurs toxines ayant des modes d'action différents. Ainsi le développement concerne la coexpression de deux toxines Cry sous la forme d'une protéine de fusion, comme Cry1B-Cry1Ab ou la coexpression d'une toxine Cry avec la toxine Cyt1A de *Bacillus thuringiensis*, qui n'a jamais été exprimé dans une plante et qui présente un mode d'action très différent de celui des toxines Cry (CIRAD, 2000).

Le transgène Bt est sans aucun doute un de ceux étant le plus médiatisé à l'heure actuelle, que ce soit en France (par la destruction de plants de riz transgéniques au CIRAD- Annexe 1-) ou au niveau mondiale avec l'histoire du papillon monarque pour le maïs.

### 3.3.3.2 Le riz C4

Dans la lumière des recherches actuelles, le bénéfique potentiel du riz génétiquement modifié par incorporation de qualités de plantes tel que le maïs, le sorgho, ou la canne à sucre, est énorme. En ce qui concerne le métabolisme du carbone, les Poacées sont la famille qui, de loin, possède le plus d'espèces dites en C4. Ces espèces, qui différencient deux types de chloroplastes, fixent le CO<sub>2</sub> avec un rendement 4 à 5 fois supérieur à la moyenne. La plupart des céréales tropicales tel la canne à sucre appartiennent à ce type. Mais le riz n'en fait pas parti (Guignard J.L., 2001).

Outre son intérêt certain pour une augmentation des rendements, le riz C4 permettrait un rendement énergétique plus élevé que pour les plantes en C3. Le fonctionnement photosynthétique des plantes en C4 apparaît comme une excellente adaptation à la vie en pays chaud et sec et permet une meilleure gestion de l'eau (FAO, 23-26 Juillet 2002).

#### 3.3.3.2.1 Bases de la photosynthèse

(Biard J.F., 1998 ; Heller R., Esnault R. et Lance C., 1996)

La photosynthèse permet la réduction par les végétaux du dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>, en substances carbonées. Les pigments responsables de cette photosynthèse sont les **chlorophylles**. Chez les végétaux, proprement dits, les pigments assimilateurs sont localisés dans les membranes des **thylacoïdes**, au niveau des **chloroplastes**. Dans le **stroma** se déroule en continue les étapes chimiques de la photosynthèse, depuis la fixation initiale de CO<sub>2</sub> jusqu'à la formation d'amidon, ainsi que les réactions qui lui sont associées (réduction des nitrites, sulfates, etc.).

La photosynthèse se déroule en continue. On peut distinguer deux étapes (figure 15) :

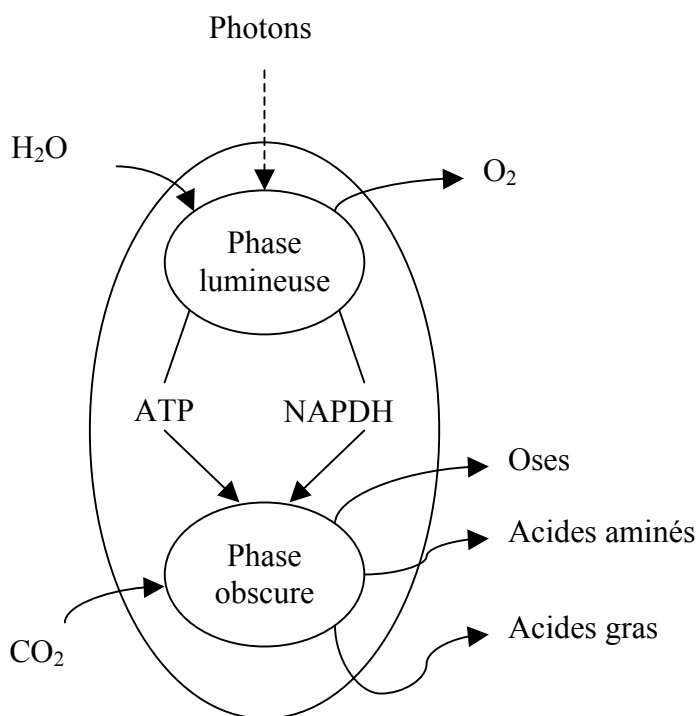
- **Phase lumineuse** : localisée dans l'épaisseur des thylacoïdes. Les chloroplastes sous l'effet des photons lumineux avec de l'eau synthétisent deux éléments :
  - de l'énergie sous forme d'ATP (Adénosine TriPhosphate)



- un pouvoir réducteur sous forme de NADPH (Nicotinamide Adénosine Dinucléotide Phosphate).

Ces deux éléments sont ensuite utilisés dans la deuxième étape.

- **Phase Obscure** : les chloroplastes réduisent le  $\text{CO}_2$  pour former des substances dont principalement des glucides. Cette phase se déroule dans le stroma.



**Figure 15 : Etapes et principe de la photosynthèse (Biard J.F., 1998)**

Durant la phase obscure se déroule le **cycle de Calvin** permettant la transformation du carbone minéral en composés organiques. Trois molécules de CO<sub>2</sub> permettent la formation d'une molécule de ribulose, composé en C3 (trois carbones). Cependant, il faut que le CO<sub>2</sub> soit en quantité importante dans les feuilles. En effet, ce cycle possède une enzyme limitante, ne fonctionnant qu'à partir d'une certaine concentration en CO<sub>2</sub>. Il s'agit de l'enzyme ribulose biphosphate carboxylase/oxygénase ou **rubisco**.

En général, la teneur atmosphérique est suffisante. Le problème survient sous des climats chauds et secs, arides ou semi-arides. C'est au niveau des stomates que les plantes permettent de réguler tous leurs échanges gazeux. Sous un fort ensoleillement, il y a une fermeture des stomates contre les pertes en eau. Les besoins de la photosynthèse en CO<sub>2</sub> dépasse rapidement les concentrations présentes dans la plante. Chez les plantes dites en C4 existe un cycle complémentaire de pompage et de concentration du CO<sub>2</sub>. Celui-ci, nommé **cycle de Hatch et Slack**, est indépendant de la concentration en CO<sub>2</sub>.

Dans une plante en C3, toutes les cellules du mésophylle (partie interne des feuilles) participent à la photosynthèse. Chez les plantes en C4, ces cellules entourent les cellules de la gaine vasculaire et elles seules effectuent le cycle de Calvin. Toutes les autres cellules servent de concentrateur en CO<sub>2</sub>.

Le cycle de Hatch et Slack permet d'incorporer un nouveau carbone au triose. Ce composé en C4 assure le transfert d'un carbone vers la gaine vasculaire. Les cellules du mésophylle étant plus nombreuses que les cellules de la gaine vasculaire, la concentration en CO<sub>2</sub> est suffisante pour permettre le fonctionnement de la rubisco.

### 3.3.3.2.2 *La transformation du riz en plante C4*

Bien qu'étant une plante en C3, le riz possède déjà tous les éléments lui permettant d'effectuer la photosynthèse en C4. A la différence du maïs, il y a une absence de régulations et de connections enzymatiques pour aboutir à cette photosynthèse.

Le gène Pdk codant pour le pyruvate orthophosphate dikinase (**PPDK**), une enzyme intervenant dans le cycle de Hatch et Slack. Des recherches ont été effectuées pour comprendre la différence entre le gène Pdk du maïs et un gène homologue du riz. La structure de base était quasiment la même à l'exception de deux introns supplémentaires chez le riz (Makoto Matsuoka, 2000).

Deux gènes, codant pour des enzymes intervenant dans le cycle de Hatch et Slack, ont été séparément intégrés dans le riz : la phospho-énolpyruvate carboxylase (**PEPC**) et la pyruvate orthophosphate dikinase (**PPDK**) (Maurice S.B. Ku *et al.*, 2000)

Dans ces plants obtenus par transfert de gène par *Agrobacterium*, la recherche américaine (Washington State University) et japonaise (Tsukuba) ont obtenus des premiers résultats. Les gènes étaient surexprimés. Sous un fort ensoleillement, la capacité photosynthétique du riz PEPC était deux fois plus élevée que pour un riz non transformé (Maurice S.B. Ku *et al.*, 2000). Les essais en serre préliminaires, effectués par la Chine et la Corée, révèlent 10-30 % d'augmentation dans le rendement de grain pour le riz transgénique PEPC et 30-35 % d'augmentation pour le riz PPDK. Ces contraintes sur ces riz se sont développées pour six générations, et les traits semblent stables (Pullman, 23 Mai 2000). La production de grain était également supérieure de 12 % (FAO, Juin 2003).

### 3.3.4 Le riz qui dispense d'injections régulières d'insuline

(Forum E-Med, 14 Mai 2003)

Une autre voie de recherche est la consommation directe de plante transgénique contenant des molécules d'intérêt thérapeutique. On parle d'**aliments** dans ce cas.

A Tokyo, le 14 mai 2003 (AFP), 12h14, des laboratoires japonais et un institut public ont annoncé avoir développé une variété de riz génétiquement modifié dont la consommation dispenserait les diabétiques de leurs injections régulières d'insuline en favorisant l'auto-production de cette hormone cruciale.

Cette nouvelle variété a été développée par l'Institut national des sciences agrobiologiques (NIAS), la firme Japan Paper Industries et l'institut de recherche Sanwa Kagaku.

C'est la première fois au monde qu'un aliment est développé comme traitement efficace pour les diabétiques, a affirmé Fumio Takaiwa, chef de l'équipe de recherche du NIAS.

Le diabète est caractérisé par un excès chronique et toxique de sucre dans le sang en raison d'une sécrétion insuffisante d'insuline par le pancréas.

Plus de 150 millions de personnes sont diabétiques à travers le monde, dont 17 millions aux Etats-Unis. L'affection peut causer une perte progressive de la vue, des problèmes rénaux et parfois la mort.

La nouvelle variété de riz contient un taux élevé d'une autre hormone, GLP-1, qui aide le pancréas à produire de l'insuline.

La découverte « est historique parce qu'elle permettra de manger l'aliment de base au Japon, d'accroître la sécrétion d'insuline et d'abaisser le niveau de glucose dans le sang » des diabétiques de type 2 (diabète apparaissant à l'âge adulte souvent à cause de problèmes d'obésité), ont indiqué les trois partenaires japonais.

Ils ont calculé qu'un plat de riz normal (environ 150 grammes) à chaque repas devrait suffire à contrôler le niveau de glucose des diabétiques, qui sont 6,9 millions au Japon.

Ce riz pourrait être commercialisé d'ici deux ou trois ans, mais Takahito Jomori de Sanwa Kagaku a estimé que cela pourrait prendre davantage de temps.

« En plus de la législation nationale sur la culture du riz, il pourrait y avoir un problème d'acceptation par le public d'aliments génétiquement modifiés », a-t-il dit.

Les zones où des aliments génétiquement modifiés peuvent être cultivés sont en outre limitées au Japon et il est possible que ce riz doive être produit à l'étranger, par exemple aux Etats-Unis, selon M. Jomori.

### **3.4 Les limites d'utilisation d'un riz génétiquement modifié**

#### **3.4.1 Une solution unique pour un problème multiple**

Grâce à cette nouvelle génération de variété de riz, les industries agroalimentaires espèrent réconcilier les consommateurs avec les plantes génétiquement modifiées. Car les consommateurs, qu'ils vivent dans un pays riche ou pauvre, ressentiront alors les bénéfices de la technologie au bout de leur fourchette ou de leurs baguettes.

Cependant, derrière tout le lancement publicitaire du riz doré, par exemple, il est à observer quelques déconvenues.

Les premières recherches poussées sur ce riz vont s'effectuer et on le comprend sur le continent asiatique. Les cultivars de riz les plus cultivés en Chine et dans la majeure partie des régions de l'Asie de l'Est se trouvent appartenir à la sous espèce *Oryza sativa* L. ssp. *Indica* (Science, 2002). Or il est dommage que ce riz GM proposé en essai soit de la sous espèce *Oryza sativa* L. ssp. *Japonica*, cultivé dans les pays tempérés.

Des autorisations en termes de développement seront bientôt accordées à d'autres instituts de recherche du secteur public. Cette technologie pourra ensuite être transférée vers des variétés de riz locales pour des essais de biosécurité et d'efficacité, ce qui devrait prendre encore au moins quatre ans (Syngenta, 22 Janvier 2001). Soit une attente à nouveau de quatre années pour obtenir, à partir de 2008, un premier riz doré de la sous espèce majoritairement présente en Asie.

Il conviendrait aussi de s'intéresser au grain de riz par lui-même et de ses capacités à pallier seul les carences en vitamine A. Le dosage du grain en  $\beta$ -carotène a été effectué, mais aucune étude n'apparaît sur sa résorption digestive et sa disponibilité biologique. La population à qui s'adresse ce riz possède de multiples carences pouvant limiter les effets de ce riz.

Par exemple, la digestion de la vitamine A accompagne celle des lipides. La vitamine A bénéficie d'une efficacité d'absorption d'environ 70 % ; elle n'est que de 50 % pour le  $\beta$ -carotène en raison de son caractère hydrophobe plus important (Masson O., 2002). Cette absorption varie en fonction de la nature de la ration alimentaire et de la façon dont elle est administrée.

En cas de malnutrition protéino-énergétique, l'absorption des composés du groupe de la vitamine A reste bonne (90 % contre 95 %). Par contre, la faible quantité plasmatique de vitamine A est souvent associée dans les pays les moins avancés à une carence protéique qui induit une diminution de synthèse de la RBP (Rétinol-Binding-Proteins : protéine indispensable au transport du métabolite actif de la vitamine A : le rétinol). Cette diminution est aggravée par une carence en zinc existante. Cette dernière carence est responsable de la mise en réserve hépatique du rétinol (Amédée-Manesme O., De Maeyer E., 1989 ; Le Moël G. *et al.*, 1998).

Un point essentiel est que le riz doré, comme l'indique son nom, est coloré jaune. L'acceptabilité d'un riz qui est premièrement génétiquement modifié, puis de couleur, peut laisser à penser un rejet par les potentiels consommateurs, tout comme ce fût le cas dans de nombreux pays pendant cinquante ans avec les riz enrichis.

Aussi, en ce qui concerne le riz enrichi en fer, dans les formes sévères et prolongées d'anémie, la carence d'apport protéique réduit la capacité de synthèse de la globine et de la trame protéiques des globules rouges (Basdevant A. *et al.*, 2001). Un déficit en vitamine A provoque une anémie et une hyposidérémie insensible à un traitement martial (Amédée-Manesme O., De Maeyer E., 1989). Les régimes à biodisponibilité élevée (absorption de fer de l'ordre de 15 %) sont des régimes diversifiés contenant des quantités généreuses de viande, de volaille, de poisson ou d'aliments riche en acide ascorbique (vitamine C). Ce sont des régimes typiques de la plus grande partie de la population des pays industrialisés (FAO, 2001).

Cette perspective d'apparition sur le marché de ce type d'aliments, issus des techniques de transgénèse, soulève deux autres problèmes (Basdevant A. *et al.*, 2001) :

- D'ordre toxicologique : la multiplication d'aliments divers, tous enrichis de manière indépendante, peut entraîner un risque de surconsommation sans que l'on ait toujours d'information suffisante sur le risque toxicologique éventuel ni même l'impact nutritionnel à long terme d'un surdosage. Un surdosage en vitamine A est toxique. A contrario, les carotènes ne présente aucun risque toxique puisque l'organisme transforme en vitamine A uniquement le carotène dont il a besoin (Pamplona R.G., Décembre 1997).
- Sur le plan de la politique alimentaire et de l'éducation nutritionnelle. En effet, la perte d'identité des aliments, et la déstructuration des comportements alimentaires qui en découle sont une source de déséquilibres nutritionnels et favorisent le développement de pathologies tel que l'obésité.



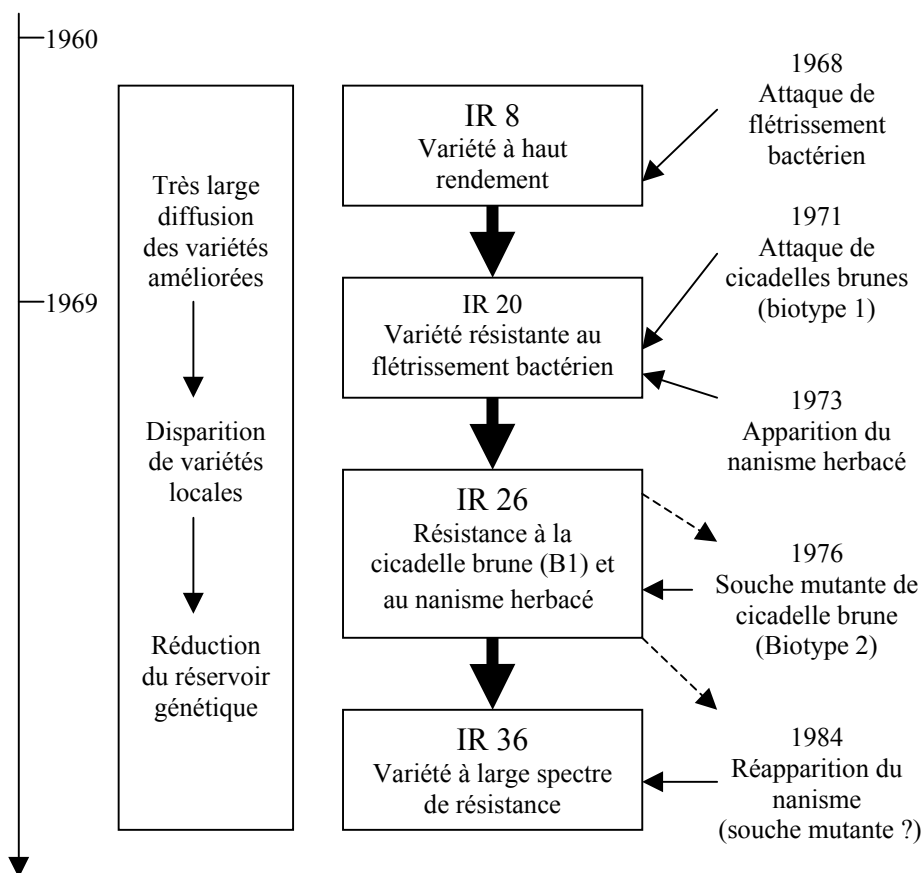
### 3.4.2 L'érosion génétique

A l'heure actuelle, les principales recherches en cours utilisent les nouvelles techniques de génie génétique. Les avantages de ces voies de recherche relèguent bien évidemment les variétés locales traditionnelles au second rang, dans un contexte concurrentiel où l'on se doit d'être performant.

On sait depuis longtemps que les rizières irriguées sont extrêmement vulnérables à une attaque biologique majeure du fait de leur uniformité génétique. Pendant les années 80, la variété IR 36 était cultivée en Asie sur quelque 13 millions d'hectares. À l'heure actuelle, la variété IR 64 occupe 10 millions d'hectares, soit environ 15 % du total des rizières irriguées. En 1998, 95 % de la production de toutes les variétés hybrides (près de 17 millions d'hectares) provenait de la même source de stérilité cytoplasmique des mâles (FAO, 23-26 Juillet 2002). L'uniformité génétique des variétés et des riz hybrides modernes entraîne une grande vulnérabilité des cultures aux ravages d'innombrables parasites et maladies.

Depuis sa création en 1960, l'Institut International de recherche sur le riz (IRRI), basé aux Philippines, a effectué un travail considérable de sélection et d'amélioration variétale. Ce travail fût couronné de succès, puisqu'il permis d'obtenir des variété à rendement élevé, qui ont été largement diffusées en Asie (la variété IR 36 était cultivée sur 20 millions d'hectares en 1986).

Globalement, l'amélioration de la situation alimentaire de l'ensemble du Sud-Est asiatique, malgré une pression démographique forte, atteste des progrès réalisés. Néanmoins, il es indéniable que l'uniformisation des variétés cultivées a fragilisé la production. En effet, les maladies et les ravageurs des plantes évoluent également. Ainsi, les variétés résistantes peuvent être subitement confrontées à une souche mutante d'un ravageur qui en principe ne devrait pas les menacer (Figure 16) (Brun J.-M., 1996).



**Figure 16 : L'uniformisation des variétés réduit le potentiel d'adaptation. L'exemple du riz asiatique**  
(Brun J.-M., 1996)

En retour, les centres de recherche vont chercher à contrer les organismes mutants en utilisant des caractéristiques d'autres variétés locales ou anciennes. C'est bien là que se situe le paradoxe : le succès des variétés améliorées est tel que ces variétés ont bien souvent été abandonnées par les paysans (depuis la fin des années 70, en Indonésie, 1.500 variétés locales ont disparu). Le réservoir de ressources génétique a subi une érosion du fait de la mise en valeur de quelques unes de ses potentialités. Ainsi, lorsque l'on s'aperçut que la variété IR 26 était trop fragile pour les vents forts des îles, les chercheurs eurent l'idée de recourir à une variété originaire de Taïwan qui avait montré des capacités exceptionnelles de résistance au vent. Mais ils découvrirent alors que cette variété avait été complètement éliminée par les

paysans taïwanais qui, quelques années auparavant, lui avaient préféré la variété IR 8 développée par l'IRRI (Brun J.-M., 1996).

Le problème de l'uniformité génétique n'est d'ailleurs pas limité aux pays en développement. Le riz produit aux États-Unis est notoire pour l'étroitesse de sa base génétique et, en Australie, presque toute la production provient de la même variété, largement utilisée en Californie. En Amérique latine, la production de riz repose également sur une base génétique étroite (Cuevas-Perez F. *et al.*, 1992).

L'écart de rendement provient de nombreuses déficiences dues principalement à des pratiques de gestion inadéquates. De meilleures technologies de gestion des cultures existent, mais nombre d'entre elles n'ont pas été introduites, essayées ou modifiées pour être adaptées aux conditions locales. Les déficiences qui caractérisent la gestion des cultures sont par conséquent imputables souvent à l'insuffisance du transfert des technologies.

Une amélioration des rendements ne se traduira par une augmentation de la production que si elle est accompagnée d'améliorations dans les opérations postérieures à la récolte. Dans de vastes régions d'Asie, la manutention du riz après la récolte ne s'est pas améliorée depuis une dizaine d'années. La moisson et le battage à la main sont communs, les méthodes rudimentaires de séchage sont la règle et les conditions d'entreposage du riz sont médiocres.

Aussi, pendant des décennies, la plupart des pays d'Asie se préoccupaient surtout de subvenir à leurs propres besoins et n'accordaient qu'une attention limitée à la qualité. Ces dernières années, toutefois, le pouvoir d'achat des consommateurs a augmenté et ils préfèrent le riz de qualité. En outre, les marchés d'exportations exigent du riz de haute qualité.

Comment se fait-il que le riz Basmati sente si bon? La réponse est scientifique - les grains Basmati contiennent 0,09 parties par million de composé chimique 2-acétyl-1-pyrroline, soit environ 12 fois plus que les variétés de riz non odorant et suffisamment pour donner au riz Basmati ce parfum épicé qui le caractérise (FAO, Juillet 2002). Cet arôme, ainsi que des grains longs et fins et une texture tendre et moelleuse une fois cuit, font que le riz Basmati est le plus recherché dans le monde, avec des prix qui atteignent plus de 10 fois ceux des riz ordinaires sur les marchés internationaux.

### 3.4.3 Les flux de transgène

(CIRAD, 2001f ; IRD, Mars/Avril 2001)

Les **riz adventices** sont des plantes botaniquement très proches du riz cultivé, qui se développent spontanément dans les rizières, mais qui ne produisent pas des grains d'intérêt économique équivalent à ceux du riz cultivé. Comme les autres mauvaises herbes, ils rentrent en compétition avec le riz cultivé et provoquent des pertes de production. Leur proximité botanique avec le riz cultivé aggrave la difficulté de lutte contre ces adventices (CIRAD, 2001f).

Il existe deux catégories de riz adventice :

- Les **espèces sauvages** apparentées au riz cultivé qui ont le même habitat que le riz cultivé. Il s'agit d' *Oryza nivara* et d' *O. rufipogon* en Asie et d' *O. breviligulata* et d' *O. longistaminata* en Afrique.
- Les formes dérivées du riz cultivé *O. sativa*, les « **riz adventices spontanés** » qui apparaissent dans les champs de riz cultivé selon des processus biologiques non encore élucidés. On les rencontre en Europe, aux Etats-Unis, en Amérique latine mais aussi en Asie de l'est, en grande riziculture irriguée mécanisée où la culture est mise en place par semis direct.

Les riz adventices spontanés ont une morphologie et une physiologie bien adaptées à la survie et à la propagation : dormance, vigueur au départ, aptitude au tallage, précocité et paille haute pour concurrencer les autres plantes, égrenage spontané et aristation des grains pour faciliter la dissémination. Une fois apparues, les plantes adventices se multiplient non seulement par autofécondation mais aussi en se croisant avec le riz cultivé. La baisse des rendements et de la qualité de la production qui en résulte peut rapidement conduire à l'abandon de la rizière.

La similarité botanique du riz spontané avec le riz cultivé et son aptitude à la survie et à la propagation en font une adventice redoutable : il est tolérant aux herbicides homologués pour la riziculture et survit jusqu'à plus de dix ans dans le sol. La lutte contre le riz spontané vise avant tout à maintenir le niveau d'infestation à un seuil agronomique acceptable.

Ils représentent donc un danger potentiel en cas d'introduction de riz transgénique car les transgènes pourraient être transmis par un croisement naturel à une population d'adventices. Les conséquences seraient graves si, par exemple, celle-ci héritait d'une résistance aux herbicides qui la rendrait difficile à éliminer. Les travaux de l'IRD semblent pour l'heure montrer que leurs populations résultent plus d'une dynamique autonome que de flux et d'échanges importants de gènes avec les variétés cultivées (IRD, Mars/Avril 2001). Ceci tendrait à minorer les risques de transfert de gènes sans toutefois les exclure totalement. L'élimination de formes adventices dans les rizières apparaît donc comme un préalable à toute culture transgénique.

### **3.4.4 La gestion de l'eau douce**

Les trois quarts du volume d'eau consommé dans le monde sont utilisés pour l'agriculture irriguée, indispensable à la sécurité alimentaire de nombreux pays (CIRAD, Février 2002). Or cette ressource planétaire devient rare et il est urgent de l'économiser.

La principale difficulté, s'agissant de la conservation de l'eau, est que son prix ne reflète pas sa valeur. Dans le cas de la plupart des systèmes d'irrigation, les usagers paient des droits d'eau, si tant est qu'ils en paient, en fonction de la superficie et non du volume d'eau consommée. De ce fait, il n'y a aucune incitation économique encourageant la conservation de l'eau (FAO, 23-26 Juillet 2002).

D'autres propositions ont été faites pour réduire la consommation d'eau des rizières irriguées. Il a été suggéré notamment de limiter la culture du riz à la saison des pluies, d'employer des variétés utilisant l'eau plus efficacement (de type C4), la promotion des cultures en hautes terres et l'utilisation de moyens biotechnologiques pour mettre au point des variétés de riz résistant à la sécheresse (Tuong T.P. et Bouman B.A.M., 2002). Toutes ces options ont un coût. Le riz irrigué est plus productif pendant la saison sèche, il n'existe guère de variations génétiques pour ce qui est de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (le riz est une plante semi-aquatique) et les rendements des rizières des hautes terres sont faibles et instables. L'introduction d'une photosynthèse de type C4 ne permettrait d'économiser qu'une faible proportion des quantités d'eau utilisées pour la production irriguée (FAO, 23-26 Juillet 2003).

### **3.4.5 Les risques pour l'homme**

#### **3.4.5.1 La notion de risque**

Les normes de sécurité sanitaire alimentaire ne dépendent pas que du seul contrôle scientifique, mais aussi de facteurs économiques et culturels.

Pour l'exemple des OGM, les tenants du principe de précaution considèrent qu'on ne dispose pas d'éléments suffisants pour affirmer leur innocuité. Dans cet esprit de principe de précaution, il convient de tester tout aliment nouveau afin de s'assurer qu'il soit sans danger avant d'autoriser sa consommation à grande échelle. De l'autre côté, les partisans de l'analyse de risque expliquent que les OGM sont similaires aux produits alimentaires dont nous avons une longue expérience. De plus, ils rappellent qu'aucune preuve de la nocivité de ces plantes n'a été apportée : rien ne s'oppose donc à leur consommation. On décrit en général, les Etats-Unies comme le pays de l'analyse de risque et l'Union Européenne comme le défenseur du principe de précaution.

Cela semble vrai en ce qui concerne les OGM. En effet, les Etats-Unis font preuve d'une attitude qui, contrairement à leur image en matière de gestion des risques, relève d'une application stricte du principe de précaution vis-à-vis des fromages non pasteurisés, ou dans la tremblante du mouton. De son côté, l'Union Européenne plaide le principe de précaution en matière d'OGM, mais accepte l'analyse des risques quand il s'agit des fromages pasteurisés. Ce paradoxe n'est pas sans relation avec les nouveaux enjeux économiques des deux parties. Aux Etats-Unis les vastes réseaux qui rassemblent industries chimiques et agriculteurs autour de la culture d'OGM ont beaucoup à perdre s'ils venaient à être interdits. En Europe, au contraire, ces réseaux sont faibles et au mieux à l'état de projets. Face à ces enjeux, aucune institution ne répond pleinement aux inquiétudes.

### **3.4.5.2 Risques liés aux gènes marqueurs de résistance**

Lors de la fabrication d'une plante transgénique (cf. 3.1.2), un gène marqueur de sélection, le plus souvent résistance à un antibiotique est employé afin de différencier les plantes. Ces gènes ne s'expriment pas le plus souvent.

En Septembre 1996, le British Advisory Committee on Novel Foods and Process (ACNFP) a décidé, lors d'un colloque à Talloire en France, que les gènes de résistance à la classe des pénicillines posait un risque inacceptable à cause de la possibilité de transfert du génome de la plante vers celui des bactéries du tube digestif des animaux ou des humains (Chevallier C., 2000).

Plusieurs études ont été menées pour savoir si il était possible qu'un transfert de gène de la plante transgénique vers les bactéries du tube digestif de l'homme ou de l'animal ou bien vers les bactéries telluriques fût possible. On sait que la plupart des bactéries qui colonisent le tube digestif sont porteuses de plasmides, de bactériophages et de transposons. On peut donc s'attendre à ce que des échanges spontanés entre ces bactéries soient fréquents. Le tube digestif y est favorable par sa grande diversité au transfert de gènes.

Des recherches à l'INRA ont été faite à ce sujet. Des souris sans germes ont été associées avec une souche donatrice contenant un plasmide conjugatif et avec une souche réceptrice. Ceci afin de se mettre dans des conditions optimales de transfert. Dans ces conditions, il a été démontré que les transferts génétiques ont bien lieu dans le tube digestif et que les souches qui résultent de ce transfert, et qu'on appelle transconjugants, sont capables de se multiplier et de coloniser le tube digestif (Chemla S., 2000). La possibilité de passage d'un gène bactérien provenant d'un OGM vers une bactérie du tube digestif est donc réelle.

Une autre expérience menée par l'INRA a utilisé un modèle de souris à flore humaine. La flore complexe a pour résultat d'exercer un effet de barrière à l'implantation de bactéries étrangères exogènes. On a ensuite fait ingérer à ces souris une culture bactérienne composée de bactéries vivantes porteuses de plasmides conjugatifs. Celles-ci sont rapidement éliminées par le transit. Les plasmides contenues dans la souche en transit se sont transférés vers des



souches réceptrices présentes dans la flore autochtone. Les transconjugants qui sont isolés sont en très faible nombre et sont incapables de s'implanter sauf quand la souris reçoit un antibiotique correspondant à la résistance conférée par le plasmide. Après antibiothérapie, les transconjugants deviennent un constituant permanent de la flore autochtone (Chemla S., 2000).

Un autre problème se révèle, lié à ces marqueurs, est la possibilité d'un passage vers les bactéries du sol. Il est désormais avéré que les transferts de gènes peuvent se faire entre règnes très éloignés. Néanmoins, ils nécessitent beaucoup d'étapes, chacune ayant une probabilité de survenue très faible. De plus, dans le sol la vie est au ralenti, ce qui est peu propice à la transformation. Et, l'intégration d'un gène codant pour une résistance à un antibiotique dans le sol, où la pression de sélection est faible, est plus un fardeau supplémentaire car la bactérie doit dépenser plus d'énergie pour répliquer son ADN, ce qui entraîne son élimination de l'écosystème (Neilson et al, 1994).

Pourtant cette transformation peut se faire dans plus de 40 espèces de bactéries du sol, de l'eau, des sédiments et ce phénomène est bien plus important qu'prévu (Bertola F., Simonet P., 1999).

### 3.4.5.3 Allergies et allergènes

Une autre tentative de modification de la composition du riz vise à diminuer la présence d'un allergène, naturellement présent dans le riz. C'est ainsi qu'un riz transgénique a été fabriqué en insérant un ADN anti-sens de l'ADN codant pour une globuline de 14 kDa considéré comme un allergène majeur. Ce riz contient effectivement moins de cette globuline que le riz traditionnel, mais cette protéine reste toujours présente en quantité non négligeable et d'autres allergènes mineurs n'ont pas été éliminés. Il n'est pas établi que ce riz « hypoallergénique » soit toléré par des individus sensibles (Basdevant A. *et al.*, 2001).

Une autre façon de voir les phénomènes d'allergie alimentaire, est la possibilité de transmettre une nouvelle protéine ayant un pouvoir allergène. Malgré les précaution avancées par les industriels des biotechnologies, dans le cas éventuel où une allergénicité à cette protéine est découverte, il se pose alors la question : si cette plante est déjà commercialisée, la possibilité de retirer toutes les variétés alors présentes dans la nature est-elle possible ?

## **Conclusion**

Plus de la moitié de la population mondiale dépend du riz comme source quotidienne principale de calories et de protéines. En Chine, l'adoption généralisée de variétés hybrides s'est traduite par une augmentation de la production alors même que la superficie des rizières a diminué au début des années 90. Les moyens biotechnologiques de manipulation génétique du riz en sont encore à leurs premiers stades mais laissent entrevoir la possibilité d'éliminer plusieurs contraintes qui entravent l'amélioration qualitative ou quantitative des différentes variétés. Le progrès de la technologie et l'approfondissement des conséquences sur le génome ont mis la biotechnologie du riz au premier plan des efforts scientifiques.

Les pratiques actuelles de production rizicole seront-elles en mesure de satisfaire la demande et de contribuer efficacement à l'atténuation de la pauvreté rurale et de la dégradation de l'environnement ? Des riz génétiquement modifié permettront-ils d'éradiquer la malnutrition ? L'affaire du riz doré a campé les termes du débat. D'un côté, les « pour », selon lesquels il serait utopique d'attendre l'avènement d'un monde meilleur, alors que la technologie nous permet, ici et maintenant, de pallier ses défauts.

Il est des questions qui restent sans réponse mais pour autant il en est qui en ont une. La question de savoir si les riz GM résoudre les problèmes alimentaires mondiaux n'en est pas une. Seuls quelques grands groupes feignent encore d'y croire. Il conviendrait d'abord d'identifier les problèmes posés, pour savoir si les riz GM peuvent apporter une solution efficace. Les méthodes et les programmes mondiaux de supplémentation ont depuis soixante ans montrés leur inefficacité. Le nouvel axe de recherche qui est la transgénèse, grâce au riz doré par exemple, ne fait que participer à ces programmes mais ne semble pas apporter de nouvelles solutions pour la sécurité alimentaire.

Un point qu'il faut résoudre pour l'introduction des riz GM dans les PVD serait celui du suivi des organismes biologiques cultivés. Une observation et une surveillance à long terme du comportement et de toutes les interactions des plantes dans la nature ne peut être prise en compte dans un laboratoire. Peut-on être capable de devancer tous les effets que pourront avoir ces plantes ?

La question risque de ne pas se poser très longtemps dans les pays industrialisés. Même dans le cas où la pression de l'opinion interdirait la culture des riz GM, les agriculteurs ne seraient pas dans une situation dramatique car il ne semble pas qu'ils aient un besoin absolu en ces technologies. En revanche, il est fort à craindre que les conséquences soient très lourdes dans les PVD. D'une part, parce que certains pays verront dans des nouvelles plantes leur seule chance de sécurité alimentaire et prendront toujours le risque des effets secondaires contre la certitude de la famine. D'autre part parce que la biodiversité est immensément plus importante dans les PVD que dans les pays industrialisés. Les interactions beaucoup plus nombreuses et variées exposent les PVD à des risques bien supérieurs à ceux encourus par les pays industrialisés. Enfin, les mouvements de protestations ont plus de difficultés à naître et à s'exprimer dans les PVD, soit par censure, soit par manque de réseaux d'information, ce qui peut nuire au suivi des plantes introduites. Peut-on imaginer la Chine renoncer à son engouement pour les cultures transgéniques sous prétexte que l'opinion publique n'y est pas favorable.

## **Annexe**

**Annexe 1 : 1999-2003, procès du CIRAD contre des militants anti-OGM concernant la destruction de plants de riz transgénique *Bt* (CIRAD, 2003).**

Le 5 juin 1999, vers 13 heures, une centaine de militants anti-OGM, français et indiens, entrent par effraction dans la serre transgénique du CIRAD et détruisent les plants de riz *Bt* génétiquement modifiés. Le CIRAD, en tant qu'institution, et deux thésards portent plainte pour protester contre la destruction de leur outil de travail.

Le 22 juin, le procureur de la république de Montpellier a placé sous contrôle judiciaire et mis en examen trois meneurs identifiés, au chef de dégradation en réunion avec pénétration par effraction :

- Joseph Bové (membre de la Confédération paysanne de l'Hérault) ;
- René Riesel (à l'époque porte-parole de la Confédération paysanne de l'Hérault) ;
- Dominique Soullier (membre de la Confédération paysanne).

Le 8 et 9 février 2001, l'audience correctionnelle des prévenus : José Bové, René Riesel, Dominique Soullier a lieu devant le tribunal de grande instance de Montpellier.

Le 15 mars 2001, le tribunal rend son jugement : peines de prison avec sursis, 1 Franc de dommages et intérêts. Le CIRAD s'estime satisfait. Les prévenus et le Ministère public font appel.

Le 22 novembre 2001, l'audience passe en appel.

Le 20 décembre 2001, le tribunal rend son jugement : 6 mois fermes pour J. Bové et R. Riesel, 6 mois avec sursis pour D. Soullier. Un pourvoi en cassation devant la Cour de cassation est requis.

Le 19 novembre 2002 est annoncée par jugement que le pourvoi en cassation est rejeté et la peine maintenue (CIRAD, 2003).

L'équipe de recherche était sur le point d'entreprendre des essais au champ indispensables pour étudier la plante transformée et pour évaluer les risques éventuels, notamment l'effet des gènes introduits sur d'autres insectes que la pyrale. Ces essais devaient se dérouler en Camargue, sur une parcelle de 80 m<sup>2</sup> dans une station expérimentale. Pour éviter les risques

de dissémination des mesures de sécurité avaient été prises : distance suffisante des autres parcelles expérimentales et des cultures, filet de protection contre les oiseaux, maille de rétention des graines en milieu aquatique, bâches imperméables aux pollens. La Commission du génie biomoléculaire avait émis un avis favorable ; les ministères de l'agriculture et de l'aménagement du territoire et de l'environnement ont donné l'autorisation d'entreprendre ces essais.

La serre saccagée, d'une dimension de 250 m<sup>2</sup> (19 m x 13 m) avait reçu l'agrément du ministère de la recherche le 2 janvier 1997, après avis de la commission du génie génétique en date du 23 novembre 1996 (CIRAD ,2003).

Le 22 Juin 2003, J. Bové est incarcéré à la prison de Villeneuve-lès-Maguelone.



## **BIBLIOGRAPHIE**

Amédée-Manesme O., De Maeyer E., 1989- Le déficit en vitamine A, stratégies diagnostiques et thérapeutiques- Editions de l'INSERM et de l'ORSTOM, Paris, 62 p.

Angladette A., 1966- Le riz- Collection : techniques agricoles et productions tropicales, éditions G-P. Maisonneuve & Larose, bibliothèque de la FAO (Hanoi), p. 8 à 37.

Anonyme, 1999- Origine chinoise du riz- La recherche, mensuel n° 318, archéologie, p. 25.

Banque asiatique pour le développement, 1989- Key indicators of developing member countries of ADB- Vol.20, Manille, 388 p., dans Juliano Bienvenido O., 1994.

Basdevant A., Laville M., Lerebours E., 2001- Traité de nutrition clinique de l'adulte- Collection Traités, éditions Médecine-sciences Flammarion, Paris, 723 p.

Bertola F., Simonet P., 1999- Orizental gene transfers in the environment: natural transformation as a putative process for gene transfers between transgenic plants and microorganisms- Res. Microbiol., n° 150, p. 375- 384.

Biard J.F., 1998- Mitochondries et chloroplastes- Université de Nantes, Faculté de Pharmacie, Cours de biologie cellulaire de 1<sup>ère</sup> année.

Brun J.-M., 1996- Le défi alimentaire mondial, des enjeux marchands à la gestion du bien public- Série dossier pour un débat 72, Document Solagral, Librairie FPH, Paris, 93 p.

Cantrell Ronald P. et Reeves Timothy G., 2002- The cereal of the world's poor takes center stage- Science, Vol. 296, p. 53.

Chemla S., 2000- Risques liés à la transmission des nucléoprotéines des OGM à l'homme- Thèse pour l'obtention du doctorat en pharmacie Diplôme d'état, Université René Descartes, Faculté de Pharmacie Paris V, 63 p.

Chevallier C., 2000- Trangenèse végétale: quelles craintes pour l'avenir?- Thèse pour l'obtention du doctorat en pharmacie, Diplôme d'état, Université Joseph Fourier, Faculté de Pharmacie de Grenoble, 140 p.

Chopra, 1933- Indigenous drugs of India- Calcutta, 655 p., dans Juliano Bienvenido O., 1994

CIRAD, 2000- Des constructions moléculaires pour créer des plantes transgéniques résistantes aux ravageurs- rapport d'activités 1999 du département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique CIRAD-amis, Programme protection des cultures, p. 80-81, Montpellier.

CIRAD, 2001a- Le riz en Camargue- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

CIRAD, 2001b- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- Sélection de riz hybride au Brésil- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

CIRAD, 2001c- Le riz, plante modèle pour les graminées- Document interne du département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique CIRAD-amis, Programme biotechnologies et ressources génétiques végétales (Biotrop), Montpellier.

CIRAD, 2001d- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- la transformation du riz- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

CIRAD, 2001e- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- La production et le commerce du riz dans le monde- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

CIRAD, 2001f- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- Le riz adventice- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

CIRAD, 2002- Le riz qui nourrit le monde- Le Cirad au salon de l'agriculture- Document interne du CIRAD, 15 p.

CIRAD, 2003- Le CIRAD et les OGM, les faits- accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.cirad.fr/actualites/ogm/0902/ogmfaits.htm>, consultée le 27 Mai 2003.

Collendavelloo J., Octobre 1998- Les biotechnologies végétales : outils complémentaires à la sélection conventionnelle- PROSI Magazine, n° 357, Octobre 1998, Biotechnologie, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.prosi.net/mag98/357oct/ogm357.htm>

Cuevas-Perez F., Guimaraes E., Berrio L.E. et Gonzalez D.I., 1992- Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971 to 1989- Crop Sci., n° 32, p. 1.054 à 1.059, cité dans FAO, 23-26 Juillet 2002.

Dary, 2001- Technical and Practical Barriers to Cereal Food Fortification (Wheat flour, Maize flour and Rice)- Conférence Proc. *Forging Effective Strategies to Combat Iron Deficiency*, Atlanta, Georgia, 7 et 9 Mai 2001, cité dans Gina Kennedy *et al.*, 23-26 Juillet 2002.

Delseny M., Ghesquière A., Lagoda P. et Regad F., 2000-Le riz, un modèle en génomique- Biofutur, n° 203, p. 30 à 35.

Englyst, Anderson et Cummings, 1983- Starch and non-starch polysaccharides in some cereal foods- Journal science food agric, n°34, p. 1 434 à 1 440.

FAO, 1954- Rice and rice diets, a nutritional survey- Document interne FAO, Rome (Italie).

FAO, 1995- L'ampleur des besoins- Document interne FAO, Rome (Italie), 128 p.

FAO, Septembre 1998, Rome (Italie), accessible sur Internet à l'adresse suivante:  
<http://www.fao.org/ag/fr/magazine /9809/spot1.htm>.

FAO, 1998- Nutrition country profiles India- Document interne FAO, Rome (Italie).

FAO, 1999- L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde- Document interne FAO, Rome (Italie).

FAO, Janvier 2000- Rice information- Document interne FAO, Rome (Italie), vol. 2, p.1 à 26.

FAO, 2001- Le spectre de la malnutrition- Document interne FAO, Rome (Italie).

FAO, Juillet 2002- Les « riz spéciaux »- accessible sur Internet à l'adresse suivante :  
<http://www.fao.org/ag/fr/magazine/0207sp1.htm>, consultée sur en Août 2002.

FAO, 17 Juillet 2002- Production du riz, les préoccupations de la FAO- Rome (Italie), accessible sur Internet à l'adresse suivante :  
<http://www.agrisalon.com/06-actu/article-7465.php>.

FAO, 23-26 Juillet 2002- le développement des technologies du riz pour une sécurité alimentaire durable : problèmes et défis- FAO, Vingtième session, Commission Internationale du Riz, Bangkok (Thaïlande), 19 p.

FAO, Juin 2003- Innovative Technologies, C4 Rice- FAO, Vingtième session, Commission Internationale du Riz, Bangkok (Thaïlande), accessible sur Internet à l'adresse suivante :  
<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/field/comrrice/news/news.htm>

FAOSTAT, 2002, banque de données statistiques de la FAO, Rome (Italie), accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://apps.fao.org/>.

Gaffé J., 26 Mai 2003- Les plantes Bt- cours de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, accessible sur Internet à l'adresse suivante :  
<http://www.ujf-grenoble.fr/PDC/OGM/OGM-toxine%20BT.html>

Geocities, 2002 -accessible sur Internet à l'adresse suivante:  
<http://www.geocities.com/xhcaulfieldx/Home.html>, consultée en Août 2002.

Gina Kennedy, Barbara Burlingame et Van Nguu Nguyen, 23-26 Juillet 2002- Le riz et la nutrition : conséquences de la biotechnologie et de la biodiversité pour les pays consommateurs de riz- FAO, Vingtième session, Commission Internationale du Riz, Bangkok (Thaïlande), 17 p.

Goto F., Yoshihara T., Shigemoto N., Toki S., Takaiwa F., 1999- Nature Biotechnology, n° 17, p. 282 à 286, cité dans Guerinot M. L., 14 janvier 2000.

Grand Larousse en 5 volumes, Edition Larousse, Paris, 1997, p. 1647

Guerinot M. L., 14 janvier 2000- The green revolution strikes gold- Science, Vol. 287, p. 241 à 243.

Guignard J.L., 2001- Botanique, systématique moléculaire- Collection abrégés de pharmacie, 2001, 12e édition, édition Masson, Paris, p.99 à 132.

Heller R., Esnault R. et Lance C., 1996- Physiologie végétale- 1.nutrition- Edition Masson, Paris, 5<sup>ème</sup> édition, 2<sup>ème</sup> tirage, 294 p.

Hiei Y., Komari T., Kubo T., 1997- Transformation of rice mediated by *Agrobacterium tumefaciens*- Plant Mol. Biol., n° 35, p. 205 à 218.

Huebner F.-R., Bietz J.-A., Webb B.-D. et Juliliano B.-O., 1990- Rice cultivar identification by high-performance liquid chromatography of endosperm proteins- Cereal Chem., n°67, p.129 à 135.

INAPG, 2003-Institut National Agronomique Paris- Grignon, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.inapg.inra.fr/ensrech/bio/biotech/textes>, consultée le 06 avril 2003.

IRD, Mars/Avril 2001- Sciences au sud- Le journal de l' IRD, n°9, p.1 et 8-9.

IRRI, 2002- Bt rice : benefits and challenges- accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.irri.org/>, consultée en Août 2002.

IRRI, 27 Mai 2003- Taxonomie du riz- accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.knowledgebank.irri.org/wildRiceTaxonomy/default.htm>, consultée le 27 Mai 2003.

Join-Lambert M.-T., 1995- Rapport sur les aides existant en France pour l'alimentation des personnes défavorisées- Inspection générale des affaires sociales, Paris.

Juliano Bienvenido O., 1994- Le riz dans la nutrition humaine- Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26, publié avec la collaboration de l'institut international de recherches sur le riz, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.

Larousse médical, 1995, Larousse, Paris.

Le Moël G., Saverot-Dauvergne A., Gousson T. et Guéant J.-L., 1998- Le statut vitaminique : physiopathologie, exploration biologique et intérêt clinique- Collection explorations fonctionnelles humaines, éditions médicales internationales, 550 p.

Li et Lai, 1989- The study on the breeding of « black superior rice » by using biotechniques- Proc. 6<sup>th</sup> Int. Congress SABRAO, p.289 à 291, cité dans Juliano Bienvenido O., 1994.

Livesey G., 1990- The energy values of unavailable carbohydrates and diets. An enquiry and analysis- Am. J. Clin. Nutri., n°51, p.617 à 637.

Lucca P., Hurell R. et Potrykus I., 2001- Theor. Appl. Genet., n° 102, p. 392 à 397, cité dans Zimmermann M. B., Hurell R. F., Octobre 2002.

Masson O., 2002- Bases biochimiques de la diététique- Collection Biochimie, éditions Tec & Doc, éditions médicales internationales, 304 p.

Maurice S.B. Ku, Dongha Cho, Ujwala Ranade, Tsui-Ping Hsu, Xia Li, De-Mao Jiao, Jim Ehleringer, Mitsue Miyao et Makoto Matsuoka, 2000- Photosynthetic performance of transgenic rice plants overexpressing maize C4 photosynthesis enzymes- accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.irri.org/textonly/science>, consultée le 30 Octobre 2002.

Mokasofa, Mars 1999, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.mokasofa.ca/cuisiner/theme/dossiers/01250102.asp>, consultée le 30 Octobre 2002.

Molla, Ahmed et Greenough, 1985- Rice-based oral rehydration solution decreases the stool volume in acute diarrhea- Bulletin de l'OMS, n°63, p.751 à 756, Genève.

Neilson J.W., Josephson K.L., Pepper I.L., Arnold R.B., Giovanni G.D. et Sinclair N.A.- Frequency of horizontal gene transfer of a large catabolic plasmid (pJP4) in soil- Applied and Environmental Biotechnology, n° 60, p. 4053- 4058.

Normile D., Pennisi E., 2002- Rice : Boiled down to bare essentials- Science, Vol. 296, New Focus, p. 32 à 36.

OMS, 1986- Besoins énergétiques et besoins en protéines. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU- OMS, Série de rapports techniques n°724, Genève.

Pamplona R.G., Décembre 1997- Guides des plantes médicinales- Encyclopédie vie et santé, vol. 1, p. 135.

Popkin B., Keyou G., Fengying Z., Guo X., Haijiang M. et Zohoori N., 1993- The nutrition transition in China : a cross-sectional analysis- European journal of clinical nutrition, n°47, p.333 à 346.

Pullman, 23 Mai 2000- Le riz modifié amplifie nettement la photosynthèse et le rendement- Washington States University, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.seedquest.com/News/releases/usa/Universities/n2714.htm>, consultée le 6 Mai 2003.

Science, 2002- The rice genome- Science, Vol. 296, p. 79 à 100.

Scriban R., 1999- Biotechnologie, 5<sup>ème</sup> édition- Editions Tec & Doc, Coordonateur : Scriban R., 1006 p.

Syngenta, 22 Janvier 2001- l'Institut International de Recherche sur le Riz commence à tester le « Golden Rice »- Communiqué aux médias publié par l'Institut International de Recherche sur le Riz (IRRI), la Fondation Rockefeller et Syngenta, 4 p.

Terroirs d'enFrance, 2002, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://terroirs.denfrance.free.fr/p/fiches%20pratiques/riz%20criteres%20choix%20achat.html>, consultée le 30 Octobre 2002.

The micronutrient initiative, 1996- Micronutrient fortification of foods, current practices, research, and opportunities- ©1996 The micronutrient initiative (MI), c/o International Development Research Centre (IDRC)/ International Agriculture Centre (IAC), 107 p.

Toussaint-Samat M., 1987- Histoire naturelle et morale de la nourriture- Edition Bordas, Paris, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://agora.qc.ca/mot.nsf/Dossiers/Riz>, consultée le 30 Octobre 2002.

Tuong T.P. et Bouman B.A.M., 2002- Rice production in water-scarce environments- Dans l'Acte de la Conférence Internationale sur la gestion de l'eau d'irrigation (sous presse), cité dans FAO, 23-26 Juillet 2002

UNESCO, Septembre 2001- Les OGM nourriront-ils le tiers-monde ?- Le Courrier de l'UNESCO, Delenet P., journaliste au courrier de l'UNESCO, 4 p., accessible sur Internet à l'adresse suivant : <http://www.unesco.org/courrier/>, consultée le 8 Avril 2002.

Université de Genève, 2002- accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.unige.ch/sciences/biologie/public/pif/chapitre/Genie.pdf>, consultée en Novembre 2002.

Ventura, 1977- Rice bran utilization in the prevention and treatment of dental decay (caries)- Proceeding. Rice by-products utilization international conference, Valencia (Espagne), 1974, vol.4, rice bran utilization: food and feed, p.215 à 218, Valencia, Instituto de agroquímica y tecnología de alimentos, cité dans Juliano Bienvenido O., 1994.

Vivendi-universal-interactive, Mai 2002, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.vivendi-universal-interactive.fr/editorial/cuisine/archives/cuisine05-2002.htm>, consultée le 30 Octobre 2002.

Walter S. Judd, Christopher S. Campbell, Elizabeth A. Kellogg, Peter Stevens, 2002- Botanique systématique, une perspective phylogénétique- Collection De Boeck Université, traduction et révision scientifique de la 1<sup>er</sup> édition américaine par Jules BOUHARMONT et Charles-Marie EVRARD, p.161 à 216.

Weidong Gao, V. Ramanatha Rao et Ming-De Zhou, 25-27 Octobre 1999- Plant genetic resources. conservation and use in China. IPGRI. Proceeding of national workshop on conservation and utilization of plant genetic resources- Beijing, China, editors, p.110 à 125.

Ye X., Al-Babili S., Beyer P., Klöti A., Lucca P., Potrykus I., Zhang J., 14 Janvier 2000- Engineering the provitamin A ( $\beta$ -Carotene) Biosynthetic pathway into (carotenoid-free) Rice endosperm- Science, Vol. 287, p. 303 à 305.

Zimmermann M. B., Hurrell R. F., Octobre 2002- Les aliments enrichis- Biofutur, Hors série n° 3, p. 47 à 50.

### **Forum E-Med, 14 Mai 2003**

Pour vous inscrire, vous désinscrire et consulter les archives de E-med :  
<http://www.essentialdrugs.org/emed/>

Adresse pour les messages destinés au forum E-med : [e-med@healthnet.org](mailto:e-med@healthnet.org)

Pour répondre à un message envoyer la réponse au forum ou directement à l'auteur.

Pour toutes autres questions adresser vos messages à : [e-med-help@healthnet.org](mailto:e-med-help@healthnet.org)



## Liste des figures

## 1<sup>ère</sup> Partie:

Figure 1 : Angladette A., 1966- le riz- Collection : techniques agricoles et productions tropicales, éditions G-P. Maisonneuve & Larose, bibliothèque de la FAO (Hanoi), p. 8 à 37.

Figure 2 : Angladette A., 1966- le riz- Collection : techniques agricoles et productions tropicales, éditions G-P. Maisonneuve & Larose, bibliothèque de la FAO (Hanoi) , p. 8 à 37.

Figure 3 : Guignard J.L., 2001- Botanique, systématique moléculaire- Collection abrégés de pharmacie, 2001, 12e édition, édition Masson, Paris, p.99 à132.

Figure 4°: CIRAD, 2001d- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- la transformation du riz- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

Figure 5 : Juliano Bienvenido O., 1994- Le riz dans la nutrition humaine- Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26, publié avec la collaboration de l'institut international de recherches sur le riz, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.

Figure 6 : Juliano Bienvenido O., 1994- Le riz dans la nutrition humaine- Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26, publié avec la collaboration de l'institut international de recherches sur le riz, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.

Figure 7 : Juliano Bienvenido O., 1994- Le riz dans la nutrition humaine- Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26, publié avec la collaboration de l'institut international de recherches sur le riz, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.

## 2<sup>ème</sup> Partie :

Figure 8 : Gina Kennedy, Barbara Burlingame et Van Nguu Nguyen, 23-26 Juillet 2002- Le riz et la nutrition : conséquences de la biotechnologie et de la biodiversité pour les pays consommateurs de riz- FAO, Vingtième session, Commission Internationale du Riz, Bangkok (Thaïlande), 17 p.

### 3<sup>ème</sup> Partie :

Figure 9 : Collendavelloo J., Octobre 1998- Les biotechnologies végétales : outils complémentaires à la sélection conventionnelle- PROSI Magazine, n° 357, Octobre 1998, Biotechnologie, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.prosi.net/mag98/357oct/ogm357.htm>

Figure 10 : Collendavelloo J., Octobre 1998- Les biotechnologies végétales : outils complémentaires à la sélection conventionnelle- PROSI Magazine, n° 357, Octobre 1998, Biotechnologie, accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.prosi.net/mag98/357oct/ogm357.htm>

Figure 11: Guerinot M. L., 14 janvier 2000- The green revolution strikes gold- Science, Vol. 287, p. 241 à 243.

Ye X., Al-Babili S., Beyer P., Klöti A., Lucca P., Potrykus I., Zhang J., 14 Janvier 2000- Engineering the provitamin A ( $\beta$ -Carotene) Biosynthetic pathway into (carotenoid-free) Rice endosperm- Science, Vol. 287, p. 303 à 305.

Figure 12: Ye X., Al-Babili S., Beyer P., Klöti A., Lucca P., Potrykus I., Zhang J., 14 Janvier 2000- Engineering the provitamin A ( $\beta$ -Carotene) Biosynthetic pathway into (carotenoid-free) Rice endosperm- Science, Vol. 287, p. 303 à 305.

Figure 13: Ye X., Al-Babili S., Beyer P., Klöti A., Lucca P., Potrykus I., Zhang J., 14 Janvier 2000- Engineering the provitamin A ( $\beta$ -Carotene) Biosynthetic pathway into (carotenoid-free) Rice endosperm- Science, Vol. 287, p. 303 à 305.

Figure 14 : UNESCO, Septembre 2001- Les OGM nourriront-ils le tiers-monde ?- Le Courrier de l'UNESCO, Delenet P., journaliste au courrier de l'UNESCO, 4 p., accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.unesco.org/courrier/>, consulté le 8 Avril 2002.

Figure 15 : Biard J.F., 1998- Mitochondries et chloroplastes- Université de Nantes, Faculté de Pharmacie, Cours de biologie cellulaire de 1<sup>ère</sup> année.

Figure 16 : Brun J.-M., 1996- Le défi alimentaire mondial, des enjeux marchands à la gestion du bien public- Série dossier pour un débat 72, Document Solagral, Librairie FPH, Paris, 93 p.

## Liste des tableaux

## 1<sup>ère</sup> Partie:

Tableau 1 : Angladette A., 1966- le riz- Collection : techniques agricoles et productions tropicales, éditions G-P. Maisonneuve & Larose, bibliothèque de la FAO (Hanoi), p. 8 à 37.

IRRI, 27 Mai 2003- Taxonomie du riz- accessible sur Internet à l'adresse suivante :

<http://www.knowledgebank.irri.org/wildRiceTaxonomy/default.htm>, consultée le 27 Mai 2003.

FAO, Janvier 2000- Rice information- Document interne FAO, Rome (Italie), vol. 2, p.1 à 26.

Tableau 2 : Weidong Gao, V. Ramanatha Rao et Ming-De Zhou, 25-27 Octobre 1999- Plant genetic resources. conservation and use in China. IPGRI. Proceeding of national workshop on conservation and utilization of plant genetic resources- Beijing, China, editors, p.110 à 125.

Tableau 3 : Normile D., Pennisi E., 2002- Rice : Boiled down to bare essentials- Science, Vol. 296, New Focus, p. 32 à 36.

## 2<sup>ème</sup> Partie:

Tableau 4 : FAOSTAT, 2002, banque de données statistiques de la FAO, Rome (Italie), accessible sur Internet à l'adresse suivante : <http://apps.fao.org/>.

Tableau 5 : Gina Kennedy, Barbara Burlingame et Van Nguu Nguyen, 23-26 Juillet 2002- Le riz et la nutrition : conséquences de la biotechnologie et de la biodiversité pour les pays consommateurs de riz- FAO, Vingtième session, Commission Internationale du Riz, Bangkok (Thaïlande), 17 p.

Tableau 6 : Juliano Bienvenido O., 1994- Le riz dans la nutrition humaine- Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26, publié avec la collaboration de l'institut international de recherches sur le riz, l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 180 p.

Tableau 7 : OMS, 1986- Besoins énergétiques et besoins en protéines. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU- OMS, Série de rapports techniques n°724, Genève.

## Liste des photos

Photo 1 : CIRAD, 2001b- Le riz au Cirad, Riz, aliment et culture- Sélection de riz hybride au Brésil- Document interne du département des cultures annuelles CIRAD-ca, Programme cultures alimentaires, Montpellier.

Photo 2 : IRD, Mars/Avril 2001- Sciences au sud- Le journal de l' IRD, n°9, p.1 et 8-9.

# TABLE DES MATIERES

<b><u>ABREVIATIONS</u></b> .....	3
<b><u>SOMMAIRE</u></b> .....	5
<b><u>INTRODUCTION</u></b> .....	7
<b><u>1 ÈRE PARTIE</u></b> :.....	10
<b><u>LE RIZ : TAXONOMIE, DÉCODAGE ET CLASSIFICATION</u></b> .....	10
<u>1.1 LE RIZ : ORIGINE, SYSTÉMATIQUE</u> .....	11
<u>1.1.1 Origine et extension de la culture du riz asiatique</u> .....	11
<u>1.1.2 Origine de la culture du riz africain</u> .....	15
<u>1.1.3 Description botanique générale des riz cultivés</u> .....	16
<u>1.1.3.1 Systématique des Oryzées</u> .....	20
<u>1.1.3.2 La sous-famille des Oryzoidées</u> .....	20
<u>1.1.3.3 Le genre <i>Oryza</i></u> .....	22
<u>1.1.3.4 Taxonomie de l'espèce <i>Oryza sativa</i></u> .....	24
<u>1.2 LE GÉNOME DU RIZ</u> .....	26
<u>1.2.1 Le riz, plante modèle pour les Poacées</u> .....	26
<u>1.2.2 2002, le génome du riz</u> .....	27
<u>1.2.3 Perspectives du décryptage complet du riz</u> .....	29
<u>1.3 LE GRAIN DE RIZ</u> .....	31
<u>1.3.1 Classification du riz</u> .....	34
<u>1.3.2 Composition en nutriments bruts</u> .....	35
<u>1.3.2.1 Amidon</u> .....	37
<u>1.3.2.2 Protéines</u> .....	37
<u>1.3.2.3 Lipides</u> .....	38
<u>1.3.2.4 Polyosides non amylacés</u> .....	39
<u>1.3.2.5 Composés volatils</u> .....	39



<b>2</b>	<b><u>ÈME PARTIE :</u></b> .....	<b>40</b>
	<b><u>LE RIZ DANS L'ALIMENTATION</u></b> .....	<b>40</b>
2.1	<u>LA PRODUCTION ET LE COMMERCE DE RIZ DANS LE MONDE</u> .....	41
2.2	<u>LE RIZ, CÉRÉALE INDISPENSABLE</u> .....	44
2.2.1	<i>Sécurité alimentaire</i> .....	44
2.2.2	<i>La consommation de riz dans les pays où il constitue l'aliment de base</i> .....	46
2.2.3	<i>Autres propriétés</i> .....	51
2.3	<u>LES PROBLÈMES NUTRITIONNELS DANS LES PAYS CONSOMMATEURS DE RIZ</u> .....	52
2.4	<u>L'AIDE ALIMENTAIRE MONDIALE ORGANISÉE PAR LES GRANDS GROUPES INTERNATIONAUX</u> .....	54
2.4.1	<i>Valeur nutritionnelle du riz et des régimes alimentaires à base de riz</i> .....	54
2.4.1.1	<i>Qualité protéique du riz par rapport à d'autres céréales</i> .....	54
2.4.1.2	<i>Indice glycémique et amidon résistant</i> .....	56
2.4.1.3	<i>Facteurs antinutritionnels</i> .....	57
2.4.2	<i>Amélioration de la valeur nutritive</i> .....	58
2.4.3	<i>L'amélioration de la valeur nutritive par voie de transgénèse</i> .....	59
<b>3</b>	<b><u>ÈME PARTIE :</u></b> .....	<b>61</b>
	<b><u>LE RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ</u></b> .....	<b>61</b>
3.1	<u>PRÉSENTATION DES TECHNIQUES DE TRANSGENÈSE</u> .....	62
3.1.1	<i>Biotechnologies, génie génétique, transgénèse : quelques définitions</i> .....	62
3.1.2	<i>Mécanismes d'amélioration par transgénèse</i> .....	63
3.1.2.1	<i>La transformation par Agrobacterium</i> .....	64
3.1.2.1.1	<i>Principe de l'infection par Agrobacterium</i> .....	64
3.1.2.1.2	<i>Le plasmide Ti comme vecteur de transfert de gènes</i> .....	66
3.1.2.2	<i>Transfert direct dans des protoplastes</i> .....	69
3.1.2.3	<i>Transformation directe de cellules, de tissus ou d'organes</i> .....	69
3.1.3	<i>Cas pratique : le riz doré (Golden rice)</i> .....	71

3.1.3.1	<u>Principe de formation potentielle de <math>\beta</math>-carotène par le riz</u> .....	71
3.1.3.2	<u>Technique utilisée</u> .....	73
3.1.3.3	<u>Résultats</u> .....	75
3.2	<u>L'ÉCONOMIE AUTOUR DES RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS (GM)</u> .....	77
3.3	<u>LES RIZ TRANSGÉNIQUES</u> .....	81
3.3.1	<u>Le riz doré</u> .....	81
3.3.2	<u>Le riz enrichi en fer</u> .....	83
3.3.3	<u>Le riz à haut rendement</u> .....	85
3.3.3.1	<u>Le riz Bt</u> .....	85
3.3.3.2	<u>Le riz C4</u> .....	87
3.3.3.2.1	<u>Bases de la photosynthèse</u> .....	87
3.3.3.2.2	<u>La transformation du riz en plante C4</u> .....	90
3.3.4	<u>Le riz qui dispense d'injections régulières d'insuline</u> .....	91
3.4	<u>LES LIMITES D'UTILISATION D'UN RIZ GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ</u> .....	93
3.4.1	<u>Une solution unique pour un problème multiple</u> .....	93
3.4.2	<u>L'érosion génétique</u> .....	96
3.4.3	<u>Les flux de transgène</u> .....	99
3.4.4	<u>La gestion de l'eau douce</u> .....	101
3.4.5	<u>Les risques pour l'homme</u> .....	102
3.4.5.1	<u>La notion de risque</u> .....	102
3.4.5.2	<u>Risques liés aux gènes marqueurs de résistance</u> .....	103
3.4.5.3	<u>Allergies et allergènes</u> .....	105
	 <b><u>CONCLUSION</u></b> .....	 106
	 <b><u>ANNEXE</u></b> .....	 109
	 <b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b> .....	 112
	 <b><u>LISTE DES FIGURES</u></b> .....	 120
	 <b><u>LISTE DES TABLEAUX</u></b> .....	 123
	 <b><u>LISTE DES PHOTOS</u></b> .....	 125

**TABLE DES MATIERES ..... 127**

Vu, Le Président du Jury

Vu, Le Directeur de Thèse

Vu, le Directeur de l'U.E.R

HUBERT Mathias

L'utilisation du riz génétiquement modifié dans l'alimentation.

---

**RESUME :**

Le riz est la principale denrée vivrière de base dans le monde et nos besoins mondiaux augmentent de 2 % par an. Même si la production rizicole augmente, il n'est pas certain qu'elle puisse répondre à la demande liée à la croissance démographique. Aussi la plupart des pays consommateurs de riz sont des pays en voie de développement où se pose des problèmes de sécurité alimentaire et de carence en micronutriments. Par cette place dans l'alimentation et par le récent décryptage de son génome, le riz se trouve être une des principales plantes à bénéficier des avancées de la transgénèse. Ces riz transgéniques apportent de grandes espérances pour certains. Ils permettraient de sauver en partie la faim et certaines carences alimentaires. Pour d'autres, ces nouveaux riz ne seront pas la solution et apporteront au contraire de nouveaux problèmes. Entre peur et réalité, le riz pose les bases de la culture génétiquement modifiée au niveau mondial.

---

**MOTS CLES :**

Riz, *Oryza sativa* L., Génome, Sécurité alimentaire, Transgénèse, Riz doré.

---

**JURY :**

Président : Mr. J.-F. BIARD, Professeur de pharmacognosie, Faculté de pharmacie, Nantes.

Assesseurs : Mr. Y. F. POUCHUS, Professeur de botanique et de cryptogamie, directeur de thèse Faculté de pharmacie, Nantes.

Mme L. Dauvergne, Pharmacien, Pharmacie Deklerk, Nantes.

---

**Adresse de l'auteur :** 7 rue de la Verrerie, 44100 Nantes  
hubertmathias@yahoo.fr

